



## LOCALIZAÇÃO DE PONTOS DE COLETA DE LIXO ELETRÔNICO NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO MODELO AHP FUZZY

Ricardo Terra Pinheiro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Rio de Janeiro  
Novembro de 2016

LOCALIZAÇÃO DE PONTOS DE COLETA DE LIXO ELETRÔNICO NO  
MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO MODELO AHP FUZZY

Ricardo Terra Pinheiro

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO  
ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE  
ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE  
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO.

Examinada por:

---

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza , Ph.D.

---

Prof. Cláudio Henrique dos Santos Grecco, Ph.D.

---

Prof. Francisco Antônio de Moraes Accioli Doria, Ph.D.

---

Dr. Paulo de Oliveira Reis Filho, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
NOVEMBRO DE 2016

Pinheiro, Ricardo Terra

Localização de Pontos de Coleta de Lixo Eletrônico no Município do Rio de Janeiro Utilizando Modelo AHP Fuzzy/Ricardo Terra Pinheiro. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2016.

XIII, 85 p.: il.; 29, 7cm.

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Produção, 2016.

Referências Bibliográficas: p. 76 – 79.

1. AHP-Fuzzy. 2. Lixo Eletrônico. 3. Lógica Difusa.  
I. Cosenza, Carlos Alberto Nunes. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

*Para minha filha Bianca, Meus  
pais Teresa e Luis Cesar, Minha  
esposa Laura, Obrigado!*

# Agradecimentos

Meus agradecimentos aos Prof. Carlos Cosenza e Prof. Francisco Doria, que me incentivaram a voltar a estudar e me mantiveram motivado ao longo do percurso, compartilhando sua experiência que transcende os estudos acadêmicos.

À minha filha Bianca, minha esposa Laura, meus pais Teresa e Luis Cesar e ao meu irmão Eduardo, que me acompanharam e ajudaram incondicionalmente durante todo o processo de aprendizagem.

Aos amigos Júnior Nacif e Fernando de Sá, agradeço pelo apoio e motivação.

Ao LABFUZZY por todo apoio e por abrir espaço para o aprimoramento da dissertação.

As secretárias do Programa de Engenharia de Produção, Lindalva, Dona Perla, Claudete e Roberta, que sempre me apoiaram e cuidaram de mim ao longo destes anos.

Finalmente à COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, por me acolher e proporcionar momentos únicos na minha vida.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

## LOCALIZAÇÃO DE PONTOS DE COLETA DE LIXO ELETRÔNICO NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO MODELO AHP FUZZY

Ricardo Terra Pinheiro

Novembro/2016

Orientador: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Programa: Engenharia de Produção

Com o avanço tecnológico e o estilo de vida consumista vivenciado nas últimas duas décadas, a procura crescente por equipamentos mais modernos tem causado um crescimento exponencial na produção do lixo eletrônico que se acumula nos municípios. Este trabalho tem como objetivo localizar pontos de coleta de lixo eletrônico, oferecendo um sistema de apoio à decisão, utilizando como base a lógica difusa para selecionar o melhor local para coleta destes resíduos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

LOCATION OF ELETRONIC WASTE COLLECTION POINTS IN RIO DE  
JANEIRO CITY USING AHP FUZZY MODEL

Ricardo Terra Pinheiro

November/2016

Advisor: Carlos Alberto Nunes Cosenza

Department: Production Engineering

With technological advancement and the consumerist lifestyle that we are experiencing in the last two decades, the growing demand for more modern equipment causing an exponential growth in the production of e-waste that accumulates in municipalities. This study aims to find junk collection points, providing a system of decision support, using as a basis the fuzzy logic to select the best location for the collection of this e-waste

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>x</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Contextualização . . . . .	1
1.2 Justificativa . . . . .	2
1.3 Objetivo . . . . .	3
1.4 Metodologia . . . . .	3
1.5 Roteiro Metodológico . . . . .	4
1.6 Corpo do Trabalho . . . . .	4
<b>2 Revisão da Literatura</b>	<b>6</b>
2.1 Fundamentos Teóricos . . . . .	6
2.1.1 Lixo Eletrônico . . . . .	6
2.1.2 O problema gerado pelo acúmulo de lixo eletrônico nas cidades	7
2.1.3 Como é tratado o e-lixo no mundo . . . . .	8
2.1.4 Como é tratado o e-lixo no Brasil . . . . .	9
2.1.5 Programas em ação visando reduzir o impacto do e-lixo no Brasil . . . . .	15
2.1.6 Tratamento do e-lixo no município do Rio de Janeiro . . . . .	18
2.1.7 Descaracterização e separação de componetes de e-lixo . . . . .	22
2.1.8 Logística reversa como melhor solução de destinação do lixo eletrônico . . . . .	25
2.1.9 Fluxograma do processo de reciclagem do lixo eletrônico . . . . .	28
2.1.10 Legislação, normas e acordos relacionados . . . . .	29
2.2 Pesquisa de Campo . . . . .	33
<b>3 Lógica <i>Fuzzy</i></b>	<b>35</b>
3.1 Números Fuzzy . . . . .	35
3.2 Conjuntos <i>fuzzy</i> . . . . .	38
3.3 Pesquisa Bibliográfica . . . . .	39

3.4	Tomada de Decisão Multicritério . . . . .	41
3.4.1	Fundamentos da teoria da decisão . . . . .	41
3.4.2	Métodos de decisão multicritério . . . . .	42
3.5	Modelo AHP- <i>Fuzzy</i> . . . . .	42
<b>4</b>	<b>Aplicação do Método AHP <i>Fuzzy</i></b>	<b>49</b>
4.1	Mapeamento . . . . .	49
4.2	Critérios de Seleção . . . . .	50
4.3	Alternativas de Localização . . . . .	51
4.4	Avaliação dos Critérios de Seleção . . . . .	55
4.5	Avaliação das alternativas de locais de pontos de coleta de e-lixo . . .	56
4.6	Aplicação do Modelo . . . . .	56
4.6.1	Avaliação das alternativas com referência ao critério Espaço Físico (C1) . . . . .	57
4.6.2	Avaliação das alternativas com referência ao critério Acesso Logístico (C2) . . . . .	58
4.6.3	Avaliação das alternativas com referência ao critério Controle de Umidade(C3) . . . . .	58
4.6.4	Avaliação das alternativas com referência ao critério Condições Sanitárias e de Higiene(C4) . . . . .	59
4.6.5	Avaliação das alternativas com referência ao critério Quantidade de material(C5) . . . . .	59
4.6.6	Avaliação das alternativas com referência ao critério Custo de Coleta (C6) . . . . .	60
<b>5</b>	<b>Resultados, Conclusões e Trabalhos Futuros</b>	<b>73</b>
5.1	Resultados e Conclusões . . . . .	73
5.2	Trabalhos Futuros . . . . .	75
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>76</b>
<b>A</b>	<b>Questionário - Critério de Seleção</b>	<b>80</b>
<b>B</b>	<b>Questionário - Avaliação dos Critério de Seleção</b>	<b>81</b>
<b>C</b>	<b>Questionário - Avaliação de Alternativas</b>	<b>82</b>
<b>D</b>	<b>Exigências Legais e Específicas para Abertura de uma Empresa de e-Lixo</b>	<b>84</b>

# Lista de Figuras

1.1	Quantidade anual de e-lixo proveniente de computadores pessoais gerado em países emergentes em 2012. . . . .	3
2.1	Componentes nocivos do lixo eletrônico. . . . .	8
2.2	Substâncias existentes em telefones celulares Fonte:[5] . . . . .	8
2.3	Organograma PNRS. . . . .	11
2.4	Linhas de produto e suas cores correspondentes Fonte: [8]. . . . .	12
2.5	Mapa de geração de resíduos eletrônicos de acordo com a linha de produto por regiões do Brasil Fonte: [8]. . . . .	12
2.6	Descarte inadequado de lixo eletrônico. . . . .	14
2.7	Coleta de lixo eletrônico . . . . .	17
2.8	Quantitativo de cooperativas licenciadas por regiões do Brasil. . . . .	18
2.9	Fluxograma da gestão de resíduos sólidos no município do Rio de Janeiro. . . . .	19
2.10	Centro de Tratamento de Resíduos CTR - Rio, em Seropédica. . . . .	20
2.11	Aterro metropolitano de Jardim Gramacho. . . . .	21
2.12	Aterro de Gericinó, Bangu. . . . .	21
2.13	Desmontagem de lixo eletrônico. . . . .	23
2.14	Segmentação de metais. . . . .	23
2.15	Descaracterização de celulares. . . . .	24
2.16	Manuseio de lixo eletrônico. . . . .	24
2.17	Ciclo da cadeia de REEEs. . . . .	26
2.18	Agentes atuantes da cadeia de reciclagem. . . . .	26
2.19	Processo de triagem, reaproveitamento e descarte do lixo eletrônico. . . . .	29
2.20	Legislação estadual. . . . .	31
2.21	Separação em Cestos com cores específicas para reciclagem. . . . .	32
2.22	Cestos de reciclagem padronizados internacionalmente. . . . .	32
3.1	Número <i>fuzzy</i> triangular. . . . .	36
3.2	Número <i>fuzzy</i> trapezoidal. . . . .	37
3.3	Modelo AHP. . . . .	43

3.4	Método <i>fuzzy</i> AHP para seleção de alternativas( <i>extent analysis method</i> ) . . . . .	44
3.5	Comparação entre medidas sintéticas de preferência do <i>fuzzy</i> AHP. . . . .	47
4.1	Hipermercado Carrefour localizado na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro. . . . .	51
4.2	Shopping X localizado na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro. . . . .	52
4.3	Terminal rodoviário Alvorada, localizado na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro. . . . .	52
4.4	Faculdade Y, localizada na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro. . . . .	53
4.5	Shopping América Mall, localizado na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro. . . . .	54
4.6	Representação hierárquica do problema de decisão no AHP. . . . .	54
4.7	Conjunto <i>fuzzy</i> para avaliação de critérios. . . . .	55
4.8	Conjunto <i>fuzzy</i> para avaliação de alternativas de localização. . . . .	56
4.9	Ambiente de decisão. . . . .	57

# Lista de Tabelas

2.1	Composição de uma tonelada de sucata eletroeletrônica mista. . . . .	7
2.2	Composição de um computador. . . . .	7
2.3	Objetivos da PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos. . . . .	10
3.1	Periódicos utilizados como base da pesquisa . . . . .	39
3.2	Número de citações para o termo “ <i>E-Waste</i> ”. . . . .	40
3.3	Número de citações para o termo “ <i>AHP FUZZY</i> ”. . . . .	40
3.4	Número de citações para o termo “ <i>Multi-Criteria Decision Making</i> ”. . . . .	40
3.5	Número de citações para o termo “ <i>E-Waste + Multi-Criteria Decision Making + AHP FUZZY</i> ”. . . . .	40
3.6	Número de artigos abordando <i>Multi-Criteria Decision Making</i> . . . . .	41
3.7	Conjunto de termos linguísticos para avaliações de alternativas. . . . .	44
3.8	Conjunto de termos linguísticos para avaliações de critérios. . . . .	45
3.9	Índice de de consistência de julgamentos, $N$ (ordem da matriz e RI). . . . .	45
4.1	Termos linguísticos e valores <i>fuzzy</i> . . . . .	55
4.2	Comparação dos critérios julgados par a par . . . . .	55
4.3	Termos Linguísticos e Valores <i>fuzzy</i> correspondentes para as alternativas. . . . .	56
4.4	Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Espaço físico ( C1 ) . . . . .	57
4.5	Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Facilidade de acesso logístico ( C2 ) . . . . .	58
4.6	Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Controle de umidade ( C3 ) . . . . .	58
4.7	Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Condições sanitárias e de higiene ( C4 ) . . . . .	59
4.8	Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Quantidade de material recebido semanalmente ( C5 ) . . . . .	59
4.9	Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Custo de coleta ( C6 ) . . . . .	60

4.10 Índice de consistência (IC) calculado conforme julgamento dos especialistas . . . . .	60
4.11 Números <i>fuzzy</i> triangulares correspondentes ao peso dos critérios C1,C2,C3 . . . . .	60
4.12 Números <i>fuzzy</i> triangulares correspondentes ao peso dos critérios C4,C5,C6 . . . . .	61
4.13 Medida sintética de local/critério. . . . .	63
4.14 Grau de preferência de $S_m$ sobre $S_n$ para o critério 1 (Espaço Físico). . . . .	64
4.15 Grau de preferência de $S_m$ sobre $S_n$ para o critério 2 (Acesso Logístico). . . . .	65
4.16 Grau de preferência de $S_m$ sobre $S_n$ para o critério 3 (Controle de Umidade). . . . .	66
4.17 Grau de preferência de $S_m$ sobre $S_n$ para o critério 4 (Condições Sanitárias). . . . .	67
4.18 Grau de preferência de $S_m$ sobre $S_n$ para o critério 5 (Quantidade de Material). . . . .	68
4.19 Grau de preferência de $S_m$ sobre $S_n$ para o critério 6 (Custo Coleta). . . . .	69
4.20 Valores das medidas sintéticas. . . . .	70
4.21 Ranking fornecido pelo modelo de análise estendida <i>fuzzy</i> AHP . . . . .	72

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contextualização

O termo lixo eletrônico compreende rejeitos oriundos do descarte de equipamentos eletrônicos que possuem placas de circuito impresso, como computadores, televisores e aparelhos celular, além de insumos como polímeros e outros compostos químicos presentes nestes *devices* modernos.

Estes componentes possuem substâncias que são extremamente nocivas como metais pesados perigosos que podem se acumular na cadeia alimentar humana e contaminar nossos reservatórios de água gerando um passivo ambiental para gerações futuras. Além disso, o descarte de bens minerais com elevado valor agregado que poderiam ser reaproveitados na cadeia produtiva.

O acelerado avanço tecnológico e o estilo de vida consumista proporcionam a procura crescente por equipamentos mais modernos causando um crescimento exponencial na produção do lixo eletrônico. Isto ocorre devido a necessidade de substituição dos dispositivos em um intervalo de tempo cada vez mais curto devido a obsolescência programada destes produtos.

Encontramos na literatura inúmeros dados que apontam para o potencial de crescimento na geração do lixo eletrônico. Embora tenhamos leis que regulamentam o descarte correto, a falta de fiscalização, regulamentação das punições aos infratores e pouco conhecimento da população sobre o assunto agravam o problema.

Portanto, este estudo foca no início do processo de reciclagem: a localização dos melhores pontos de coleta de lixo eletrônico. Para reduzir os danos causados pelo lixo eletrônico, deve-se coletar, segmentar e processar este material visando a sua devolução à cadeia produtiva através do descarte adequado desde resíduo tóxico no meio ambiente de forma sustentável minimizando os danos ambientais.

## 1.2 Justificativa

Com o avanço da tecnologia e a cultura consumista que vivemos na atualidade, houve aumento do consumo de equipamentos eletrônicos. Apesar da melhoria na qualidade de vida proporcionada pela tecnologia, o efeito negativo dessa evolução é o incremento assustador do lixo eletrônico despejado no meio ambiente.

Segundo o relatório da United Nations University [1] o mundo produziu cerca de 42 milhões de toneladas de lixo eletrônico em 2012. Apenas no Brasil, estima-se a produção de aproximadamente 1,4 milhão de toneladas em 2016. A expectativa global para 2018 é ultrapassarmos a marca de 50 milhões de toneladas anuais, com a possibilidade de alcançar 60 milhões de toneladas.

Estudos em andamento realizados pelo INEA (Instituto Estadual de Meio Ambiente) em conjunto com GBC Brasil e CEMPRE apontam para a mesma direção, colocando o Brasil como um grande poluidor, mas também com grande potencial de reciclagem. Mudanças na atual PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos) podem ser sugeridas a fim de igualar os resultados da reciclagem de resíduos eletrônicos com os resultados de sucesso já alcançados na reciclagem de outros resíduos, como a reciclagem de alumínio.

Diante destes números, a destinação correta do lixo eletrônico e o fomento da cultura do reuso, da reciclagem e do descarte adequado são práticas que garantirão a sustentabilidade do sistema produtivo e qualidade de vida para a população.

A PNRS determina o que o poder público e a iniciativa privada são obrigados a reciclar ou tratar seus resíduos. Portanto, todas as instituições públicas e privadas devem seguir regras determinadas pelo governo federal para o descarte adequado de produtos após o fim de seu ciclo de vida, tornando a localização de alternativas de pontos de coleta importante para todo o processo.

Segundo relatório da UNEP (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) [2], publicado em fevereiro de 2015, os resíduos provenientes de equipamentos eletrônicos descartados crescerão de forma dramática nos países em desenvolvimento nos próximos 10 anos.

O Brasil é apontado como o país emergente onde o mercado de computadores e dispositivos pessoais encontra-se em amplo crescimento. Esta característica confere ao país o título de maior gerador de volume de lixo eletrônico por habitante ao ano, como é mostrado na Figura 1.1.

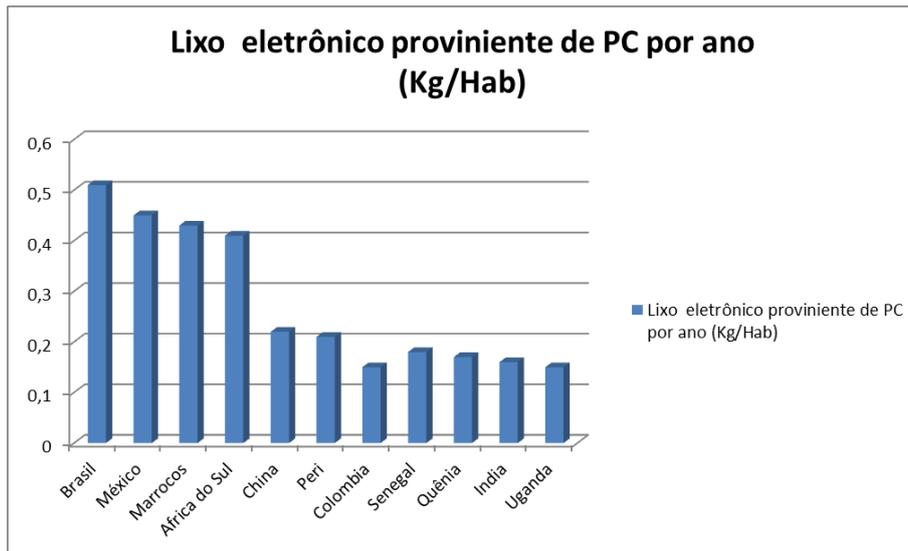


Figura 1.1: Quantidade anual de e-lixo proveniente de computadores pessoais gerado em países emergentes em 2012.

### 1.3 Objetivo

O objetivo principal desse estudo é localizar o melhor ponto de coleta de lixo eletrônico dentro de um bairro do município do Rio de Janeiro observando critérios de viabilidade para a execução do projeto em diferentes tipos de instituições apresentando a lógica *fuzzy* como uma alternativa para ser aplicada na localização do melhor espaço atendendo as peculiaridades apresentadas pelo problema.

- Apresentar um panorama sobre o problema causado pelo acúmulo de lixo eletrônico nas metrópoles;
- Extração de informações e julgamento do especialista para avaliação sobre as melhores alternativas e critérios para análise;
- Aplicação do modelo AHP *Fuzzy* utilizando o método de análise estendida para obtenção da resposta de ranqueamento das alternativas;
- Avaliar o resultado apresentado pelo modelo.

### 1.4 Metodologia

Para a elaboração do projeto foi utilizado como fonte de pesquisa o relatório da United Nations University [1], que apresenta dados sobre o volume, logística e os danos causados pelo lixo eletrônico entre outros.

Com base nestes dados, foi possível visualizar um panorama sobre o tema do lixo eletrônico, além de auxiliar na escolha do objeto deste estudo, definido pela pesquisa

de implementação de políticas de reciclagem públicas e privadas no município do Rio de Janeiro. Com a intenção de diversificar a pesquisa, foram avaliados diferentes tipos de instituições para análise do processo de coleta de resíduos especiais.

Grande parte das informações sobre e-lixo foram coletadas de relatórios anuais da ONU e institutos coligados, outras fontes de pesquisa estão contidas em livros, artigos científicos e estudos publicados na internet abrangendo literatura sobre reciclagem, separação e descarte adequado. Também foram realizados estudos de campo pela aplicação de questionários a pessoas envolvidas na cadeia de reciclagem

O modelo AHP Fuzzy de análise estendida foi proposto por [3], citado diversas vezes e publicado no *European Journal Of Operational Research* foi selecionado neste estudo para apresentar a melhor alternativa de localização com base nas informações e julgamentos fornecidos por especialistas para selecionar pontos de coleta ordenando as melhores opções.

## 1.5 Roteiro Metodológico

Durante a elaboração deste projeto, as seguintes etapas metodológicas foram respeitadas:

- a Realização de um marco teórico sobre lixo eletrônico;
- b Apresentação das Alternativas e Critérios relevantes para a escolha de localização;
- c Apresentação da pesquisa e do modelo AHP *Fuzzy* para localização do ponto de coleta;
- d Aplicação do modelo AHP *FUZZY*;
- e Apresentação dos resultados;
- f Conclusão e trabalhos futuros.

## 1.6 Corpo do Trabalho

Este estudo foi segmentado e desenvolvido em 5 capítulos.

- O primeiro capítulo apresenta o problema da geração e acúmulo de lixo eletrônico nas metrópoles introduzindo a reciclagem e descarte adequado como solução;

- O segundo capítulo apresenta um panorama da situação dos países em relação ao tratamento de resíduos, aponta para uma nova realidade trazida pelo avanço tecnológico e explana os dados que este estudo se baseou;
- O terceiro capítulo apresenta conceitos básicos da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* e a aplicação do modelo AHP *Fuzzy* apresentando como resultado o *ranking* das alternativas da melhor para a menos indicada;
- O quarto capítulo conclui o estudo apresentando a comparação das alternativas, dificuldades encontradas durante a condução deste estudo e sugerindo trabalhos futuros;
- O quinto e último capítulo apresenta as Referências Bibliográficas;
- Os questionários aplicados são apresentados nos Apêndices.

# Capítulo 2

## Revisão da Literatura

Neste Capítulo, será apresentada a definição de lixo eletrônico, o problema em análise e a discussão de possíveis soluções deste problema.

### 2.1 Fundamentos Teóricos

#### 2.1.1 Lixo Eletrônico

Com o avanço dos processos produtivos e da tecnologia, o mercado de produtos manufaturados se tornou mais sofisticado, utilizando materiais condutores e polímeros inovadores que revolucionaram o consumo em todo o mundo.

Celulares, relógios, máquinas de fazer café e até mesmo óculos passaram a apresentar opções com nível tecnológico avançado, pois estão presentes placas de circuito impresso que tornam estes produtos “inteligentes”, revolucionando nossa forma de interação com estes dispositivos.

O uso destes produtos modernos facilitou o cotidiano da população em geral e proporcionou novas experiências em todo o mundo. Podemos observar uma realidade na qual a robótica maximiza a produção industrial, o setor de entretenimento apresenta novas opções e um novo paradigma se apresenta neste início de século.

O termo lixo eletrônico, resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), ou e-lixo, refere-se a todo material descartado de aparelhos eletrônicos, como: aparelhos celulares, televisores e computadores pessoais (pc), incluindo os seus componentes, placas-mãe, unidades de armazenamento, módulos de memória, entre outros. O Parlamento Europeu define REEEs como:

“Os equipamentos elétricos e eletrônicos que constituem resíduos, nos termos da alínea “a” do artigo 1º da Diretiva 75/442/CEE, incluindo todos os componentes, subconjuntos e materiais consumíveis que fazem parte do produto no momento em que este é descartado” [4].

A Subseção 2.1.2 seguinte aborda a dimensão do descarte irregular de lixo eletrônico em metrópoles, de acordo com relatórios elaborados por organizações multilaterais.

## 2.1.2 O problema gerado pelo acúmulo de lixo eletrônico nas cidades

Infelizmente, junto com o avanço tecnológico surgiu um problema gerado por estes produtos no fim de sua vida útil, o acúmulo de lixo eletrônico nas cidades. Quanto maior o nível tecnológico de uma cidade maior a produção de lixo eletrônico. Este acúmulo de resíduos é extremamente nocivo à natureza, inserindo componentes tóxicos no meio ambiente, na cadeia alimentar do ser humano e na água contida nos lençóis freáticos, rios e mares.

Entre os equipamentos eletrônicos, são identificados os elementos apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Composição de uma tonelada de sucata eletroeletrônica mista. Fonte: [2].

<b>Ferro</b>	Entre 35% e 40%
<b>Cobre</b>	17%
<b>Chumbo</b>	Entre 2% e 3%
<b>Alumínio</b>	7%
<b>Zinco</b>	4% a 5%
<b>Ouro</b>	200 a 300 gramas
<b>Prata</b>	300 a 1000 gramas
<b>Platina</b>	30 a 70 gramas
<b>Fibras plásticas</b>	15%
<b>Papel e Embalagens</b>	5%
<b>Resíduos não recicláveis</b>	Entre 3% e 5%

Tabela 2.2: Composição de um computador. Fonte: [2].

<b>Metal Ferroso</b>	32%
<b>Plástico</b>	23%
<b>Metais não ferrosos (chumbo, cádmio, berílio)</b>	18%
<b>Vidro</b>	15%
<b>Placas eletrônicas (ouro, platina, prata e paládio)</b>	12%

As Figuras 2.1 e 2.2 apresentam alguns dos componentes químicos que fazem parte dos equipamentos eletrônicos.

Pesquisadores da ONU (Organizações das Nações Unidas) assim como estudos da INTERPOL (Organização Internacional de Polícia Criminal) também detectaram

Alguns componentes nocivos do lixo eletrônico			
82 <b>Pb</b> 207,2	<b>Chumbo</b> - Cancerígeno, causa varios problemas no sangue e nos rins, além de interferir no metabolismo da vitamina D. É encontrado nas soldas das placas de circuito integrado	13 <b>Al</b> 26,98	<b>Alumínio</b> - Afeta a absorção de fósforo pelo corpo, causando fraqueza, doenças nos ossos e anorexia
26 <b>Fe</b> 55,85	<b>Ferro</b> - O seu acúmulo provoca a contaminação biológica da água. Em excesso, a ingestão do metal pode ocasionar cólicas, enxaqueca e diarreia		<b>Polímeros</b> - (PVC nos fios e cabos, ABS, e HIPS nas peças plásticas). Por serem elementos inflamáveis tem na sua composição retardantes de chamas que liberam gases tóxicos. Os plásticos levam muito tempo para se decompor e prejudicam a degradação de materiais orgânicos
29 <b>Cu</b> 63,5	<b>Cobre</b> - Em grandes quantidades pode causar danos funcionais ao fígado e aos rins	30 <b>Zn</b> 65,39	<b>Zinco</b> - Um dos elementos essenciais para o corpo humano. Porém, em excesso é altamente tóxico podendo causar fragilidade nos ossos e hemorragia

Figura 2.1: Componentes nocivos do lixo eletrônico.

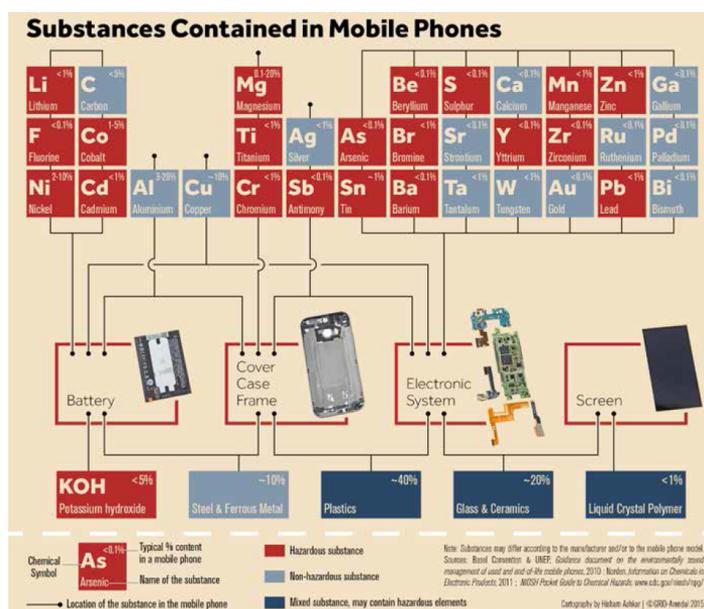


Figura 2.2: Substâncias existentes em telefones celulares Fonte:[5] .

um problema inédito ao estudar a origem e destino do e-lixo.

Algumas empresas enviam computadores obsoletos para países mais pobres não objetivando a inclusão digital ou a melhoria da educação nestes países. Na realidade, estas empresas estão se livrando de forma desonesta e ilegal de equipamentos cuja reciclagem em seus países seria economicamente pouco interessante. Este fluxo de e-lixo está sendo monitorado pela agência INTERPOL desde 2008.

A seção 2.1.3 seguinte apresenta o problema da exportação do lixo eletrônico para países subdesenvolvidos.

### 2.1.3 Como é tratado o e-lixo no mundo

A pesquisa para o projeto identificou como a maior fonte de dados sobre lixo eletrônico os relatórios anuais divulgados pelo PNUMA (Programa da ONU para o

Meio Ambiente). Estes relatórios apontam para uma situação crítica, na qual até 90% do lixo eletrônico do mundo, com valor estimado em 19 bilhões de dólares, é comercializado ou descartado irregularmente ou ilegalmente.

O relatório da ONU aborda questões relacionadas ao tratamento e descarte apropriado dos resíduos em geral, inclusive seus possíveis danos para a saúde e custos relacionados, além de mapear a situação do lixo eletrônico no Brasil e no mundo.

A indústria eletrônica é uma das maiores e que mais crescem no mundo, produzindo anualmente até 41 milhões de toneladas de lixo eletrônico de bens como computadores e celulares *smartphones*. Segundo previsões, este número pode ultrapassar 50 milhões de toneladas já em 2017 [6].

A INTERPOL estima o preço de uma tonelada de lixo eletrônico em torno de 500 dólares. Seguindo este cálculo, o valor do lixo eletrônico não registrado e informalmente manuseado, incluindo os que são comercializados e despejados ilegalmente, encontra-se entre 12,5 a 18,8 bilhões de dólares por ano, valor muito próximo ao levantamento efetuado pelo PNUMA.

O mercado global de resíduos, desde a coleta até a reciclagem, é estimado em 410 bilhões de dólares por ano, gerando emprego e renda principalmente para a camada com menor poder aquisitivo, estimulando, assim, a economia solidária.

A Subseção 2.1.4 discute o tratamento de resíduos eletrônicos de acordo com a legislação e consciência ambiental brasileiras.

#### **2.1.4 Como é tratado o e-lixo no Brasil**

O Brasil possui uma política específica para tratamento de resíduos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída em 02 de Agosto de 2010, substituindo uma lei de 1996. Esta nova lei é moderna se comparada com países vizinhos, uma vez que reconhece o resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda, produtor de cidadania, tratando de todos os produtos eletroeletrônicos e de seus componentes.

A principal característica da legislação implantada é a responsabilização de forma compartilhada entre fabricantes, importadores, comerciantes, autoridades públicas e consumidores, envolvendo todos estes agentes e inserindo o conceito de logística reversa. Ainda assim, é consenso entre a secretaria de meio ambiente do município do Rio de Janeiro, cooperativas e grandes empresários da necessidade de uma atualização desta legislação.

Tabela 2.3: Características da PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos. Fonte: Adaptado de [7].

---

- Enfatizar a importância da logística reversa, sugerindo ações que garantam o fluxo de resíduos sólidos na sua própria cadeia produtiva ou para outras.

---

- Buscar o compromisso dos fabricantes na análise do ciclo de vida do produto, desde a produção, utilização pelo consumidor e responsabilidade do descarte e reciclagem das embalagens.

---

- Enfatizar a obrigatoriedade no tratamento dos resíduos gerados, ou reaproveitamento destes novos produtos.

---

- Promover a inclusão dos catadores, treinando-os e habilitando-os para o processo como um todo.

---

- Evidenciar a responsabilidade dos consumidores.

---

- Proibir o descarte dos resíduos sólidos nos corpos hídricos, no solo, queima a céu aberto ou em recipientes e deverão deixar de existir os “lixões”.

---

Segundo [7], os principais pontos são:

“A política nacional de resíduos sólidos, como dito anteriormente, veio para responsabilizar todos os participantes das indústrias, como empresas fabricantes, revendedores, governo (em todas as esferas), catadores, recicladores e consumidores. Todas as medidas previstas nesta política visam a preservação ambiental, em consonância com a sustentabilidade dos envolvidos. Esta política cria a possibilidade do desenvolvimento de novos negócios ou de reestruturação de negócios existentes. O mais importante, é que esta política, quando entrar em vigor, seja acompanhada de perto pelas autoridades, para que possamos de fato usufruir de seus benefícios.”[7]

Outro ponto a salientar é o descumprimento da lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, pois a grande maioria do descarte é realizado de forma ilegal onde o lixo eletrônico acaba sendo enterrado em lixões ou aterros sanitários sem passar por nenhum tipo de triagem e segmentação do material. A Figura 2.3 apresenta o organograma construído pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), com destaque para os grupo de trabalho responsáveis pelas diferentes áreas temáticas, onde CORI é o Comitê Orientador da Logística Reversa e GTA é o Grupo Técnico de Assessoramento.

Este estudo apurou no seminário que ocorreu 31 de agosto de 2016 na UFRJ, promovido pelo Instituto GEA Ética e Meio Ambiente “Resíduos eletrônicos: Cenário

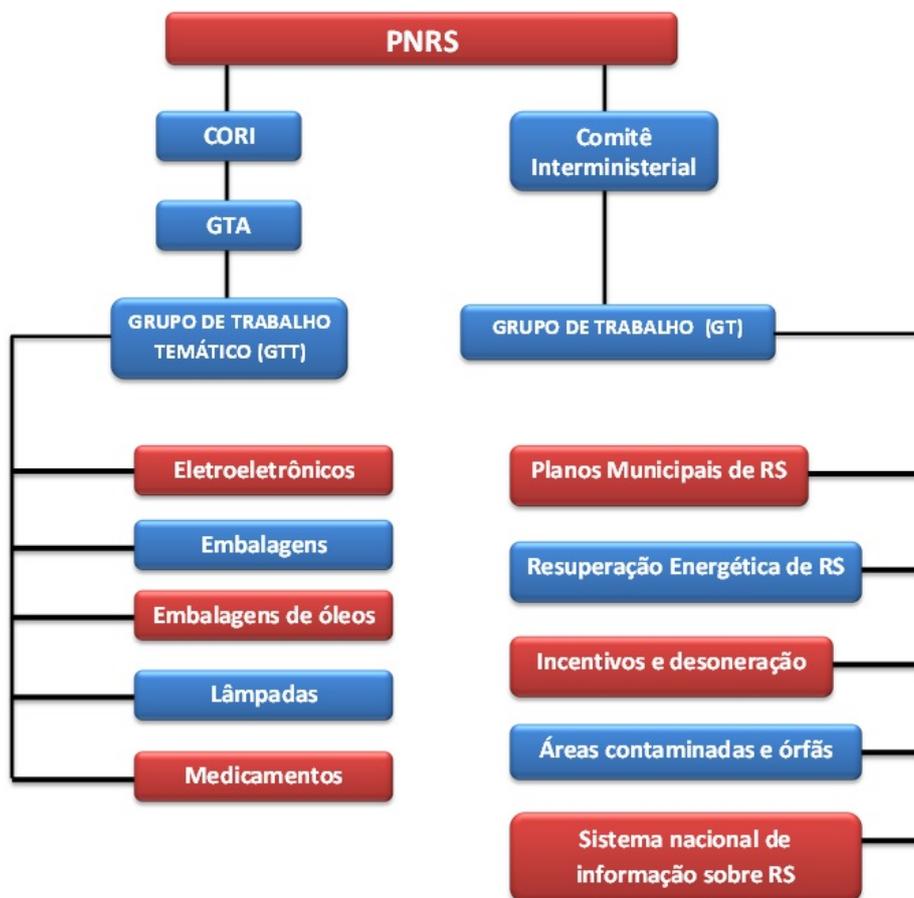


Figura 2.3: Organograma PNRs.

e Soluções” uma iniciativa da caixa econômica federal para doar equipamentos, financiar projetos de reciclagem de lixo eletrônico e prover capacitação para os cooperativados por meio de institutos como o GEA que possuem grande experiência na reciclagem.

O financiamento da caixa econômica federal deriva do Fundo Socioambiental, que realizou um projeto piloto nos municípios de São Paulo, Salvador, Recife e distrito federal. Já existem planos para implementação do projeto no município do Rio de Janeiro em 2017.

Existe por parte da população um grande interesse em participar na cadeia de reciclagem mas devido a falta de informação o lixo eletrônico doméstico acaba junto com o lixo comum dificultando muito seu reuso ou reciclagem.

No Brasil, o lixo eletrônico em sua grande maioria está sendo doado a entidades e empresas de cooperativas de catadores e sucateiros, mas existe uma expectativa que a partir de 2018 seja cobrado um valor para que a coleta seja realizada. Este custo será dividido por organismos estatais, indústria, comércio e a população.

O BNDES está em fase de estudos avaliando como pode participar alavancando a economia socioambiental. O foco do BNDES está na região Sul e Sudeste por serem

os maiores produtores de e-lixo e pretende em 2020 oferecer crédito para capacitação em conjunto com a Caixa Econômica Federal auxiliando às cooperativas a exportar os insumos que não são processados no Brasil e disponibilizando crédito para aquisição de veículos e maquinário, treinamento dos cooperativados e fomentando a troca de informações entre as empresas do setor de reciclagem.

A Figura 2.4 discrimina as diferentes linhas de produto segundo cores que definem a origem do resíduo gerado; já a Figura 2.5 apresenta a produção de lixo eletrônico por linhas de produto e regiões do Brasil.



Figura 2.4: Linhas de produto e suas cores correspondentes Fonte: [8].

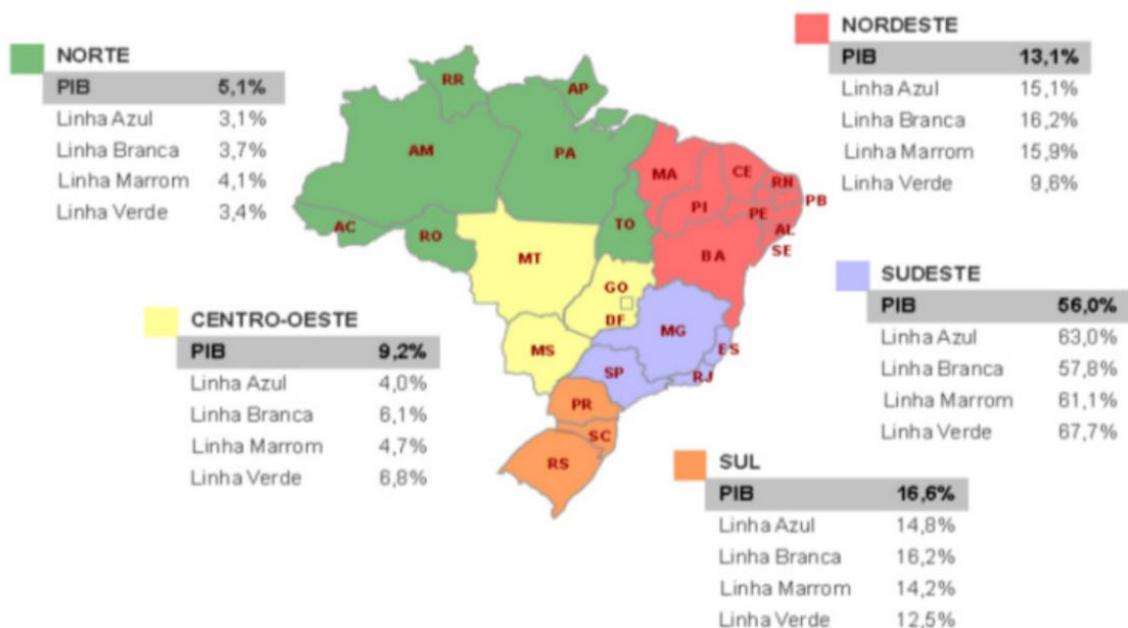


Figura 2.5: Mapa de geração de resíduos eletrônicos de acordo com a linha de produto por regiões do Brasil Fonte: [8].

Empresas especializadas na reciclagem de lixo eletrônico possuem uma lucratividade que pode ser até dez vezes superior em comparação com outras cooperativas que não trabalham de forma adequada com o e-lixo. Em entrevistas e seminários, casos de sucesso de cooperativas que lidam exclusivamente com e-lixo revelaram uma grande mudança na receita do cooperativado, elevando a receita semanal de R\$ 150,00 para R\$ 1.600,00, este caso ocorreu no município de São Paulo.

Um aspecto relevante é a impossibilidade de doação de dispositivos obsoletos mas ainda em condição de uso ou resíduos eletrônicos de empresas públicas e instituições que recebem verba do governo em ano eleitoral devido a lei vigente, gerando a necessidade destas empresas públicas armazenarem o lixo eletrônico gerando assim custos desnecessários. Este é um aspecto que está sendo discutido para a atualização da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Ao observar externamente dispositivos como computador, celular e outros equipamentos não se têm a noção da diversidade de materiais embarcados, inclusive materiais nobres como ouro, platina, prata, cobre, são descartados sem reutilização, podendo contaminar a água do subsolo, o próprio solo e a atmosfera, caso sejam queimados.

Durante a pesquisa, não foi encontrado nenhum estudo indicando possíveis alternativas de pontos de coletas ou critérios para selecionar locais e, conforme as informações aferidas na pesquisa de campo, pode-se perceber razoável divergência de opiniões e falta de experiência das cooperativas consultadas.

Um problema encontrado pelo PNUMA em sua pesquisa no ano de 2014 foi a dificuldade em obter dados consistentes sobre o assunto no Brasil. Foi necessário que o PNUMA realizasse uma estimativa para tentar mensurar a quantidade de lixo eletrônico produzido pelo Brasil.

O Brasil também está na frente quando se trata de lixo proveniente de celulares, com 2,2 mil toneladas por ano, abaixo apenas da China. Segundo dados da ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações), o Brasil já possui mais de 250 milhões de linhas de celular ativas. Como a população brasileira é de 196 milhões de pessoas, isso significa que o país tem quase 1,3 celular por habitante.

Entre as economias emergentes, o Brasil é ainda o terceiro maior responsável por lixo de aparelhos de TV, são produzidos 700 gramas por pessoa ao ano, mesma taxa da China segundo estudos do SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas).

Os dados fornecidos pelo Ministério do Meio Ambiente sinalizam a existência de, ao menos, 500 milhões de aparelhos sem uso em residências. É mais que o dobro da população brasileira. São 500 milhões de geladeiras, tevês, microondas, computadores, impressoras, videocassetes, DVDs, aparelhos de ar-condicionado, ferros de passar, câmeras fotográficas, MP3, rádios e tantos outros eletrônicos que viram lixo,

REEE (Resíduo de Equipamentos Eletroeletrônicos).

A alternativa mais eficaz e prática é entrar em contato direto com o fabricante do aparelho para possibilitar a reinserção dos derivados dos resíduos na indústria por meio da logística reversa segundo [7]. A recomendação é que a indústria recolha o produto e dê a ele um destino ambientalmente correto.



Foto: Universidade da ONU

Figura 2.6: Descarte inadequado de lixo eletrônico. Fonte: [2]

Por sua vez, a reciclagem no Brasil depende em grande parte das cooperativas de catadores e sucateiros, que apresentam muitas demandas como capacitação profissional e isenção de impostos.

A estrutura tributária no Brasil é um fator negativo para a cadeia de reciclados, pois tributa tanto a produção, quanto a venda e frete dos produtos, não considerando o benefício social gerado para a população. Ao calcular o valor de um produto reciclado verificamos a bitributação dos insumos ao produto final e impostos difíceis de calcular que incidem sobre o frete. Existem três formas de cálculo do frete:

- Frete municipal (PIS+ COFINS + ISS);
- Frete Intermunicipal (PIS + COFINS + ICMS estadual);
- Frete Interestadual (PIS + COFINS + ICMS interestadual).

Outra dificuldade é como é classificado o rejeito eletrônico, pois se considerado carga perigosa (o que ocorre em alguns Estados) as transportadoras necessitam de documentação específica e a carga não poder ser misturada encarecendo ou inviabilizando o frete.

Os fabricantes também podem orientar sobre os cuidados que você deve ter no manuseio de produtos obsoletos. Existem diversos programas de reciclagem oferecidos por fabricantes visando atender a legislação e atender a demanda da sociedade

na busca da sustentabilidade. O relatório mais recente da PNUMA de 2015 confirma a tendência do Brasil como expoente produtor e reciclador de lixo eletrônico.

A próxima Subseção 2.1.5 apresenta uma legislação avançada que inclui como solução do problema do lixo eletrônico indústrias, comércios e a participação da população para inserção de insumo reciclado na cadeia produtiva.

### **2.1.5 Programas em ação visando reduzir o impacto do lixo no Brasil**

Segundo [9], o melhor caminho para o tratamento de resíduos é a utilização da logística reversa para processar produtos descartáveis. Uma definição para logística reversa é o tratamento da operacionalização do fluxo físico e das informações logísticas correspondentes de bens de pós-venda, que por diferentes motivos retornam a cadeia de produção, constituída parcialmente por canais reversos para onde seguem estes insumos, com o objetivo de agregar valor aos resíduos.

Outras formas de lidar com o problema do lixo eletrônico incluem o descarte em aterro sanitário de materiais não-recicláveis e a geração de energia através da queima de resíduos específicos.

A legislação brasileira prevê o engajamento das indústrias de produtos eletroeletrônicos no ciclo de pós-consumo reabsorvendo seus produtos e reinserindo no mercado ou descartando de forma adequada o lixo eletrônico. Caso a empresa produtora ou consumidora realize o descarte adequado do lixo eletrônico, é possível a solicitação no INEA de um manifesto e certificado de empresa sustentável e comprometida com a recuperação do meio ambiente.

Alguns fabricantes promovem a logística reversa seguindo a legislação vigente e investem na divulgação deste processo, entre eles destacamos alguns programas de maior expressão:

1. Ciclo Sustentável Philips – é um programa que atende 25 cidades brasileiras. A empresa se responsabiliza pela coleta e destinação correta de todos os tipos de aparelhos eletroeletrônicos e eletrodomésticos da marca, como tevês, aparelhos de áudio e vídeo e cafeteiras. Mais informações e detalhamento sobre a sustentabilidade do projeto podem ser encontrados no site: <http://www.sustentabilidade.philips.com.br> ;
2. Fabricantes de computadores e *devices* como a DELL, HP, Positivo e Itautec possuem programas de reciclagem dos produtos de suas marcas e fazem a coleta do equipamento que não está mais sendo usado. O serviço é gratuito, mas precisa ser agendado por telefone ou e-mail. Em seus sites existem informações detalhadas de como é realizado o procedimento, além dos fabricantes toda a

cadeia de venda está engajada no processo de sobrevida ou desmontagem e reciclagem de seus produtos;

3. Cedir - o Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de Informática da USP recebe e reforma equipamentos como CPUs, monitores, impressoras, scanners, projetores e aparelhos de fax e os encaminha para unidades da USP e entidades assistenciais cadastradas em São Paulo. Projeto em fase inicial e de baixa aderência. Existem informações completas sobre o programa no site <http://www.cedir.usp.br> ;
4. CI (Projeto Computadores para Inclusão) é um projeto do Governo Federal que recupera computadores descartados por órgãos governamentais, empresas e pessoas físicas. Os equipamentos são enviados aos CRCs (Centros de Recondicionamento de Computadores), que também promovem a capacitação e a inclusão digital de jovens. Depois de recuperados, os aparelhos são encaminhados a escolas públicas, bibliotecas e tele centros comunitários. Informações sobre o programa podem ser encontrados no site: <http://www.computadoresparainclusao.gov.br> ;
5. Brastemp – a empresa possui o “Programa Brastemp Viva!”, que recolhe produtos da marca para reciclagem. Disponibiliza informações no site : <http://www.brastemp.com.br> . Poucas informações foram encontradas sobre o tratamento dado aos produtos e o destino após processamento;
6. Walmart – a rede de supermercados tem mais de 60 pontos de coleta de pilhas e baterias em todas as suas lojas e clubes e garante a destinação correta desses produtos. Pontos de coleta de e-lixo estão sendo estudados. Não existem no momento pontos de descarte voluntário de lixo eletrônico;
7. Recicla CT - Responsável por coletar os Resíduos de Informática do Centro de tecnologia da UFRJ e separar para doação. Duas cooperativas cadastradas coletam de forma alternada conforme acordo realizado em 2014. Neste local é realizada uma triagem inicial e o lixo eletrônico é acomodado de forma isolada dos outros resíduos. Dessa forma, o CT vem consolidando ações que beneficiam o meio ambiente e a qualidade de vida, despertando a sensibilização e conscientização das pessoas através de uma adesão participativa e propositiva;
8. Comlurb é a empresa pública responsável pela coleta de todos os tipos de lixo no Rio de Janeiro mantendo cestas específicas para a coleta de pilhas e baterias espalhadas em locais de grande circulação de pessoas. Cestas exclusivas para coleta de e-lixo estão sendo estudadas. Atualmente o lixo eletrônico é recolhido em armazéns da Comlurb por catadores da rede privada de coleta de lixo.

A triagem, desmontagem e destinação do lixo eletrônico são realizadas por empresas privadas.

A Figura 2.7 apresenta um ponto de coleta de resíduos eletrônicos.



Figura 2.7: Coleta de lixo eletrônico

A Subseção 2.1.6 discute o tratamento do lixo eletrônico no município do Rio de Janeiro e o papel da COMLURB na cadeia de reciclagem de resíduos.

## 2.1.6 Tratamento do e-lixo no município do Rio de Janeiro

O município do Rio de Janeiro possui três cooperativas certificadas e com todas as licenças ambientais sendo que duas trabalham exclusivamente com lixo eletrônico, são elas COOP CÉU AZUL, Transformando e COOPAMA. Estas empresas realizam a coleta, triagem, selecionam o material que não pode ser reciclado nas cooperativas do Rio de Janeiro e enviam para o município de São Paulo para processamento ou exportação.

A Figura 2.8 exibe a quantidade de cooperativas 100 % licenciadas atuantes no Brasil, por regiões.

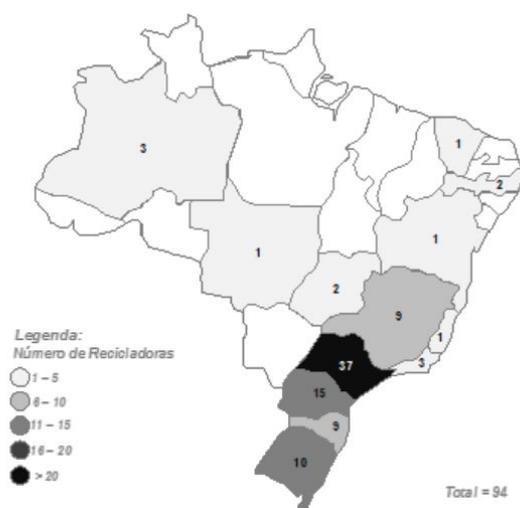


Figura 2.8: Quantitativo de cooperativas licenciadas por regiões. Fonte: [10]

Os principais destinos do material exportado são os Estados Unidos, China, Bélgica, Alemanha e Holanda. As empresas estabelecidas no Rio de Janeiro ainda não estão capacitadas para exportar mas já existe um movimento neste sentido. A existência de uma planta de reciclagem dos materiais mais nobres seria benéfica para toda a cadeia, mas conforme informações coletadas ainda não existe previsão de sua implementação.

As cooperativas localizadas dentro do município do Rio de Janeiro estão se organizando com o apoio da Caixa Econômica Federal e do SEBRAE para se capacitar para virarem exportadores e assim elevarem sua lucratividade. A empresa responsável pela coleta de lixo no Rio de Janeiro é a COMLURB, que possui um processo primário de triagem de lixo orgânico e reciclável, mas não faz a triagem e desmontagem do lixo eletrônico, disponibilizando para as empresas certificadas este material sem custo para a cooperativa com os resíduos. Isto ocorre pois a responsabilidade do lixo eletrônico é do Estado do Rio de Janeiro de acordo com a lei vigente.

O município estima um gasto de 1,2 bilhões de Reais para a coleta do lixo convencional e recicláveis (excluindo o lixo eletrônico, pilhas e baterias e lâmpadas fluorescentes) sem receber verba estadual para processamento do e-lixo.

A Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC) é o órgão central do Sistema de Gestão Ambiental. Atua principalmente no licenciamento ambiental na fiscalização das atividades potencialmente poluidoras. Um de seus objetivos específicos é promover a gestão integrada de resíduos sólidos do Município do Rio de Janeiro.

Segundo os catadores os dois últimos prefeitos tem demonstrado muito esforço para lidar com o problema de acumulo ou aterro do lixo eletrônico. Para o município avançar no sentido de efetuar uma ação definitiva para a reciclagem e o descarte adequado de e-lixo será necessário o dialogo entre a esfera federal, estadual, municipal e empresários.

Um debate necessário é sobre o tema dos impostos cobrados do setor de reciclagem. Atualmente em alguns casos é mais vantajoso financeiramente comprar insumos extraídos da natureza do que comprar material reciclado devido à tributação e custos inerentes do setor.

Uma reivindicação das cooperativas legalizados no município do Rio de Janeiro é uma fiscalização mais eficaz por parte do poder público, pois com o aumento do desemprego nos anos de 2015 e 2016 teve como consequência um grande número de desempregados que passaram a realizar coleta de lixo reciclável de forma ilegal. Estas pessoas sem capacitação e sem licença ambiental para realizar este processo expõem a natureza e a própria saúde lidando com materiais tóxicos presente no lixo. A Figura 2.9



Figura 2.9: Fluxograma da gestão de resíduos sólidos no município do Rio de Janeiro.

O Decreto Municipal nº 37.775 de 10/10/2013 instituiu o plano de gestão de resíduos da cidade do Rio de Janeiro no cenário de junho de 2012, considerando as alternativas de destinação de resíduos em operações e incluindo informações sobre os sistemas de tratamento ambiental mantidos pós-encerramento dos aterros de Jardim

Gramacho e Bangu. É parte integrante do Plano Municipal de Saneamento Básico de Água e Esgoto do Município do Rio de Janeiro (PMSB - AE), estabelecido pelo Decreto Municipal nº 34.290/2011.

O Centro de Tratamento de Resíduos CTR-Rio, em Seropédica, inaugurado em Abril de 2011, operado pela CICLUS, recebe todos os resíduos gerados na cidade do Rio de Janeiro.

Esse Centro foi construído de forma a permitir o encerramento dos aterros de Gramacho e Bangu. Além dos resíduos da Cidade, atende também aos municípios de Itaguaí e Seropédica, tendo capacidade para atender outros municípios.

Entre as principais tecnologias empregadas pelo CTR está o sistema de impermeabilização inferior do aterro, composto de tripla camada de impermeabilização, feita com mantas reforçadas de polietileno de alta densidade (PEAD), camadas de argila compactada e rede de sensores ligados a um *software* que indica qualquer vazamento que ocorra.

O biogás, fruto da decomposição dos resíduos e rico em metano, é transformado em  $CO_2$  através da queima, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa. O chorume drenado é encaminhado ao sistema de tratamento biológico e nanofiltração. A Figura 2.10 apresenta a imagem aérea do CTR-Rio.



Figura 2.10: Centro de Tratamento de Resíduos CTR - Rio, em Seropédica. Fonte: [8].

Considerado o maior aterro da América Latina, o Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho (AMJG), em Duque de Caxias, foi encerrado definitivamente em junho de 2012. O AMJG desativado manterá o sistema de tratamento de chorume, além do monitoramento ambiental e geotécnico por, pelo menos, mais 10 anos.

A sua transformação em um pólo de extração de biogás possibilitou à Refinaria

Duque de Caxias – REDUC utilizar este biogás como substituto energético do gás natural, após passar por uma unidade de purificação. O sistema de exploração do biogás também reduz as emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. A Figura 2.11 apresenta a vista aérea do Aterro Metropolitano de Jardim Gramacho (AMJG).



Figura 2.11: Aterro metropolitano de Jardim Gramacho. Fonte: [8].

Localizado em Gericinó, este aterro encerrou o recebimento de resíduo domiciliar em abril de 2014, atendendo ao prazo (agosto de 2014), conforme determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos. A Figura 2.12 apresenta a vista aérea do Aterro de Gericinó.



Figura 2.12: Aterro de Gericinó, Bangu. Fonte: [8].

Segundo [10] aproximadamente 2 % do lixo eletrônico produzido, processado e classificado é enviado para São Paulo para reinserção na cadeia produtiva ou para exportação.

Estima-se que atualmente processamos de forma primária (desmonte) menos de 5% de todo o lixo eletrônico produzido no município do Rio de Janeiro. O restante dos resíduos do lixo eletrônico é enterrado ou é utilizado como fonte de energia gerando assim um passivo ambiental e desperdício de renda no setor de reciclagem. Em países desenvolvidos a reciclagem de e-lixo movimenta a economia socioambiental gerando renda e emprego para a população local.

Uma peculiaridade no mercado de recicláveis no município do Rio de Janeiro é o que as cooperativas chamam de “Morcegos”, catadores clandestinos que retiram lixo reciclável de forma clandestina em veículos ou carroças impróprias e muitas vezes de forma perigosa circulando pela cidade sem a devida fiscalização.

A Subseção 2.1.7 mostra a necessidade de tratamento especial ao lixo eletrônico como desmontagem, descaracterização, separação e processamento.

### **2.1.7 Descaracterização e separação de componetes de e-lixo**

Com o objetivo de reciclar ou realizar o descarte correto do lixo eletrônico podemos olhar para todo o processo logístico que envolve esta atividade. Todas estas atividades se enquadram dentro da definição de Logística, iniciando no processo de coleta de resíduos, seu transporte até a planta de separação, seu armazenamento inicial, tarefa de separação dos componentes e armazenamento por tipo de material e finalmente a descaracterização e separação dos insumos.

A descaracterização e a separação dos componentes eletrônicos viabilizam seu reuso pelas indústrias já que estes materiais possuem valor comercial e são potenciais geradores de empregos. Este trabalho é realizado pelos cooperativados e sucateiros que trabalham com lixo eletrônico.

Somente depois do processo de segmentação dos componentes dos resíduos( diversos tipos de plásticos, vidros, capacitores, condutores magnéticos, fios, etc) é possível seu reuso ou descarte. Abaixo seguem imagens que ilustram diversos tipos de lixo eletrônico, o processo de desmontagem e desconfiguração assim como a segmentação dos resíduos. A Figura 2.13 mostra a desmontagem de componentes eletrônicos.



Figura 2.13: Desmontagem de lixo eletrônico. Fonte: [2].

A Figura 2.14 ilustra a segmentação de materiais de acordo com o seu tipo.



Figura 2.14: Segmentação de metais. Fonte: [2]

A Figura 2.15 apresenta a descaracterização de celulares.



Figura 2.15: Descaracterização de celulares. Fonte: [2].

A Figura 2.16 destaca o cuidado dispensado no manuseio de lixo eletrônico.



Figura 2.16: Manuseio de lixo eletrônico. Fonte: [2].

A Subseção 2.1.8 apresenta a logística reversa como melhor solução para o problema do acúmulo do lixo eletrônico.

### **2.1.8 Logística reversa como melhor solução de destinação do lixo eletrônico**

Um importante avanço da política é a chamada “logística reversa”. Conforme definição apresentada na própria legislação, a logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

É através desse sistema, por exemplo, que materiais recicláveis de um produto eletrônico em fim de vida útil descartado pelo consumidor poderão retornar ao setor produtivo na forma de matéria-prima.

Segundo [10], a melhor forma de viabilizar a logística reversa exigida pela PNRS envolve todas as partes relacionadas ao processo deverão contribuir para o encaminhamento dos produtos em fim de vida útil para a reciclagem ou destinação final ambientalmente adequada. A legislação obriga os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes a:

- Investir no desenvolvimento, fabricação e colocação no Mercado de produtos aptos à reutilização, reciclagem ou outra forma de destinação ambientalmente adequada e cuja fabricação e uso gerem a menor quantidade de resíduos sólidos possível;
- Divulgar informações relativas às formas de evitar, reciclar e eliminar os resíduos sólidos associados a seus respectivos produtos;

Outras obrigações das empresas do setor de reciclagem são:

1. Implantar procedimentos de compra de produtos ou embalagens usados;
2. Disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis;
3. Atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis.

A Figura 2.17 apresenta o ciclo da cadeia de logística reversa de REEE (Resíduos EletroEletrônicos).

O papel do consumidor nesse processo é o de efetuar a devolução de seus produtos e embalagens aos comerciantes ou distribuidores após o uso. Aos comerciantes e

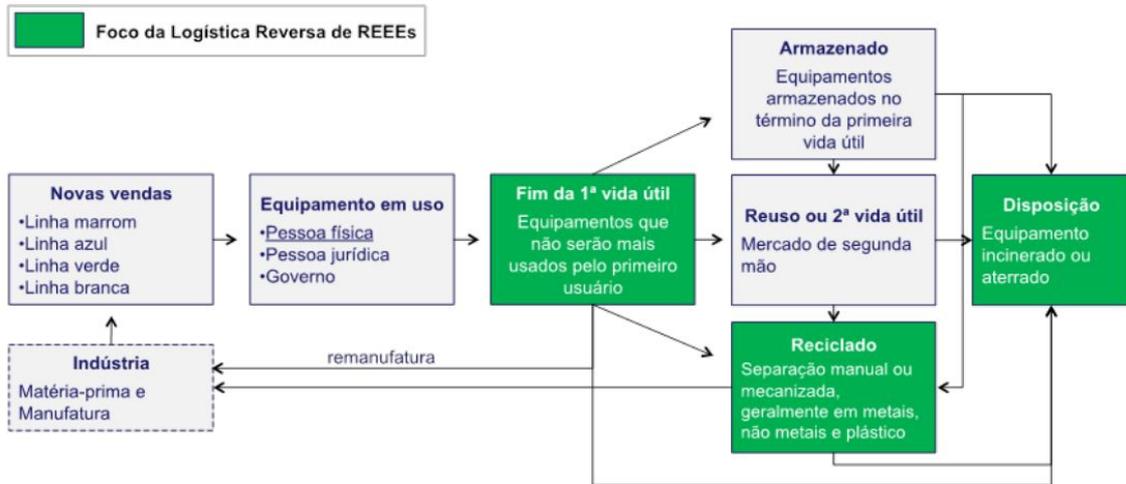


Figura 2.17: Ciclo da cadeia de REEEs. Fonte: [10].

distribuidores compete efetuar a devolução aos fabricantes ou aos importadores dos produtos e embalagens reunidos ou devolvidos. A Figura 2.18 apresenta agentes e etapas da cadeia de reciclagem de REEEs.

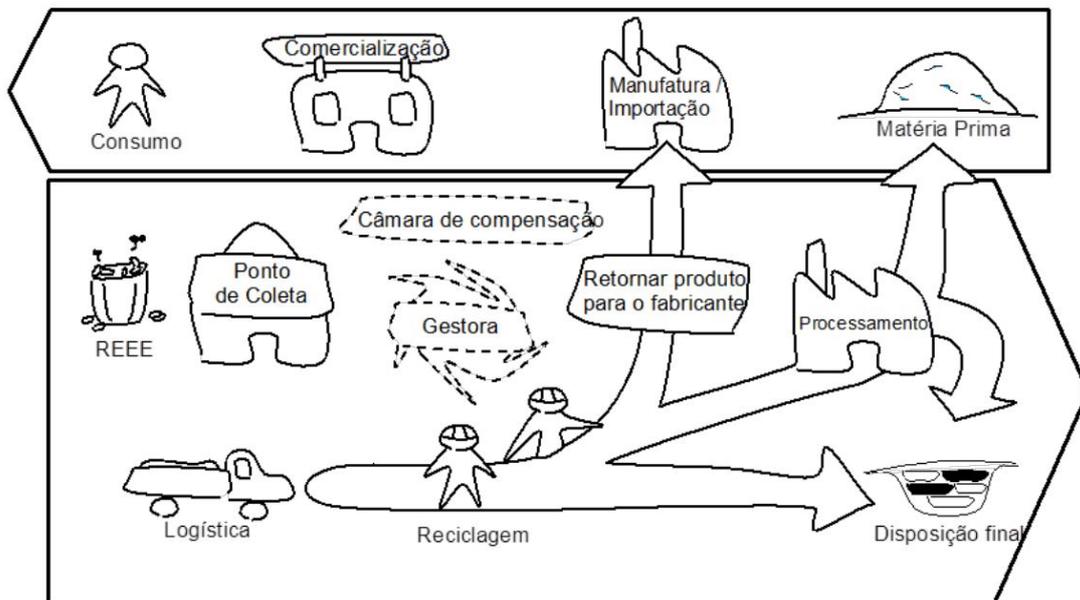


Figura 2.18: Agentes atuantes da cadeia de reciclagem. Fonte: Adaptado de [10].

Os fabricantes e os importadores deverão dar destinação ambientalmente adequada aos produtos e às embalagens reunidos ou devolvidos, sendo o rejeito encaminhado para a disposição final ambientalmente adequada, na forma estabelecida pelo órgão competente do SISNAMA e, se houver, pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos.

Ainda no âmbito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produ-

tos, cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, observado, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:

1. Adotar procedimentos para reaproveitar os resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;
2. Estabelecer sistema de coleta seletiva;
3. Articular com os agentes econômicos e sociais medidas para viabilizar o retorno ao ciclo produtivo dos resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis oriundos dos serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos;
4. Realizar as atividades definidas por acordo setorial ou termo de compromisso, mediante a devida remuneração pelo setor empresarial;
5. Implantar sistema de compostagem para resíduos sólidos orgânicos e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido;
6. Dar disposição final ambientalmente adequada aos resíduos e rejeitos oriundos dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos.

Se ao longo desse processo, o titular do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, por acordo setorial ou termo de compromisso firmado com o setor empresarial, encarregar-se de atividades de responsabilidade dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes nos sistemas de logística reversa dos produtos e embalagens a que se refere este artigo, as ações do poder público serão devidamente remuneradas, na forma previamente acordada entre as partes.

O grande desafio da logística reversa reside no custo associado à operacionalização do sistema em um país de extensão continental e com suas particulares complexidades logísticas. É sabido que qualquer sistema que seja estabelecido incorrerá em maiores dispêndios, ora tratados como custos quando apreciados sob a ótica puramente econômica, ora encarados com investimento necessário para um mundo sustentável.

Um olhar mais atento e consciente a essa questão indica que o aparente aumento de custo não configura de fato um aumento, mas sim a antecipação de custos que incorreriam no futuro para remediar o impacto negativo ao meio-ambiente causado pelo descarte inadequado de resíduos.

A Subseção 2.1.9 apresenta o ciclo do processo de reciclagem do REEE.

### 2.1.9 Fluxograma do processo de reciclagem do lixo eletrônico

O fluxograma apresenta as etapas e processos da reciclagem do lixo eletrônico iniciando na captação de resíduos e ao fim realizando a reinserção na cadeia produtiva ou descarte correto efetuado conforme as leis vigentes:

1. O início do processo é a coleta ou recepção do lixo eletrônico descartado;
2. Estes resíduos serão transportados até uma planta onde é efetuada uma primeira triagem, nesta etapa busca-se o material descartado em bom estado podendo ser revendido ou doado a alguma instituição filiada. Todo o restante do material que não pode ser reaproveitado nesta etapa segue para a etapa seguinte;
3. A próxima etapa é a descaracterização do material, após o processo de desmontagem o material está apto para a separação;
4. Materiais como metais, placas de circuito impresso, plásticos de diversos tipos (que devem ser separados por possuírem processos de reciclagem diferenciados), entre outros são separados e dispostos em locais devidamente acondicionadas para a etapa seguinte;
5. Os elementos dos componentes eletrônicos são descaracterizados e processados;
6. Visando a eficiência logística parte do material passa pelo processo de trituração e compactação para facilitar o estoque e transporte;
7. Para finalizar o processo o produto da reciclagem segue para indústrias específicas por tipo de material recolhido, as placas impressas trituradas são exportadas para os EUA, China, Holanda, Alemanha e França para processamento e o restante é descartado de forma a minimizar danos ao meio ambiente.

A Figura 2.19 ilustra o processo de triagem e reciclagem.

A Subseção 2.1.10 apresenta leis, regimentos e normas destinadas ao trato do lixo eletrônico.

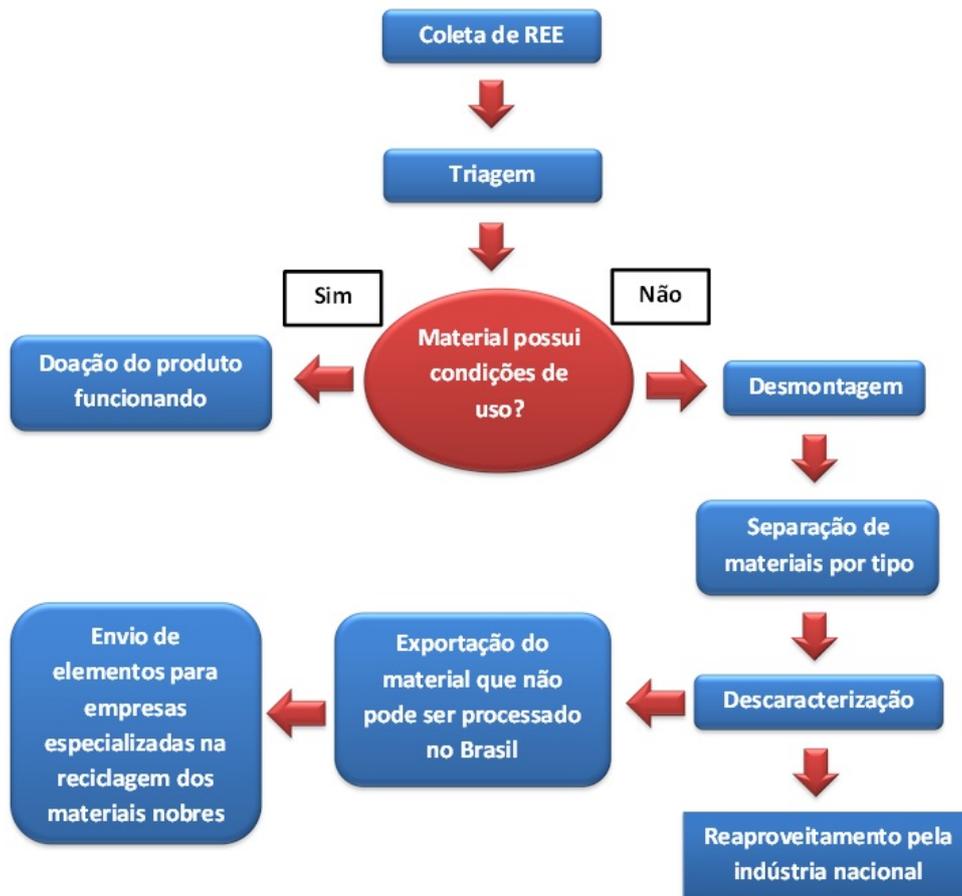


Figura 2.19: Processo de triagem, reaproveitamento e descarte do lixo eletrônico.

### 2.1.10 Legislação, normas e acordos relacionados

O Brasil possui uma legislação muito moderna e é considerada pela ONU como uma das mais abrangentes, aplicando para a indústria e importadores leis e acordos que obrigam as empresas a pensarem nos rejeitos dos produtos sejam eles fabricados no Brasil ou importados. Segundo a legislação vigente todos os participantes do processo produtivo devem se comprometer a oferecer ao usuário final a possibilidade de retorno dos rejeitos para tratamento ou descarte adequado.

#### **Legislações, normas e acordos relacionados à atividade:**

A norma ABNT NBR ISO 14001:2004 - define aspectos e impactos ambientais da seguinte maneira:

- Aspecto ambiental: elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização, que podem interagir com o meio ambiente;
- Impacto ambiental: qualquer modificação no meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte no todo ou em parte das atividades, produtos ou serviços de uma organização;

Devido à longa tramitação quando da aprovação da PNRS no Congresso Nacional diversos estados e municípios já haviam desenvolvido legislação e mecanismos próprios voltados ao gerenciamento de resíduos sólidos.

A PNRS constitucionalmente sobrepõe-se a esses dispositivos, prevendo a suspensão automática e imediata das legislações estaduais e municipais no momento da entrada em vigor da norma federal. Parte-se do princípio de que o genérico compete à União e o detalhamento ao poder estadual ou local, mas que estes só podem ser mais restritivos do que a União, nunca mais brandos ou tênues ao agir [11].

Eventuais conflitos durante a necessária adaptação da PNRS aos diferentes dispositivos locais e estaduais já existentes serão irrelevantes frente aos benefícios de uma política estruturada e abrangente.

A norma de 2004 sofreu alterações atualizando pontos relevantes. A ABNT NBR ISO 14001:2015 passa a exigir:

- Que a gestão ambiental seja mais importante no posicionamento estratégico da empresa;
- Maior comprometimento da liderança;
- A implementação de iniciativas proativas que visem proteger o meio ambiente contra danos e degradação, como por exemplo, o uso sustentável dos recursos e a mitigação das alterações climáticas;
- Enfoque no conceito de ciclo de vida a fim de garantir que aspectos ambientais sejam levados em consideração desde o desenvolvimento até o fim da vida útil do produto;
- A adoção de uma estratégia de comunicação com foco nas partes interessadas.

A Figura 2.20 destaca o tipo de legislação por Estado.

A Lei n.º 12.305, de 02 de agosto de 2010 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; A mudança para a Lei de 1998 inclui a necessidade de fim dos “lixões”, criação de aterros sanitários e responsabilização dos geradores de resíduos. Portanto, a partir de 2010, todas as indústrias são responsáveis pela logística reversa de seus produtos. A PNRS é considerada uma lei atual e bem elaborada.

No âmbito municipal, existe um Decreto de 2009 n.º 30.624 que determina a separação dos materiais recicláveis (incluindo e-lixo) descartados pela administração pública municipal na fonte geradora e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, e dá outras providências.

O CONAMA instituiu a Lei no 6.938, de agosto de 1981, e tendo em vista o disposto na Lei no 9.605, de fevereiro de 1998, no Decreto no 3.179, de setembro de 1999:

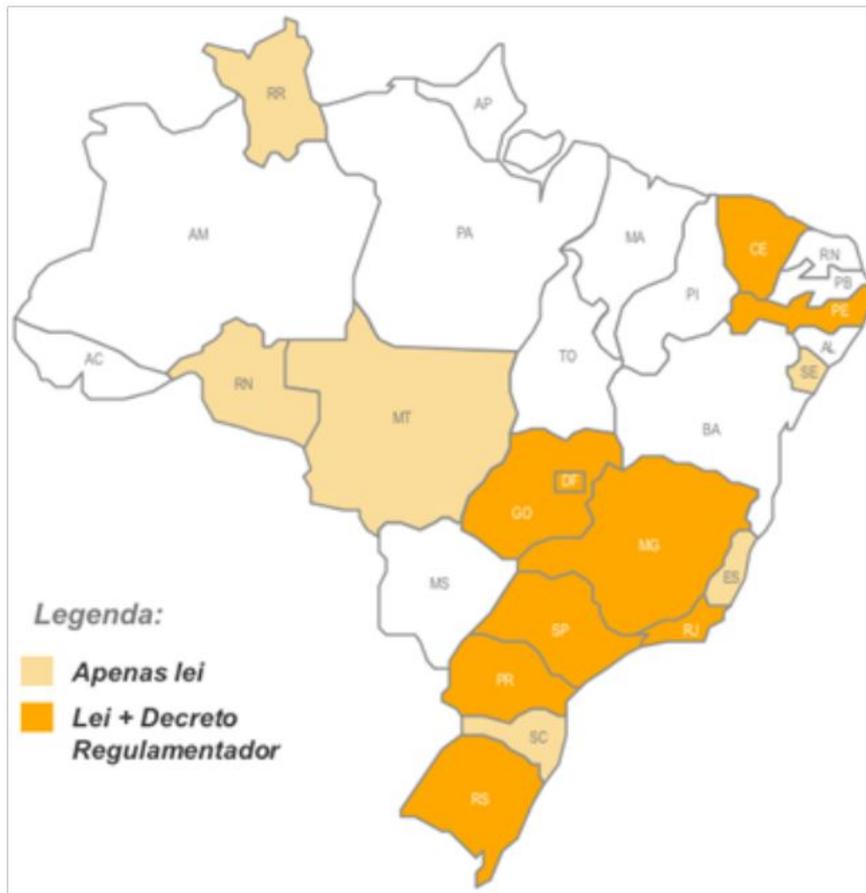


Figura 2.20: Legislação estadual. Fonte: [10].

- Considerando que a reciclagem de resíduos deve ser incentivada, facilitada e expandida no país, para reduzir o consumo de matérias-primas, recursos naturais não-renováveis, energia e água;
- Considerando a necessidade de reduzir o crescente impacto ambiental associado à extração, geração, beneficiamento, transporte, tratamento e destinação final de matérias-primas, provocando o aumento de lixões e aterros sanitários;
- Considerando que as campanhas de educação ambiental, providas de um sistema de identificação de fácil visualização, de validade nacional e inspirado em formas de codificação já adotadas internacionalmente, sejam essenciais para efetivarem a coleta seletiva de resíduos, viabilizando a reciclagem de materiais, resolve:

Art.1o Estabelecer o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva.

Art. 2o Os programas de coleta seletiva, criados e mantidos no âmbito de órgãos da administração pública federal, estadual e municipal, direta e indireta, e entidades

paraestatais, devem seguir o padrão de cores estabelecido:

1o Fica recomendada a adoção de referido código de cores para programas de coleta seletiva estabelecidos pela iniciativa privada, cooperativas, escolas, igrejas, organizações não-governamentais e demais entidades interessadas.

2o As entidades constantes no caput deste artigo terão o prazo de até doze meses para se adaptarem aos termos desta Resolução.

Art. 3o As inscrições com os nomes dos resíduos e instruções adicionais, quanto à segregação ou quanto ao tipo de material, não serão objeto de padronização, porém recomenda-se a adoção das cores preta ou branca, de acordo com a necessidade de contraste com a cor base.

As Figuras 2.21 e 2.22 apresentam os cestos de reciclagem diferenciados pela cor seguindo padrões internacionais.



Figura 2.21: Separação em Cestos com cores específicas para reciclagem. Fonte:[12].



Figura 2.22: Cestos de reciclagem padronizados internacionalmente. Fonte: [12] .

O CONAMA lançou em março de 1990 uma resolução que normatiza as empresas emissoras de ruídos e poluição, e sua forma de controle. Esta resolução foi englobada na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A Lei 6.938/81. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, foi regulamentada pelo Decreto 99.274/1990, alterada pelas leis 7.804/1989, 8.028/1990, 9.960/2000, 9.966/2000, 10.165/2000 e 11.284/2006. Por ser uma lei antiga ficou desatualizada e foi substituída pela mais recente de 2015.

A Seção 2.2 apresenta a pesquisa de campo para a obtenção de informações relevantes para o estudo.

## 2.2 Pesquisa de Campo

Devido à natureza do estudo se fez necessária uma pesquisa de campo para coletar informações pertinentes ao tema, procedimentos adotados, visualização de pontos de descarte voluntário e pontos de coleta de lixo eletrônico.

Foram visitados diversos supermercados, centros comerciais, estações de trens, metrô e rodoviárias, instituições de ensino pública e privadas, shoppings de informática assim como empresas de reciclagem e cooperativa de catadores.

Entre as instituições visitadas estão o Supermercado Carrefour, Shopping X, Terminal Rodoviário Alvorada, Centro Comercial América Mall e Universidade Y. Além de visitas e entrevistas a empresas de reciclagem, sucateiros e cooperativas de catadores que trabalham com lixo eletrônico.

As informações coletadas foram de supra importância para a elaboração dos questionários, sua aplicação e avaliação de informações relevantes para serem inseridas no estudo.

Na etapa posterior entrevistou-se pessoas ligadas à cadeia de reciclagem previamente. Foram realizadas mais de 20 entrevistas para coletar opiniões, ideias, queixas e demandas de cada setor. Essas entrevistas foram fundamentais para entender a dinâmica de toda a cadeia de valor e entender como cada agente influencia a cadeia de reciclagem.

Nas pesquisas de campo, foram visitadas diversas recicladoras e associações para vivenciar o processo de reciclagem e entender o fluxo físico do REEE. Nessa etapa, também foram identificadas algumas dificuldades logísticas e de tecnologias empregadas no trato dos REEE's.

Foi possível perceber que a preocupação com a reciclagem especificamente do lixo eletrônico é uma novidade, cooperativas de catadores e empresas de reciclagem não possuíam informações precisas sobre o processo de coleta de resíduos, ao entrar em contato com cooperativas paulistas foi sensível a diferença de como são tratados os processos, no município de São Paulo os profissionais da área possuem mais experiência e trabalham de forma profissional, possuem um atendimento diferenciado ao cliente/doador e puderam informar com mais detalhes sobre o destino do resíduo pós tratamento.

Após entrevistas com pessoas de nível gerencial, funcionários responsáveis pela operação, funcionários das instituições, etc; foi possível perceber que nenhuma das pessoas contatadas foi capaz de fornecer informações completas para responder os questionários e não tinham informações concretas sobre o local onde é realizado o

processo de coleta de lixo. Por este motivo o Autor coletou todas as informações disponíveis de forma presencial, por meio de entrevistas e por meios eletrônicos com o objetivo de se capacitar para ser o especialista responsável pelo julgamento do estudo.

Embora seja relativamente novo o processo de separação de lixo eletrônico o município do Rio de Janeiro está realizando de forma acelerada a padronização de processos e troca de informações entre as cooperativas e sucateiros para melhora do desempenho. Infelizmente neste estudo não foi encontrada uma planta onde possa ser reaproveitado os metais nobres contidos no lixo eletrônico. Estes metais são exportados para processamento em países desenvolvidos e o valor pago por estes rejeitos é muito inferior ao seu real valor.

No próximo capítulo será apresentada a Lógica *Fuzzy* utilizada no modelo matemático para localizar o melhor ponto de coleta de lixo eletrônico.

# Capítulo 3

## Lógica *Fuzzy*

Neste capítulo, é apresentada a lógica difusa utilizada no método de decisão multicritério AHP para solucionar o problema de localização.

### 3.1 Números Fuzzy

Muitas técnicas voltadas para problemas de tomada de decisão multicritério foram desenvolvidas ou adaptadas com base na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*. Dentre as diversas abordagens *fuzzy* que vem sendo usadas para Decisão multicritério, as abordagens baseadas em números *fuzzy* são as mais recorrentes na literatura específica.

As abordagens baseadas em números *fuzzy* englobam técnicas que utilizam basicamente números *fuzzy* para representar os julgamentos dos especialistas e que calculam as pontuações das alternativas utilizando procedimentos muitas vezes semelhantes aos originais de cada método, mas que foram adaptados para executar operações algébricas *fuzzy*.

Segundo [13] isso se deve à capacidade de tratar incertezas atribuídas aos métodos MCDM tradicionais a partir da incorporação de recursos da FST. Nesta categoria, incluem-se modelos *fuzzy* TOPSIS [14] e [15] *fuzzy* AHP [16] e [17], *fuzzy* QFD [18] e [19], programação linear *fuzzy* [20] e [21], entre outros.

Os números *fuzzy* permitem a construção de conjuntos *fuzzy* que possibilitam quantificar a imprecisão apresentada nos problemas a serem solucionados. Ao nos depararmos com problemas reais, são inúmeras as variáveis *fuzzy* encontradas o que dificulta um tratamento convencional com números crisp, os números *fuzzy* são representados por uma função de pertinência que segundo [22] deve satisfazer às seguintes condições:

- (i) Convexidade: um conjunto fuzzy é convexo quando satisfaz a equação (3.1).  
Nesta expressão, considera-se que  $\lambda \in [0, 1]$  e  $x_1, x_2 \in X$ ;

(ii)

$$\mu(\lambda * x_1 - (1 - \lambda) * x_2) \geq \text{MIN}\{\mu(x_1), \mu(x_2)\} \quad (3.1)$$

(iii) Normalidade: Ao menos um dos elementos deve ter grau de pertinência igual a 1, conforme definido pela equação (3.2):

(iv)

$$\mu(x) = 1, \text{ para algum } x \in X \quad (3.2)$$

A morfologia de um número *fuzzy* segundo [23] é definida pela apresentação do comportamento de  $\mu(x)$ . Um número *fuzzy* triangular é descrito por sua função de pertinência que constitui segmentos lineares na forma de um triângulo. Um número *fuzzy* triangular  $\tilde{A}$  pode ser escrito na forma  $(l, m, u)$ , onde  $m$  denota um valor formal para o conjunto fuzzy,  $l$  é o limite inferior e  $u$  é o limite superior, como mostra a Figura 3.1.

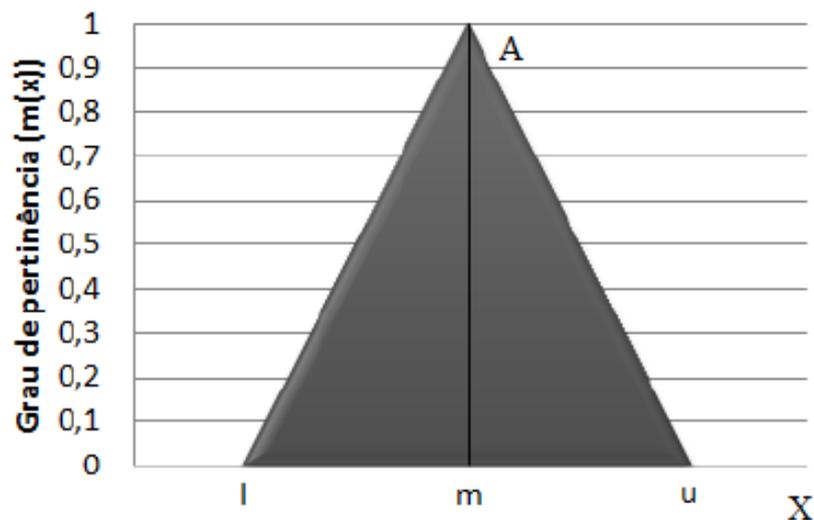


Figura 3.1: Número *fuzzy* triangular.

Em que o grau de pertinência de  $\mu_A(x)$  é definido pela equação (3.3)

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq l \\ \frac{x-l}{m-l}, & \text{se } x \in [l, m] \\ \frac{u-x}{u-m}, & \text{se } x \in [m, u] \\ 0, & \text{se } x \geq u \end{cases} \quad (3.3)$$

Já as funções trapezoidais são funções lineares caracterizadas por 4 parâmetros  $(a, m, n \text{ e } b)$ ,) como mostra a Figura 3.2.

Em que o grau de pertinência de  $\mu_B(x)$  é definido pela equação (3.4).

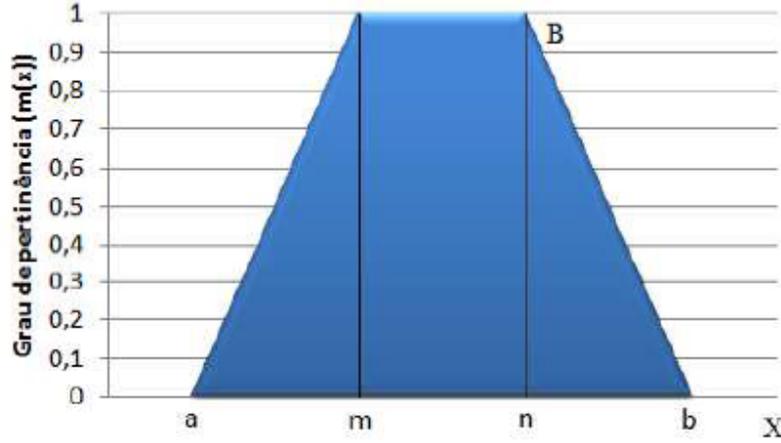


Figura 3.2: Número *fuzzy* trapezoidal.

$$\mu_B(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{se } x \in [a, m] \\ 1, & \text{se } x \in [m, n] \\ \frac{b-x}{b-n}, & \text{se } x \in [n, b] \\ 0, & \text{se } x \geq b \end{cases} \quad (3.4)$$

As operações básicas com dois números triangulares  $\tilde{A}$  e definidos em um mesmo universo de discurso  $X$ , são feitas usando as seguintes equações: equação (3.5) para soma, equação (3.6) para subtração, equação (3.7) para multiplicação e equação (3.8) para divisão.

$$\tilde{A} + \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] + [l_B, m_B, u_B] = [[l_A + l_B, m_A + m_B, u_A + u_B]] \quad (3.5)$$

$$\tilde{A} - \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] - [l_B, m_B, u_B] = [[l_A - u_B, m_A + m_B, u_A + l_B]] \quad (3.6)$$

$$\tilde{A} * \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] * [l_B, m_B, u_B] = [[l_A * l_B, m_A * m_B, u_A * u_B]] \quad (3.7)$$

$$\tilde{A} / \tilde{B} = [l_A, m_A, u_A] / [l_B, m_B, u_B] = [[l_A / u_B, m_A / m_B, u_A / l_B]] \quad (3.8)$$

Nos modelos de decisão multicritério, números *fuzzy* vêm sendo cada vez mais usados por serem capazes de representar matematicamente os valores linguísticos

de algumas variáveis, o que será discutido detalhadamente a seguir. A Seção 3.2 aborda a teoria dos conjuntos *fuzzy* como alternativa à matemática tradicional.

## 3.2 Conjuntos *fuzzy*

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (*Fuzzy Set Theory* - FST) foi criada por um matemático iraniano Lotfi Asker Zadeh em 1965 e desde então vem sendo usada para formulação de modelos em diversos tipos de problemas. A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* surgiu como uma alternativa a matemática *crisp* utilizada para avaliar variáveis nebulosas utilizadas cotidianamente, transmitidas e compreendidas linguisticamente naturalmente expressadas pelo processo cognitivo do ser humano.

Assim, a Teoria de Conjuntos *Fuzzy* possibilitou dar um tratamento matemático a termos linguísticos subjetivos como “muito”, “sensivelmente”, “aproximadamente”, etc. Tornando possível a programação de conceitos imprecisos como encontramos em problemas em sua natureza descrevendo melhor a realidade. Segundo [24] quanto maior for a complexidade das informações observadas no contexto, maior é a imprecisão no entendimento das informações e nas conclusões.

São consideradas assim as variáveis linguísticas, valores difusos que são definidos por palavras utilizadas no cotidiano. Além disso, os conjuntos cujas fronteiras podem ser consideradas incertas como “pequeno” ou “quente” demonstram as propriedades subjetivas ou atributos imprecisos, também podem ser entendidos pela Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* [25] e [26].

Segundo [27], a principal diferença entre a Teoria Clássica dos Conjuntos e a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* está na forma com que o “pertencimento” ou “grau de inclusão” de um determinado elemento a um conjunto é definido.

Segundo a Teoria Clássica dos Conjuntos, os conjuntos *crisp* são definidos como um grupo de elementos ou objetos finitos e contáveis, onde somente é dada a possibilidade a cada elemento o pertencimento total ou o não (binário) pertencimento a uma determinada classe. A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* que permite um elemento pertença parcialmente a uma classe e ou pertença a mais de uma classe, simultaneamente.

A Seção 3.3 apresenta as bases de dados consultadas neste estudo, como periódicos, dissertações, teses, livros e meios digitais.

### 3.3 Pesquisa Bibliográfica

A pesquisa contida neste estudo utilizou dados apresentados por relatórios anuais produzidos pela ONU e institutos ligados ao órgão, dados fornecidos pela Interpol sobre remessa de lixo não desejável para países de terceiro mundo e informações contidas em dissertações, teses e artigos científicos publicados em periódicos.

Por meio de uma análise sistemática, este estudo realizou uma busca sobre o processo de coleta de lixo eletrônico não encontrando nenhum artigo abordando o processo de forma específica.

Ampliando a busca foram utilizados termos específicos relacionados com o tema do lixo eletrônico como um meio de identificar, avaliar e interpretar as pesquisas disponíveis relevantes. Os artigos selecionados foram coletados nas bases de periódicos mais citados.

A Tabela 3.1 mostra os locais de banco de dados de periódicos utilizados como fonte de pesquisa:

Tabela 3.1: Periódicos utilizados como base da pesquisa

<b>Science Direct</b>	<a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>
<b>Emerald</b>	<a href="http://www.emeraldinsight.com">http://www.emeraldinsight.com</a>
<b>Scielo</b>	<a href="http://search.scielo.org">http://search.scielo.org</a>
<b>Google Scholar</b>	<a href="http://scholar.google.com">http://scholar.google.com</a>
<b>Google Scholar (em português)</b>	<a href="http://scholar.google.com.br">http://scholar.google.com.br</a>

Para coletar artigos nos portais de periódicos, foram definidos os seguintes procedimentos de busca e escolha:

- a Inserção da palavra-chave “*E-Waste*”, “*AHP FUZZY*”, “*Multi-Criteria Decision Making*” e por fim a inserção de todos os termos para início da pesquisa nos respectivos campos de busca em cada uma das bases de periódicos;
- b Utilização de filtros para selecionar somente artigos publicados entre 2000 e 2016 e que foram publicados em periódicos científicos (*Journals*);
- c Eliminação de artigos que não contemplavam o desenvolvimento ou aplicação de modelos de decisão de forma específica.

Nas seguintes Tabelas 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 é possível observar a quantidade de citações em livros, periódicos, trabalhos acadêmicos e científicos, normas técnicas, patentes, teses e dissertações.

Em relação aos resultados obtidos pelo uso de cada um dos métodos aplicados para a seleção de alternativas de localização, algumas técnicas não podem ser definidas como MCDM *fuzzy*. Assim, estes métodos são combinados com outros

Tabela 3.2: Número de citações para o termo “*E-Waste*”.

<b>Termo: “<i>E-WASTE</i>”</b>	
Science Direct	536.266
Emerald	15.461
Scielo	1.921
Google Scholar	27.414
Google Scholar (em português)	534

Tabela 3.3: Número de citações para o termo “AHP *FUZZY*”.

<b>Termo: “AHP <i>FUZZY</i>”</b>	
Science Direct	4.453
Emerald	537
Scielo	11
Google Scholar	137.211
Google Scholar (em português)	2.410

Tabela 3.4: Número de citações para o termo “*Multi-Criteria Decision Making*”.

<b>Termo: “<i>Multi-Criteria Decision Making</i>”</b>	
Science Direct	193.102
Emerald	18.742
Scielo	57
Google Scholar	194.000
Google Scholar (em português)	11.233

Tabela 3.5: Número de citações para o termo “*E-Waste + Multi-Criteria Decision Making + AHP FUZZY*”.

<b>Termo: “<i>E-Waste + Multi-Criteria Decision Making + AHP FUZZY</i>”</b>	
Science Direct	752
Emerald	71
Scielo	2
Google Scholar	245
Google Scholar (em português)	7

para a modelagem do problema de decisão e classificação das alternativas. O uso de métodos combinados é encontrado em Redes Neurais Artificiais (RNA), Algoritmo Genético, abordagens *Fuzzy*, Mineração de Dados, Raciocínio Baseado em Casos, QFD (Quality Function Deployment – Desdobramento da Função Qualidade), SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats*), entre vários outros [13].

Apesar disso, todas as técnicas serão referenciadas como métodos *Multi-Criteria Decision Making* pela finalidade que lhes é atribuída nos modelos analisados e por questões de simplificação. A Tabela 3.6 apresenta a quantidade de artigos de cada um dos métodos *Multi-Criteria Decision Making* que não são combinados com outro método.

Tabela 3.6: Número de artigos abordando *Multi-Criteria Decision Making*

Artigos	Métodos	Artigos	Métodos
40	<i>Fuzzy</i>	4	Programação multiobjetivo
32	ANP	3	Redes Neurais Artificiais
28	Algoritmo genético	3	Programação por metas
24	DEA	2	Modelo puramente matemático
24	AHP	2	Programação inteira mista

As abordagens *fuzzy* compõem o método MCDM mais utilizado de forma isolada, totalizando 8 estudos selecionados, são eles Chen *et. al.*(2006) [14], Ordobadi (2008) [28], Shen *et. al.*(2009) [29], Shu *et. al.*(2009) [30], Zhang (2009)[31], Hsu *et. al.*(2010) [32] e Lam *et. al.*(2010) [33].

Percebe-se que métodos que lidam com fenômenos de incerteza têm recebido maior atenção por parte dos pesquisadores visto que a abordagem *fuzzy*, AHP e ANP(*Analytic Network Process*) são os mais adotados.

A Seção 3.4 apresenta a decisão multicritério para a solução de problemas do cotidiano.

## 3.4 Tomada de Decisão Multicritério

A Subseção 3.4.1 mostra que, quanto mais estruturado o problema, maior a probabilidade de sucesso de sua solução.

### 3.4.1 Fundamentos da teoria da decisão

“Os primeiros estudos acerca do processo de tomada de decisão surgiram na França e datam do século XVII, quando vários métodos de eleição e escolha social foram desenvolvidos. O processo de tomada de decisão (*decision making*) é amplamente definido como a realização de qualquer seleção ou escolha de alternativas e, devido ao vasto campo de abrangência, tem sua importância reconhecida em várias disciplinas das ciências naturais e sociais” [34] .

Segundo [34] , uma decisão sofre interferência de diversos fatores, como o tempo disponível para decidir, a importância da decisão, disponibilidade de informações, os tomadores de decisão e os possíveis conflitos de interesses. Assim sendo, quanto mais tempo para decidir, provavelmente será melhor estruturado o problema de decisão. Quanto maior for o grau de estruturação, a probabilidade de se obter maior sucesso será superior, incrementando assim a lógica e racionalidade dos decisores.

Quanto maior a diversidade e disponibilidade de informações de forma estruturada melhor avaliado será o problema a ser trabalhado possibilitando a tomada de decisão com maior acuracidade.

A Subseção 3.4.2 apresenta diferentes métodos de decisão.

### 3.4.2 Métodos de decisão multicritério

Os processos de decisão são definidos como métodos de decisão multicritério (ou métodos MCDM – *Multicriteria Decision Making*). De acordo com [33], os métodos MCDM são um importante conjunto de ferramentas para abordar difíceis decisões em organizações porque auxiliam os gestores em situações de incerteza, complexidade e objetivos conflitantes.

A pesquisa aponta para diversos métodos que são utilizados para apoio à tomada de decisão multicritério como o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) [35], ANP (*Analytic Network Process*) [36], métodos PO (Programação Linear, Programação Multi-objetivo, entre outros) [37], *Data Envelopment Analysis* (DEA) [38], abordagens baseadas na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* [24], Redes Neurais Artificiais (RNA), Algoritmo Genético, etc. A Subseção seguinte apresenta o modelo que será utilizado para a localização de alternativas de pontos de coleta de lixo eletrônico.

## 3.5 Modelo AHP-*Fuzzy*

A escolha do método AHP *Fuzzy* se baseou no estudo originalmente proposto por [35] do método AHP e na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* proposto por [24]. O método de [3] foi selecionado por ser utilizado em artigos publicados diversos periódicos aplicados em estudos de escolhas MCDM – *Multicriteria Decision Making*.

Segundo o modelo proposto por Saaty a tomada de decisão é baseada em um método chamado *The Analytic Hierarchy Process* (AHP). O método é utilizado para analisar, comparar e priorizar critérios e alternativas apresentadas por especialistas. A tomada de decisão é um processo mental cognitivo resultante da seleção do curso mais adequado de ação [39] arbitrariamente escolhidos por quem toma a decisão.

O modelo possui abordagem estruturada para determinar as pontuações das alternativas e pesos dos critérios utilizados a partir da comparação par a par, determinada por julgamentos de especialistas. Desta forma, o AHP envolve muitos fatores intangíveis, mas necessita de respostas racionais e lógicas por parte dos especialistas. O modelo apresenta um índice de consistência informando se necessário um novo julgamento para obter o *rank* de preferências de locais dos pontos de coleta.

Portanto o modelo AHP *FUZZY* faz a transição das preferências, ou julgamentos humanos, em valores numéricos para construir um modelo de tomada de decisão. Os pesos representam a prioridade dada a cada elemento ou critério, que podem ser organizados em hierarquias.

Este estudo se baseou na combinação entre *fuzzy* e AHP proposta por [3], e é

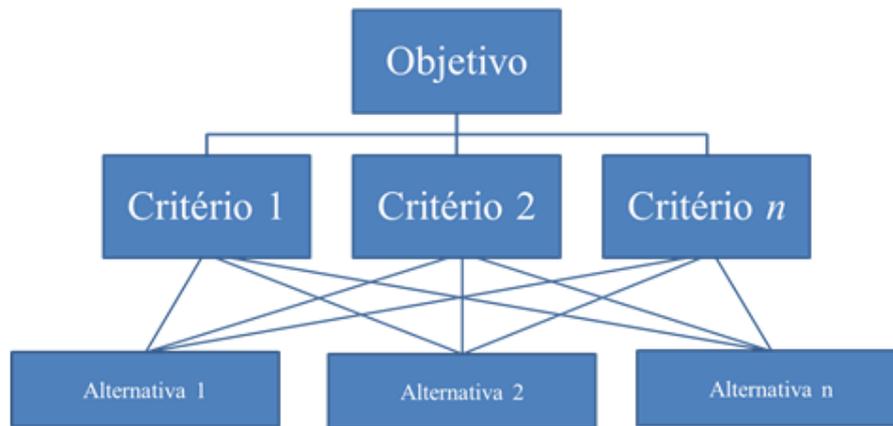


Figura 3.3: Modelo AHP.

conhecida como extent analysis method. Além de ser amplamente usada em diversos tipos de problemas relacionados à gestão de operações e decisão multicritério, este parece ser o método *fuzzy* AHP mais utilizado para tomada de decisão, escolha de parceiros comerciais, recrutamento de funcionários, avaliação de professores, etc.

Segundo [13], as principais vantagens de adoção do método de [3] são o uso de variáveis linguísticas para representar a opinião dos especialistas e a quantificação do desempenho global das alternativas em formato crisp. Além disso, os procedimentos de cálculo do método são mais simples e mais facilmente aplicáveis do que os métodos descritos anteriormente.

Além dos métodos *fuzzy* AHP discutidos, outros métodos anteriores ao método de análise estendida podem ser encontrados na literatura. Contudo, esses métodos não alcançaram projeção considerável, sendo pouco referenciados em estudos sobre o tema.

O Método *fuzzy* AHP para localização de alternativas utiliza entradas com números fuzzy triangulares, peso dos critérios triangulares e saídas com números crisp, utilizando o método de análise estendida proposto por [3] (*Extent analysis method*) obtendo a pontuação final através da comparação entre as preferências sintéticas das alternativas considerando interseção entre conjuntos *Fuzzy*. O método “*Extent analysis method*” foi o mais citado segundo este estudo. Abaixo segue uma figura explicando de forma ilustrada os processos a serem seguidos:

O modelo do método de análise estendida requer uma pessoa para modelagem e a de ao menos um especialista para julgar os critérios e alternativas. Segundo [13] como função o especialista deve:

- a ) Construir uma hierarquia de decisão identificando o objetivo, os critérios e as alternativas, conforme a Figura 3.4.;
- b ) Definir um conjunto de termos linguísticos comparativos para avaliar as

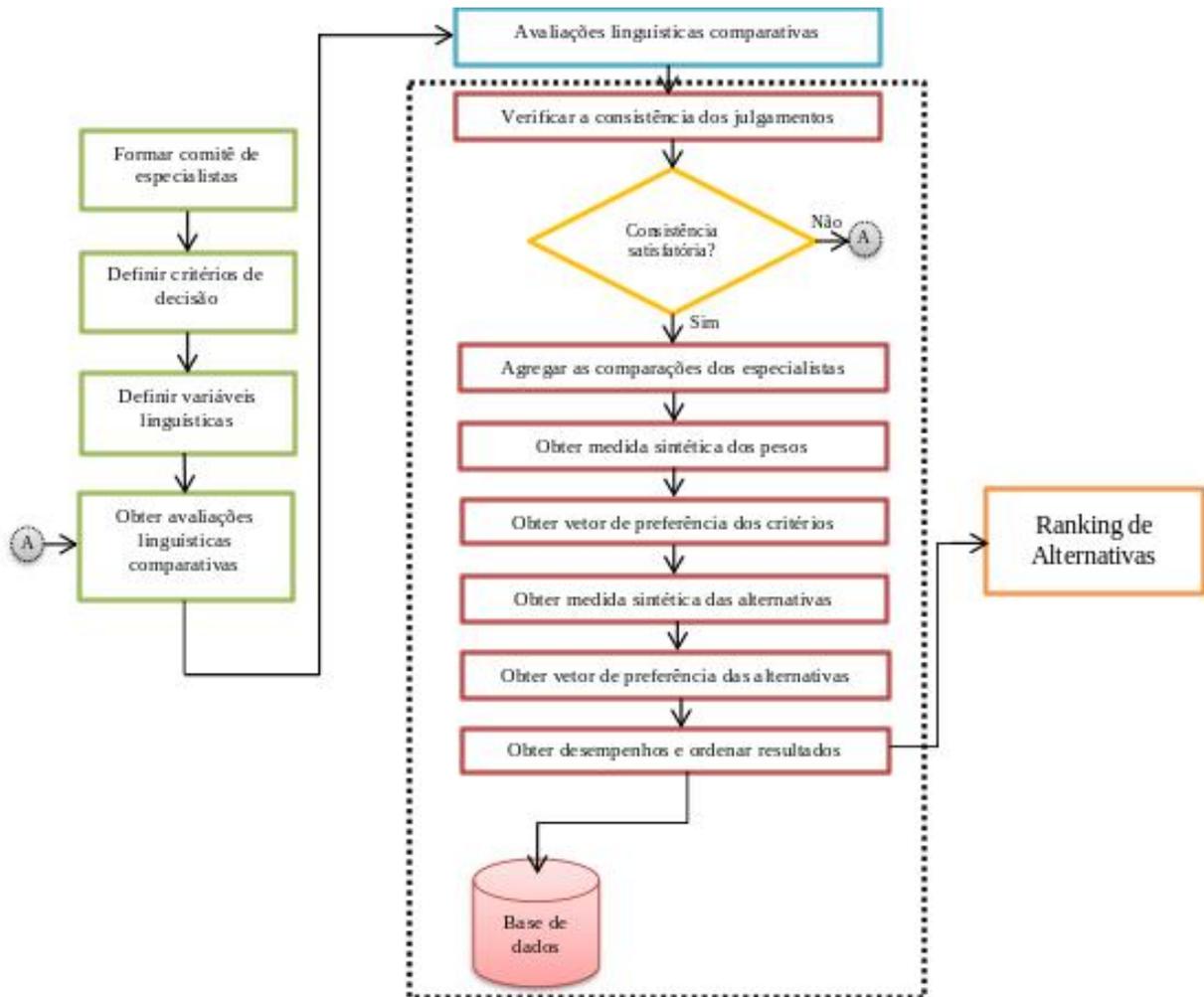


Figura 3.4: Método *fuzzy* AHP para seleção de alternativas(*extent analysis method*)

alternativas e outro conjunto para avaliar os critérios. Com base nestes julgamentos, podemos definir os números *fuzzy* triangulares correspondentes para cada termo linguístico

A Tabela 3.7 apresenta um conjunto de termos linguísticos sugeridos para comparar as Alternativas. Já a Tabela 3.8 apresenta os termos linguísticos que possibilitam comparar os critérios

Tabela 3.7: Conjunto de termos linguísticos para avaliações de alternativas.

Variáveis Linguísticas	Números FUZZY
Levemente mais preferido	$(l_I, m_I, u_I)$
Modelaradamente preferido	$(l_M, m_M, u_M)$
Fortemente preferido	$(l_E, m_E, u_E)$
Muito fortemente preferido	$(l_{ME}, m_{ME}, u_{ME})$
Absolutamente preferido	$(l_A, m_A, u_A)$

c ) Usando o conjunto de valores da Tabela 3.7, cada especialista deverá avaliar

Tabela 3.8: Conjunto de termos linguísticos para avaliações de critérios.

<b>Variáveis Linguísticas</b>	<b>Números FUZZY</b>
Levemente mais relevante	$(l_I, m_I, u_I)$
Modelaradamente mais relevante	$(l_M, m_M, u_M)$
Fortemente mais relevante	$(l_E, m_E, u_E)$
Muito fortemente mais relevante	$(l_{ME}, m_{ME}, u_{ME})$
Absolutamente mais relevante	$(l_A, m_A, u_A)$

o desempenho das Alternativas em relação aos critérios adotados;

- d ) Utilizando o conjunto de valores da Tabela 3.8, cada especialista deverá avaliar a relevância dos critérios de decisão;
- e ) Verificar a consistência dos julgamentos fuzzy coletados. Julgamentos consistentes devem satisfazer à condição  $CR \leq 0.20$ . Julgamentos que não satisfaçam a esta condição devem ser revistos. O índice de consistência dos julgamentos (consistency ratio – CR), deve ser calculado conforme equação (3.9).

$$CR = \frac{\lambda - N}{(N - 1) * RI} \quad (3.9)$$

O índice de consistência dos julgamentos também considera um erro de consistência aleatória (*random consistency index* – RI), cujos valores são determinados de acordo com a ordem da matriz de comparações.

Tabela 3.9: Índice de de consistência de julgamentos, N(ordem da matriz e RI).

<b>N</b>	<b>IC (RI)</b>
3	0,52
4	0,89
5	1,11
6	1,25
7	1,35
8	1,40
9	1,45

Conforme mostrado na Figura 3.3, no *fuzzy* AHP a avaliação das medidas na hierarquia é feita em duas iterações. Em cada iteração, deve-se avaliar o nível que cada um dos objetos satisfaz a um ou mais objetivos. A primeira iteração consiste na determinação dos pesos dos critérios.

Neste caso, os critérios são vistos como objetos que possuem diferentes níveis de pertinência em relação aos objetivos da seleção de alternativas. Para cada critério  $i$ , deve-se obter uma medida de preferência em relação ao objetivo da decisão  $j$ , onde

$M$  é um número *fuzzy* triangular e  $g$  é somente um elemento frequentemente usado nesta notação.

Na segunda iteração devemos avaliar as alternativas e conforme os objetos do segundo e do terceiro nível da hierarquia. Quantificando o quanto as alternativas  $i$  satisfazem a diferentes objetivos (critérios de decisão). Desta forma, para cada alternativa  $i$  e cada especialista  $k$ , deve-se obter uma medida de preferência em relação aos critérios de decisão  $j$ .

Os cálculos para síntese de preferências em cada iteração são realizados pelo modelo. Os procedimentos descritos a seguir devem ser realizados em cada uma das interações segundo [13]:

- (i) Sendo  $\mathbf{X} = \{x_1, x_i, \dots, x_n\}$  um número de objetos,  $\mathbf{G} = \{g_1, g_j, \dots, g_m\}$  um conjunto de objetivos e  $\mathbf{D} = \{d_1, d_r, \dots, d_k\}$  os especialistas participantes da decisão,  $m * k$  valores de medida devem ser obtidos para cada objeto, como ilustra a equação (3.10).

$$M_{gi}^1, M_{gi}^j, \dots, M_{gi}^m, \text{ em que } i = 1, 2, \dots, n \quad (3.10)$$

- (ii) Deve-se agregar as preferências dos  $k$  especialistas utilizando a equação (3.11), que representa a média aritmética entre os números *fuzzy*:

$$M_{gi}^j = \frac{1}{k} = [M_{gi1}^j + M_{gir}^j + \dots + M_{gik}^j] \quad (3.11)$$

- (iii) Utilizando as medidas  $M_{gi}^j$ , uma medida sintética  $S_i$  deve ser calculada para cada objeto usando a equação (3.12).

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} \quad (3.12)$$

Na equação (3.12), o operador  $\otimes$  denota uma operação de multiplicação entre números *fuzzy*. O valor do primeiro fator desta equação pode ser obtido segundo a equação (3.13), que fornece a soma de todas as pontuações que um objeto obteve quando comparado aos demais elementos em relação a um dado objetivo seguindo o julgamento dos especialistas.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad (3.13)$$

O valor do segundo fator da equação (3.12) pode ser obtido usando a equação (3.14), que representa a soma de todas as pontuações em relação a um dado objetivo.

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_i} \right) \quad (3.14)$$

- (iv) Com a medida sintética de todos os objetos, calcula-se o grau de possibilidade que quantifica o quanto cada objeto é preferível sobre todos os objetos. Deve-se obter uma medida de preferência par a par agregando os resultados de todos os pares. Para cada par  $i = 1$  e  $i = 2$ , devemos calcular o grau de preferência de  $S_2$  sobre  $S_1$ , definido por  $V(S_2 \geq S_1)$ , segundo as equações (3.15) e (3.16).

$$S_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq S_1 = (l_1, m_1, u_1) \quad (3.15)$$

$$V(S_2 \geq S_1) = ALT(S_1 \cap S_2) = \mu_{M_2}(d) \quad (3.16)$$

Na equação (3.16), o valor de  $\mu_{M_2}(d)$  pode ser definido pela equação (3.17). Quando existe uma interseção entre  $S_1$  e  $S_2$ ,  $\mu_{M_2}(d)$  representa o **maior** grau (ou altura D) do conjunto resultante da união dessas medidas, assim como apresentado na Figura 3.5.

$$\mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1, & \text{se } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{se } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3.17)$$

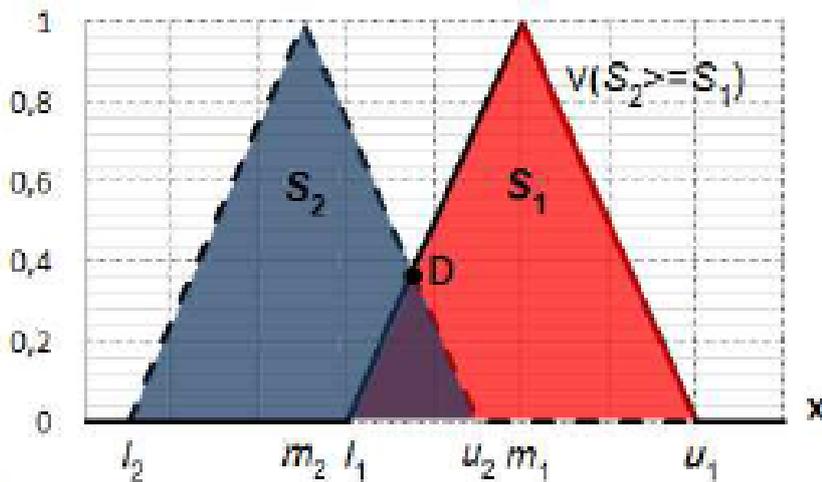


Figura 3.5: Comparação entre medidas sintéticas de preferência do *fuzzy* AHP.

- (v) Com isto, teremos o valor de preferência de cada objeto sobre os demais podendo então realizar a agregação destes valores, assim como apresentada na equação (3.18).

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_n) = V[(S \geq S_1) \wedge (S \geq S_2) \wedge \dots \wedge (S \geq S_n)] \quad (3.18)$$

O próximo passo é realizar as operações dos conectores lógicos AND, é utilizado o operador MIN, conforme as equações (3.19) e (3.20).

$$V(S \geq S_1, S_2, \dots, S_n) = \text{MIN } V(S \geq S_i), \text{ onde } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.19)$$

$$d(A_i) = \text{MIN } V(S_i \geq S_k), \text{ para } k = 1, 2, 3, \dots, n; k \neq i \quad (3.20)$$

Os processos necessitam ser efetuados para definição da preferência de cada um dos objetos ( $d'(A_i)$ ) de cada uma das iterações. Assim o autovetor que representa o desempenho das alternativas em relação a cada critério é dado pela equação (3.21) e o autovetor de pesos  $\mathbf{W}$  é apresentado na equação (3.22). Os valores dos autovetores são números *crisp*, definidos no intervalo  $[0,1]$ .

$$\mathbf{X}' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)) \quad (3.21)$$

$$\mathbf{W}' = (d'(C_1), d'(C_2), \dots, d'(C_m)) \quad (3.22)$$

O resultado de cada alternativa é obtida multiplicando os números apresentados das alternativas em relação a cada critério pelo peso do respectivo critério e pela soma das pontuações de todos os critérios. O último processo a ser seguido devemos destacar as alternativas, que devem ser normalizadas e ranqueadas em ordem decrescente.

No capítulo seguinte, será aplicado o modelo tendo como base a teoria exposta neste capítulo para a obtenção de um *ranking* de preferência das alternativas de localização.

# Capítulo 4

## Aplicação do Método AHP *Fuzzy*

Neste capítulo, será aplicado o método de análise estendida AHP *fuzzy* para selecionar a melhor opção de localização.

### 4.1 Mapeamento

Para a aplicação do método AHP *Fuzzy* de [3], foram elaborados questionários para coletar informações pertinentes para a avaliação de especialistas sobre quais os critérios relevantes assim como sua importância para a seleção de uma das alternativas de localização. Os questionários aplicados aos especialistas estão disponíveis nos Apêndices B e C.

Para a apresentação deste trabalho foram coletados dados de um especialista que definiu critérios e revelou informações pertinentes para a definição do problema visando possibilitar sua solução.

Após diversas entrevistas com funcionários administrativos, operacionais, professores e pessoas que trabalham no setor com experiência na reciclagem de resíduos eletrônicos, o autor deste estudo concluiu que somente com a reunião de informações e visita aos locais de coleta foi possível o preenchimento dos questionários. Portanto, para este estudo, o especialista foi o próprio autor.

Para a aplicação do modelo, houve limitação de critérios e alternativas consideradas mais relevantes para a obtenção do grau de preferência. Foram analisadas as alternativas dentro de um raio de três (3) quilômetros na Barra da Tijuca, bairro de classe média localizado no município do Rio de Janeiro para a avaliação e ranqueamento.

Embora este estudo tenha se limitado a uma região específica, o modelo matemático utilizado não possui uma limitação em termos de número de alternativas ou critérios, podendo ser utilizado em estudos futuros utilizando este estudo como base.

A Seção 4.2 apresenta os critérios indicados pelo especialista para a identificação e *rankeamento* das alternativas.

## 4.2 Critérios de Seleção

Para a seleção e julgamento dos Critérios foi preenchido o questionário pelo especialista e está presente no estudo no Apêndice B. O julgamento foi realizado comparando a relevância de cada Critério em relação aos outros Critérios. Estes são os dados de entrada do modelo. Os critérios apresentados até o momento para a elaboração da proposta foram:

a ) **Espaço Físico (C1)**

Espaço disponível para armazenagem do lixo eletrônico em cada alternativa medido em  $m^2$ . Foram considerados compartimentos especiais para determinado tipo de lixo, se existem prateleiras ou armários para armazenar materiais específicos. (Critério Objetivo);

b ) **Nível de Dificuldade de Acesso Logístico (C2)**

Avaliação da dificuldade para a retirada do material considerando fatores como área de carga e descarga próxima ao ponto de coleta, organização do material no depósito, flexibilidade de horário para coleta e tempo necessário para realizar a coleta. Um fator relevante foi a existência ou não de escadas ou rampas que atrapalham a coleta. (Critério Subjetivo);

c ) **Controle de Umidade (C3)**

Critério baseado na umidade relativa do ar sendo relevante devido a sensibilidade dos materiais manuseados. Muito importante não haver poças de água após chuvas fortes ou vazamentos no local. (Critério Objetivo);

d ) **Condições Sanitárias e de Higiene (C4)**

Avaliação da existência de materiais contaminantes ou orgânicos misturados ao lixo eletrônico e existência de vetores transmissores de doenças. A condição ideal segmenta o lixo por tipo de material recolhido. (Critério Subjetivo);

e ) **Quantidade de Material (C5)**

Quantidade de e-lixo acumulado medido em kg por coleta. (Critério Objetivo)

f ) **Custo de Coleta (C6)**

Avaliação do custo logístico para a coleta do lixo eletrônico no depósito. São considerados custos como combustível, pedágios, custo do lixo eletrônico (caso

aplicável), pagamento de estacionamento, etc... Custo calculado em Reais. (Critério Objetivo)

Outros critérios foram sugeridos, mas considerados de menor relevância como a questão da segurança dos coletores, iluminação do local, compartilhamento do local com outros tipos de lixo e temperatura. A Seção 4.3 aponta as alternativas elencadas no estudo.

### 4.3 Alternativas de Localização

Para a seleção e julgamento das Alternativas de localização foi preenchido o questionário pelo especialista e está presente no estudo no Apêndice C, O julgamento foi realizado comparando a preferência de cada Alternativa com as outras Alternativas. Estes são os dados de entrada do modelo.

#### a ) Rede de Supermercados (A1)

Alternativa apresenta grande circulação de usuários, local de compra de novos dispositivos eletrônicos. Alguns grupos como o Pão de Açúcar e Carrefour buscam na sustentabilidade um diferencial estratégico competitivo. Já realizam a separação de outros recicláveis e possuem pessoal capacitado para separação e local para armazenagem e facilidade da retirada dos resíduos. Local selecionado para estudo: Hipermercado Carrefour Barra da Tijuca;



Figura 4.1: Hipermercado Carrefour localizado na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro.

#### b ) Shopping Center (A2)

O local escolhido para estudo foi o *Shopping X*, localizado na Barra da Tijuca. A alternativa já possui coleta seletiva de lixo, separando materiais recicláveis, pilhas e lâmpadas doando estes materiais para cooperativas, o ponto de coleta situa-se dentro do estacionamento e não é cobrado nenhum valor para a carga e descarga.



Figura 4.2: Shopping X localizado na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro.

c ) **Estações de Metrô, Trens e Rodoviárias (A3)**

O local escolhido para estudo foi o Terminal rodoviário Alvorada. Alternativa apresenta locais de grande movimentação de pessoas onde atualmente são recolhidas pilhas e lâmpadas fosforescentes. Já realizam a separação de lixo reciclado e possuem locais adequados para armazenar lixo eletrônico. Local exclusivo para armazenagem de lixo eletrônico sendo estudado para ser implementado após os jogos olímpicos.



Figura 4.3: Terminal rodoviário Alvorada, localizado na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro.

**d ) Instituições de ensino (A4)**

O local escolhido para estudo foi a Faculdade Y, uma instituição privada que promove a reciclagem de resíduos em geral desde 2005. Alternativa já possui coleta seletiva de lixo, separando materiais recicláveis, pilhas e lâmpadas doando estes materiais para cooperativas. Existe no local mão de obra qualificada já atuando na segmentação do lixo eletrônico dos demais resíduos. Local de grande circulação onde é descartada grande quantidade de lixo eletrônico.



Figura 4.4: Faculdade Y, localizada na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro.

**e ) Centros comerciais de informática (A5)**

O local escolhido foi o shopping de informática Infobarra pertencente ao grupo Promoinfo que se localiza dentro do shopping América Mall e trabalham em sinergia para coleta e armazenamento de resíduos. Alternativa possui uma grande circulação de pessoas em centros de consumo, facilitando o descarte dos aparelhos substituídos. Incluímos centros comerciais concentradores de lojas de venda e manutenção de produtos eletrônicos sendo assim um local de grande volume de descarte. Já realizam a separação de lixo reciclado e baterias e estão em fase de estudos alocação de espaços já existentes exclusivos para lixo eletrônico.



Figura 4.5: Shopping América Mall, localizado na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro.

Com base nestes dados, é possível construir e apresentar uma hierarquia de decisão com o objetivo de localizar os pontos de coleta, determinar critérios e alternativas conforme a Figura 4.6.

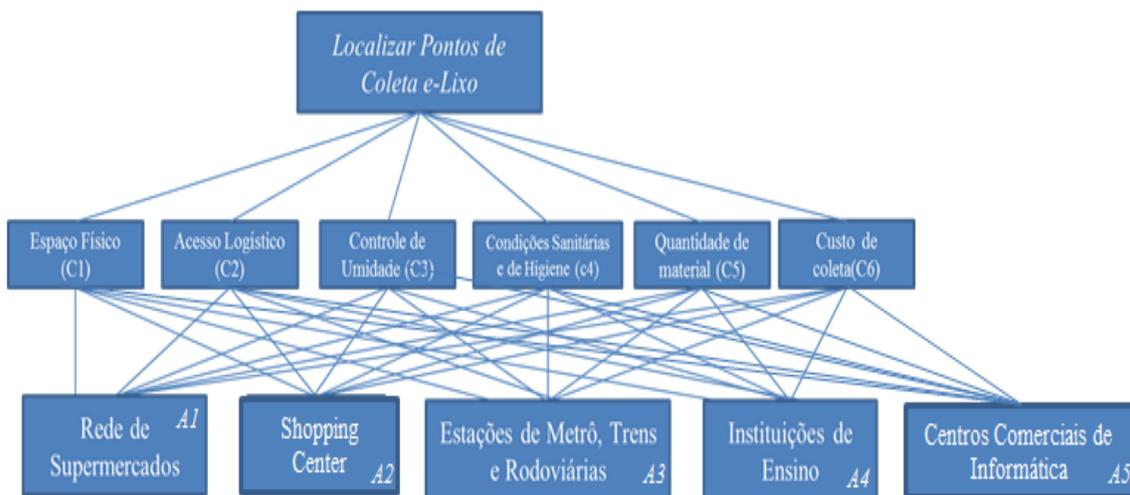


Figura 4.6: Representação hierárquica do problema de decisão no AHP.

O próximo passo é definir conjuntos de termos linguísticos comparativos para podermos analisar o comportamento de cada alternativa e um conjunto para estudar o peso( $w$ ) de cada um dos critérios apresentados. Assim podemos definir números *fuzzy* triangulares para cada um dos termos linguísticos. A Seção 4.4 utiliza termos linguísticos para avaliação dos critérios analisados.

## 4.4 Avaliação dos Critérios de Seleção

Para a avaliação dos critérios de seleção foi utilizada a tabela de valores fuzzy utilizando termos linguísticos conforme explicado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Termos linguísticos e valores *fuzzy*.

Termos Linguísticos	Números FUZZY
Levemente mais relevante (L)	(1, 1, 3)
Moderadamente mais relevante (MO)	(1, 3, 5)
Fortemente mais relevante (F)	(3, 5, 7)
Muito fortemente mais relevante (MF)	(5, 7, 9)
Absolutamente mais relevante (AB)	(7, 9, 9)

A Figura 4.7 Apresenta os conjuntos fuzzy para a avaliação dos critérios em relação à relevância aplicando os termos linguísticos para obter os triângulos fuzzy.

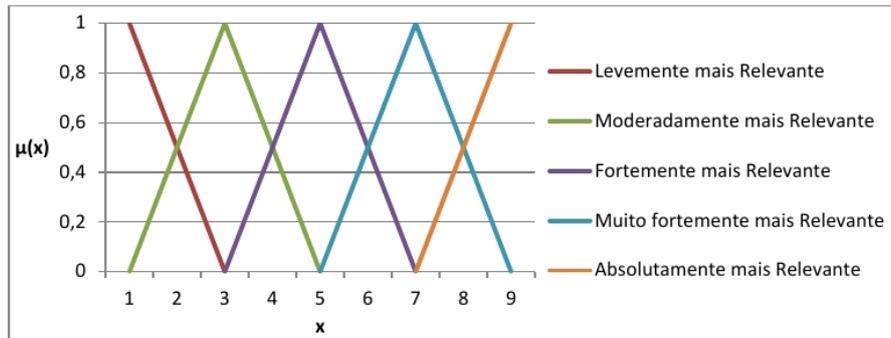


Figura 4.7: Conjunto *fuzzy* para avaliação de critérios.

Após a aplicação do questionário presente no Apêndice A deste estudo podemos comparar os critérios de acordo com a relevância. Esta comparação é feita par a par para definirmos os critérios mais relevantes para a escolha da localização.

Tabela 4.2: Comparação dos critérios julgados par a par

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	<b>1</b>	F	L	MF	L	MO
C2	1/F	<b>1</b>	MO	L	MO	MO
C3	1/L	1/MO	<b>1</b>	L	1/F	L
C4	1/MF	1/L	1/L	<b>1</b>	F	L
C5	1/L	1/MO	F	1/F	<b>1</b>	F
C6	1/MO	1/MO	1/L	1/L	1/F	<b>1</b>

A Seção 4.5 expõe os termos linguísticos utilizados para avaliação das alternativas de locais de ponto de coleta de REEE's.

## 4.5 Avaliação das alternativas de locais de pontos de coleta de e-lixo

Para a avaliação das alternativas de seleção foi utilizada a tabela de valores fuzzy utilizando termos linguísticos conforme explicado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Termos Linguísticos e Valores *fuzzy* correspondentes para as alternativas.

Variáveis Linguísticas	Números FUZZY
Levemente mais preferido (L)	(1, 1, 3)
Moderadamente preferido (MO)	(1, 3, 5)
Fortemente preferido (F)	(3, 5, 7)
Muito fortemente preferido (MF)	(5, 7, 9)
Absolutamente preferido (AB)	(7, 9, 9)

A Figura 4.8 Apresenta os conjuntos fuzzy para a avaliação das alternativas em relação à preferência aplicando os termos linguísticos para obter os triângulos fuzzy

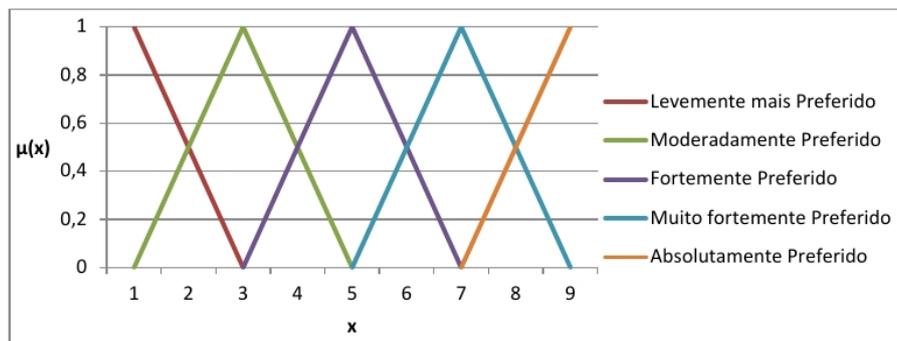


Figura 4.8: Conjunto *fuzzy* para avaliação de alternativas de localização.

Dando continuidade ao estudo a seguir será aplicado o modelo matemático utilizando os dados contidos nos questionários preenchidos pelo especialista com o objetivo de obter como resultado a melhor Alternativa. A Seção 4.6 apresenta a aplicação do método de análise estendida para obtenção da resposta de localização.

## 4.6 Aplicação do Modelo

O modelo selecionado realiza o cruzamento dos critérios com o objetivo de verificar os critérios mais relevantes definindo assim seu peso. Posteriormente, é feita outra iteração entre todas as alternativas de localização para cada critério apurado.

Este estudo se baseia no modelo apresentado por [3] no artigo “*Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP*” citado em diversos artigos e estudos acadêmicos e amplamente utilizado em problemas de MCDM- *Multicritéria Decision Making* em um ambiente de decisão onde existem muitos dados imprecisos.

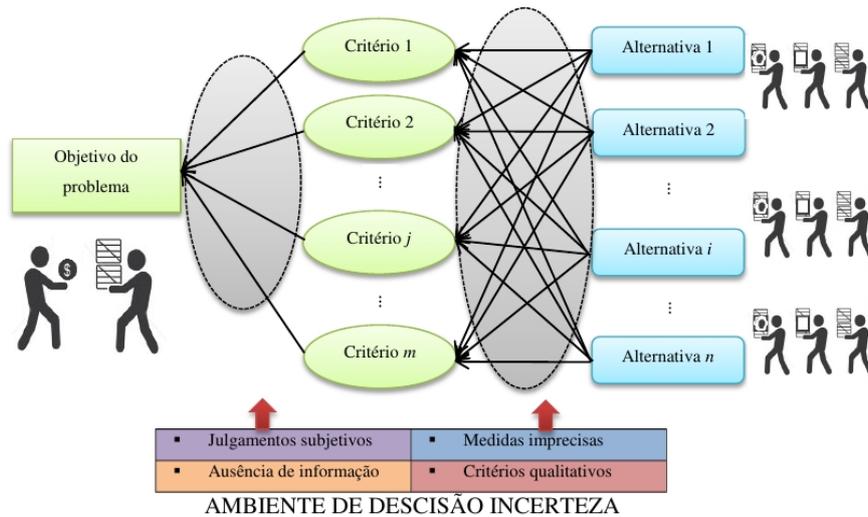


Figura 4.9: Ambiente de decisão.

As avaliações do especialista possibilitou o preenchimento das tabelas abaixo segundo seu julgamento em relação à preferência das alternativas de acordo com cada critério apresentado. As seguintes Subseções (4.6.1), (4.6.2), (4.6.3), (4.6.4), (4.6.5) e (4.6.6) apresentam o cruzamento das alternativas para cada um dos critérios.

#### 4.6.1 Avaliação das alternativas com referência ao critério Espaço Físico (C1)

Para a avaliação das alternativas em relação ao primeiro critério foram adicionados os julgamentos conforme presente na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Espaço físico ( C1 )

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	<i>Alternativa 4</i>	<i>Alternativa 5</i>
<i>Alternativa 1</i>	<b>1</b>	1/L	F	1/L	1/MO
<i>Alternativa 2</i>	L	<b>1</b>	MO	1/MO	1/MF
<i>Alternativa 3</i>	1/F	1/MO	<b>1</b>	1/L	1/MO
<i>Alternativa 4</i>	L	MO	L	<b>1</b>	1/MO
<i>Alternativa 5</i>	MO	MF	MO	MO	<b>1</b>

#### 4.6.2 Avaliação das alternativas com referência ao critério Acesso Logístico (C2)

Para a avaliação das alternativas em relação ao segundo critério foram adicionados os julgamentos conforme presente na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Facilidade de acesso logístico ( C2 )

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	<i>Alternativa 4</i>	<i>Alternativa 5</i>
<i>Alternativa 1</i>	<b>1</b>	L	L	L	1/MO
<i>Alternativa 2</i>	1/L	<b>1</b>	1/L	L	1/L
<i>Alternativa 3</i>	1/L	L	<b>1</b>	L	1/L
<i>Alternativa 4</i>	1/L	1/L	1/L	<b>1</b>	1/MO
<i>Alternativa 5</i>	MO	L	L	MO	<b>1</b>

#### 4.6.3 Avaliação das alternativas com referência ao critério Controle de Umidade(C3)

Para a avaliação das alternativas em relação ao terceiro critério foram adicionados os julgamentos conforme presente na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Controle de umidade ( C3 )

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	<i>Alternativa 4</i>	<i>Alternativa 5</i>
<i>Alternativa 1</i>	<b>1</b>	1/L	L	1/MO	1/L
<i>Alternativa 2</i>	L	<b>1</b>	L	1/L	1/L
<i>Alternativa 3</i>	1/L	1/L	<b>1</b>	1/MO	1/MO
<i>Alternativa 4</i>	MO	L	MO	<b>1</b>	1/L
<i>Alternativa 5</i>	L	L	MO	L	<b>1</b>

#### 4.6.4 Avaliação das alternativas com referência ao critério Condições Sanitárias e de Higiene(C4)

Para a avaliação das alternativas em relação ao quarto critério foram adicionados os julgamentos conforme presente na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Condições sanitárias e de higiene ( C4 )

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	<i>Alternativa 4</i>	<i>Alternativa 5</i>
<i>Alternativa 1</i>	<b>1</b>	1/MO	L	1/L	1/L
<i>Alternativa 2</i>	MO	<b>1</b>	MO	L	1/L
<i>Alternativa 3</i>	1/L	1/MO	<b>1</b>	1/MO	1/MO
<i>Alternativa 4</i>	L	1/L	MO	<b>1</b>	1/L
<i>Alternativa 5</i>	L	L	MO	L	<b>1</b>

#### 4.6.5 Avaliação das alternativas com referência ao critério Quantidade de material(C5)

Para a avaliação das alternativas em relação ao quinto critério foram adicionados os julgamentos conforme presente na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Quantidade de material recebido semanalmente ( C5 )

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	<i>Alternativa 4</i>	<i>Alternativa 5</i>
<i>Alternativa 1</i>	<b>1</b>	L	1/L	1/MO	1/AB
<i>Alternativa 2</i>	1/L	<b>1</b>	1/L	1/F	1/AB
<i>Alternativa 3</i>	L	L	<b>1</b>	1/MO	1/MF
<i>Alternativa 4</i>	MO	F	MO	<b>1</b>	1/MF
<i>Alternativa 5</i>	AB	AB	MF	MF	<b>1</b>

#### 4.6.6 Avaliação das alternativas com referência ao critério Custo de Coleta (C6)

Para a avaliação das alternativas em relação ao sexto critério foram adicionados os julgamentos conforme presente na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Avaliação linguística em relação a preferência das Alternativas para o critério Custo de coleta ( C6 )

	<i>Alternativa 1</i>	<i>Alternativa 2</i>	<i>Alternativa 3</i>	<i>Alternativa 4</i>	<i>Alternativa 5</i>
<i>Alternativa 1</i>	<b>1</b>	1/L	L	L	1/L
<i>Alternativa 2</i>	L	<b>1</b>	1/L	L	1/L
<i>Alternativa 3</i>	1/L	L	<b>1</b>	1/L	1/L
<i>Alternativa 4</i>	1/L	1/L	L	<b>1</b>	1/MO
<i>Alternativa 5</i>	L	L	L	MO	<b>1</b>

Para a verificação da consistência dos dados coletados através dos questionários. Os julgamentos para serem considerados consistentes devem satisfazer a condição  $CR \leq 0.20$ . Julgamentos que não atenderem esta condição devem ser revistos.

Tabela 4.10: Índice de consistência (IC) calculado conforme julgamento dos especialistas

<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
0.132	0.075	0.027	0.061	0.087	0.029

A Tabela 4.11 apresenta os números *fuzzy* triangulares correspondentes ao peso dos critérios.

Tabela 4.11: Números *fuzzy* triangulares correspondentes ao peso dos critérios C1,C2,C3

<b>C1: Espaço Físico</b>				<b>C2: Acesso Logístico</b>			<b>C3: Controle Umidade</b>				
<b>C1</b>	(1	1	1)	<b>C1</b>	(3	5	7)	<b>C1</b>	(1	1	3)
<b>C2</b>	(0,14	0,2	0,33)	<b>C2</b>	(1	1	1)	<b>C2</b>	(1	3	5)
<b>C3</b>	(0,33	1	1)	<b>C3</b>	(0,2	0,33	1)	<b>C3</b>	(1	1	1)
<b>C4</b>	(0,11	0,14	0,2)	<b>C4</b>	(0,33	1	1)	<b>C4</b>	(0,33	1	1)
<b>C5</b>	(0,33	1	1)	<b>C5</b>	(0,2	0,33	1)	<b>C5</b>	(3	5	7)
<b>C6</b>	(0,2	0,33	1)	<b>C6</b>	(0,2	0,33	1)	<b>C6</b>	(0,33	1	1)

Para realizar a primeira iteração do Objetivo com os critérios utilizou-se a equação (3.24) para sintetizar as preferências da achando um valor de medida que sintetiza cada critério. Para se obter os números correspondentes aos autovetores e medida sintética para cada critério foi utilizada como ferramenta computacional o MS EXCEL.

Tabela 4.12: Números *fuzzy* triangulares correspondentes ao peso dos critérios C4,C5,C6

<b>C4: Condições Sanitárias</b>			<b>C5: Quantidade Material</b>			<b>C6: Custo Coleta</b>					
<b>C1</b>	(5	7	9)	<b>C1</b>	(1	1	3)	<b>C1</b>	(1	3	5)
<b>C2</b>	(1	1	3)	<b>C2</b>	(1	3	5)	<b>C2</b>	(1	3	5)
<b>C3</b>	(1	1	3)	<b>C3</b>	(0,14	0,2	0,33)	<b>C3</b>	(1	1	3)
<b>C4</b>	(1	1	1)	<b>C4</b>	(3	5	7)	<b>C4</b>	(1	1	3)
<b>C5</b>	(0,14	0,2	0,33)	<b>C5</b>	(1	1	1)	<b>C5</b>	(3	5	7)
<b>C6</b>	(0,33	1	1)	<b>C6</b>	(0,14	0,2	0,33)	<b>C6</b>	(1	1	1)

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = \left( \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m l_i} \right) \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} S_{c1} & (0.1297 \quad 0.3037 \quad 0.7682) \\ S_{c2} & (0.0556 \quad 0.1890 \quad 0.5303) \\ S_{c3} & (0.0397 \quad 0.0764 \quad 0.2560) \\ S_{c4} & (0.0624 \quad 0.1542 \quad 0.3621) \\ S_{c5} & (0.0829 \quad 0.2114 \quad 0.4754) \\ S_{c6} & (0.0238 \quad 0.0651 \quad 0.1462) \end{aligned}$$

Próximo passo as medidas  $S$  foram comparadas conforme a equação utilizando as medidas sintéticas do critério 1 “Espaço Físico” com os demais critérios:

$$V(S_{c1} \geq S_{c2}) = \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} \quad (4.2)$$

O valor resultante apresenta como valor considerado a adequação devido a impossibilidade de valores negativos que são convertidos em zero e valores acima de 1 são representados pelo número 1 (valor máximo).

	Valor Considerado
$v(sc1 \geq sc2)$	1.192
$v(sc1 \geq sc3)$	1.1454
$v(sc1 \geq sc4)$	1.269
$v(sc1 \geq sc5)$	1.156
$v(sc1 \geq sc6)$	1.472

Seguem as medidas sintéticas do critério 2 “Acesso Logístico” com os demais critérios:

	Valor
$v(sc2 \geq sc1) = 0.78$	Considerado 0.78
$v(sc2 \geq sc3) = 1.30$	1
$v(sc2 \geq sc4) = 1.08$	1
$v(sc2 \geq sc5) = 0.95$	0.95
$v(sc2 \geq sc6) = 1.32$	1

As medidas sintéticas do critério 3 “Controle de Umidade” com os demais critérios:

	Valor
$v(sc3 \geq sc1) = 0.36$	Considerado 0.36
$v(sc3 \geq sc2) = 0.64$	0.64
$v(sc3 \geq sc4) = 0.71$	0.71
$v(sc3 \geq sc5) = 0.56$	0.56
$v(sc3 \geq sc6) = 1.05$	1

As comparações das medidas sintéticas do critério 4 “Condições Sanitárias” com os demais critérios são mostradas pelas seguintes equações.

	Valor
$v(sc4 \geq sc1) = 0.61$	Considerado 0.61
$v(sc4 \geq sc2) = 0.90$	0.90
$v(sc4 \geq sc3) = 1.32$	1
$v(sc4 \geq sc5) = -0.59$	0
$v(sc4 \geq sc6) = -0.45$	0

As comparações das medidas sintéticas do critério 5 “Quantidade Material” com os demais critérios são mostradas pelas seguintes equações.

	Valor
$v(sc5 \geq sc1) = 0.35$	Considerado 0.35
$v(sc5 \geq sc2) = -0.14$	0
$v(sc5 \geq sc3) = 0.62$	0.62
$v(sc5 \geq sc4) = 1.37$	1
$v(sc5 \geq sc6) = 0.07$	0.07

As comparações das medidas sintéticas do critério 6 “Custo de Coleta” com os demais critérios são mostradas pelas seguintes equações:

Autovetor de peso definido pela equação (3.23) (peso dos critérios da 1ª iteração).

$$\mathbf{W} = (1.00, 0.78, 0.36, 0, 0, 0.00, 0.9)$$

	Valor Considerado
$v(sc6 \geq sc1) = 1.31$	1
$v(sc6 \geq sc2) = 0.90$	0.90
$v(sc6 \geq sc3) = 1.43$	1
$v(sc6 \geq sc4) = 1.80$	1
$v(sc6 \geq sc5) = 1.64$	1

Para realizar a segunda iteração para avaliação dos autovetores das alternativas os processos para o cálculo buscam as medidas de preferência sintéticas das alternativas em relação ao critério 1 “Espaço físico”.

$S_{a1}$	0.08	0.21	0.47
$S_{a2}$	0.05	0.14	0.44
$S_{a3}$	0.03	0.07	0.19
$S_{a4}$	0.07	0.16	0.56
$S_{a5}$	0.14	0.43	1.08

Calculou-se assim os valores de medida sintética para cada local em relação a cada critério avaliado. Conforme apresentado na Tabela 4.13:

Tabela 4.13: Medida sintética de local/critério.

	C1			C2			C3			C4			C5			C6		
A1	0,08	0,21	0,47	0,09	0,16	0,61	0,06	0,15	0,39	0,05	0,14	0,39	0,04	0,06	0,16	0,08	0,19	0,50
A2	0,05	0,14	0,44	0,06	0,18	0,39	0,07	0,17	0,50	0,08	0,30	0,84	0,03	0,06	0,09	0,08	0,19	0,50
A3	0,03	0,07	0,19	0,07	0,18	0,50	0,04	0,13	0,28	0,04	0,10	0,28	0,05	0,06	0,21	0,06	0,19	0,39
A4	0,07	0,16	0,56	0,04	0,16	0,28	0,08	0,31	0,84	0,07	0,23	0,62	0,08	0,22	0,47	0,06	0,16	0,39
A5	0,14	0,43	1,08	0,10	0,33	0,94	0,10	0,24	0,84	0,09	0,23	0,84	0,34	0,60	0,95	0,11	0,27	0,83

Os valores obtidos por cada uma das alternativas para o critério 1 “Espaço Físico”.

Tabela 4.14: Grau de preferência de  $S_m$  sobre  $S_n$  para o critério 1 (Espaço Físico).

<b>C1: ESPAÇO FÍSICO</b>	<b>VALOR CONSIDERADO</b>	
$v(sa1 \geq sa2) =$	1.205	1
$v(sa1 \geq sa3) =$	1.445	1
$v(sa1 \geq sa4) =$	1.140	1
$v(sa1 \geq sa5) =$	0.605	0.605
$v(sa2 \geq sa1) =$	0.84	0.84
$v(sa2 \geq sa3) =$	1.19	1
$v(sa2 \geq sa4) =$	0.95	0.95
$v(sa2 \geq sa5) =$	0.51	0.51
$v(sa3 \geq sa1) =$	0.45	0.45
$v(sa3 \geq sa2) =$	0.67	0.67
$v(sa3 \geq sa4) =$	0.58	0.58
$v(sa3 \geq sa5) =$	0.11	0.11
$v(sa4 \geq sa1) =$	0.91	0.91
$v(sa4 \geq sa2) =$	1.04	1
$v(sa4 \geq sa3) =$	1.20	1
$v(sa4 \geq sa5) =$	0.61	0.61
$v(sa5 \geq sa1) =$	1.28	1
$v(sa5 \geq sa2) =$	1.39	1
$v(sa5 \geq sa3) =$	1.51	1
$v(sa5 \geq sa4) =$	1.36	1

Os valores obtidos por cada uma das alternativas para o critério 2 “Acesso Logístico”.

Tabela 4.15: Grau de preferência de  $S_m$  sobre  $S_n$  para o critério 2 (Acesso Logístico).

<b>C2: ACESSO LOGÍSTICO</b>	<b>VALOR CONSIDERADO</b>	
$v(sa1 \geq sa2) =$	0.958	0.958
$v(sa1 \geq sa3) =$	0.957	0.957
$v(sa1 \geq sa4) =$	1	1
$v(sa1 \geq sa5) =$	0.750	0.75
$v(sa2 \geq sa1) =$	1.09	1
$v(sa2 \geq sa3) =$	1	1
$v(sa2 \geq sa4) =$	1.08	1
$v(sa2 \geq sa5) =$	0.66	0.66
$v(sa3 \geq sa1) =$	1.06	1
$v(sa3 \geq sa2) =$	1	1
$v(sa3 \geq sa4) =$	1.06	1
$v(sa3 \geq sa5) =$	0.73	0.73
$v(sa4 \geq sa1) =$	1.00	1
$v(sa4 \geq sa2) =$	0.90	0.9
$v(sa4 \geq sa3) =$	0.89	0.89
$v(sa4 \geq sa5) =$	0.51	0.51
$v(sa5 \geq sa1) =$	1.25	1
$v(sa5 \geq sa2) =$	1.20	1
$v(sa5 \geq sa3) =$	1.20	1
$v(sa5 \geq sa4) =$	1.23	1

Os valores obtidos por cada uma das alternativas para o critério 3 “Controle de Umidade”.

Tabela 4.16: Grau de preferência de  $S_m$  sobre  $S_n$  para o critério 3 (Controle de Umidade).

<b>C3: CONTROLE DE UMIDADE</b>	<b>VALOR CONSIDERADO</b>	
$v(sa1 \geq sa2) =$	0.932	0.932
$v(sa1 \geq sa3) =$	1.071	1
$v(sa1 \geq sa4) =$	0.655	0.655
$v(sa1 \geq sa5) =$	0.761	0.761
$v(sa2 \geq sa1) =$	1.05	1
$v(sa2 \geq sa3) =$	1.11	1
$v(sa2 \geq sa4) =$	0.75	0.75
$v(sa2 \geq sa5) =$	0.85	0.85
$v(sa3 \geq sa1) =$	0.91	0.91
$v(sa3 \geq sa2) =$	0.82	0.82
$v(sa3 \geq sa4) =$	0.51	0.51
$v(sa3 \geq sa5) =$	0.61	0.61
$v(sa4 \geq sa1) =$	1.26	1
$v(sa4 \geq sa2) =$	1.22	1
$v(sa4 \geq sa3) =$	1.30	1
$v(sa4 \geq sa5) =$	1.10	1
$v(sa5 \geq sa1) =$	1.13	1
$v(sa5 \geq sa2) =$	1.10	1
$v(sa5 \geq sa3) =$	1.17	1
$v(sa5 \geq sa4) =$	0.92	0.92

Os valores obtidos por cada uma das alternativas para o critério 4 “Condições Sanitárias”.

Tabela 4.17: Grau de preferência de  $S_m$  sobre  $S_n$  para o critério 4 (Condições Sanitárias).

<b>C4: CONDIÇÕES SANITÁRIAS</b>	<b>VALOR CONSIDERADO</b>	
$v(sa1 \geq sa2) =$	0.669	0.669
$v(sa1 \geq sa3) =$	1.141	1
$v(sa1 \geq sa4) =$	0.787	0.787
$v(sa1 \geq sa5) =$	0.773	0.773
$v(sa2 \geq sa1) =$	1.24	1
$v(sa2 \geq sa3) =$	1.33	1
$v(sa2 \geq sa4) =$	1.09	1
$v(sa2 \geq sa5) =$	1.10	1
$v(sa3 \geq sa1) =$	0.84	0.84
$v(sa3 \geq sa2) =$	0.50	0.5
$v(sa3 \geq sa4) =$	0.62	0.62
$v(sa3 \geq sa5) =$	0.59	0.59
$v(sa4 \geq sa1) =$	1.18	1
$v(sa4 \geq sa2) =$	0.89	0.89
$v(sa4 \geq sa3) =$	1.29	1
$v(sa4 \geq sa5) =$	1.00	1
$v(sa5 \geq sa1) =$	1.13	1
$v(sa5 \geq sa2) =$	0.92	0.92
$v(sa5 \geq sa3) =$	1.20	1
$v(sa5 \geq sa4) =$	1.00	1

Os valores obtidos por cada uma das alternativas para o critério 5 “Quantidade de material”.

Tabela 4.18: Grau de preferência de  $S_m$  sobre  $S_n$  para o critério 5 (Quantidade de Material).

<b>C5: QUANTIDADE DE MATERIAL</b>	<b>VALOR CONSIDERADO</b>	
$v(sa1 \geq sa2) =$	1.018	1
$v(sa1 \geq sa3) =$	0.995	0.995
$v(sa1 \geq sa4) =$	0.320	0.32
$v(sa1 \geq sa5) =$	-0.530	0
$v(sa2 \geq sa1) =$	0.96	0.96
$v(sa2 \geq sa3) =$	0.94	0.94
$v(sa2 \geq sa4) =$	0.03	0.03
$v(sa2 \geq sa5) =$	-0.90	0
$v(sa3 \geq sa1) =$	1.00	1
$v(sa3 \geq sa2) =$	1.02	1
$v(sa3 \geq sa4) =$	0.45	0.45
$v(sa3 \geq sa5) =$	-0.33	0
$v(sa4 \geq sa1) =$	1.57	1
$v(sa4 \geq sa2) =$	1.57	1
$v(sa4 \geq sa3) =$	1.59	1
$v(sa4 \geq sa5) =$	0.25	0.25
$v(sa5 \geq sa1) =$	2.41	1
$v(sa5 \geq sa2) =$	2.39	1
$v(sa5 \geq sa3) =$	2.44	1
$v(sa5 \geq sa4) =$	1.77	1

Os valores obtidos por cada uma das alternativas para o critério 6 “Custo Coleta”.

Tabela 4.19: Grau de preferência de  $S_m$  sobre  $S_n$  para o critério 6 (Custo Coleta).

<b>C6: CUSTO COLETA</b>	<b>VALOR CONSIDERADO</b>	
$v(sa1 \geq sa2) =$	1.00	1
$v(sa1 \geq sa3) =$	1.00	1
$v(sa1 \geq sa4) =$	1.062	1
$v(sa1 \geq sa5) =$	0.837	0.837
$v(sa2 \geq sa1) =$	1.00	1
$v(sa2 \geq sa3) =$	1.00	1
$v(sa2 \geq sa4) =$	1.06	1
$v(sa2 \geq sa5) =$	0.84	0.84
$v(sa3 \geq sa1) =$	1.00	1
$v(sa3 \geq sa2) =$	1.00	1
$v(sa3 \geq sa4) =$	1.09	1
$v(sa3 \geq sa5) =$	0.79	0.79
$v(sa4 \geq sa1) =$	0.92	0.92
$v(sa4 \geq sa2) =$	0.92	0.92
$v(sa4 \geq sa3) =$	0.93	0.93
$v(sa4 \geq sa5) =$	0.73	0.73
$v(sa5 \geq sa1) =$	1.11	1
$v(sa5 \geq sa2) =$	1.11	1
$v(sa5 \geq sa3) =$	1.11	1
$v(sa5 \geq sa4) =$	1.15	1

Encontrado o autovetor de desempenho de todas as alternativas em relação ao critério 1 é definido pela equação (4.3). O autovetor deve ser normalizado, cujo valor é apresentado abaixo.

$$\mathbf{X}'(C_1) = (d'(A_1), d'(A_2), d'(A_3), d'(A_4), d'(A_5))^T = (0.60, 0.51, 0.11, 0.61, 1) \quad (4.3)$$

O autovetor normalizado é, dessa forma, o seguinte:

$$\mathbf{X}(C_1) = (0.213, 0.18, 0.04, 0.215, 0.352)$$

A Tabela 4.14 apresenta os valores de preferência obtidos pelas medidas sintéticas de cada alternativa em relação às outras alternativas nos seis critérios julgados.

Tabela 4.20: Valores das medidas sintéticas.

	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
$V(S_{A1} \geq S_{A2}, S_{A3}, S_{A4}, S_{A5})$	0.605	0.75	0.655	0.669	0	0.837
$V(S_{A2} \geq S_{A1}, S_{A3}, S_{A4}, S_{A5})$	0.51	0.66	0.75	1	0	0.84
$V(S_{A3} \geq S_{A1}, S_{A2}, S_{A4}, S_{A5})$	0.11	0.73	0.73	0.5	0	0.79
$V(S_{A4} \geq S_{A1}, S_{A2}, S_{A3}, S_{A5})$	0.61	0.51	0.51	0.89	0.25	0.73
$V(S_{A5} \geq S_{A1}, S_{A2}, S_{A3}, S_{A4})$	1	1	1	0.92	1	1

Achou-se o vetor de desempenho dos locais em relação a cada um dos critérios de decisão avaliados.

$$\mathbf{X}'(C_2) = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T = (0.75, 0.66, 0.73, 0.51, 1)$$

$$\mathbf{X}'(C_3) = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T = (0.655, 0.75, 0.51, 1, 0.92)$$

$$\mathbf{X}'(C_4) = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T = (0.669, 1, 0.50, 0.89, 0.92)$$

$$\mathbf{X}'(C_5) = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T = (0, 0, 0, 0.25, 1)$$

$$\mathbf{X}'(C_6) = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T = (0.837, 0.84, 0.79, 0.73, 1)$$

Normalizando estes autovetores, tivemos como resultado os critérios abaixo:

$$\mathbf{X}(C_2) = (0.20, 0.18, 0.20, 0.14, 0.27)$$

$$\mathbf{X}(C_3) = (0.17, 0.195, 0.132, 0.260, 0.239)$$

$$\mathbf{X}(C_4) = (0.168, 0.25, 0.125, 0.223, 0.231)$$

$$\mathbf{X}(C_5) = (0, 0, 0, 0.2, 0.8)$$

$$\mathbf{X}(C_6) = (0.197, 0.198, 0.186, 0.172, 0.236)$$

A última etapa do modelo utiliza os autovetores das alternativas e o peso dos critérios, sendo possível identificar o resultado do desempenho final de cada alternativa, como mostram as equações (4.4), (4.5), (4.6), (4.7), (4.8), (4.9), (4.10), (4.11), (4.12) e (4.13).

$$\begin{aligned} D(A_1) = & (d^{(A_1c1)} * d'(c_1) + d^{(A_1c2)} * d'(c_2) + d^{(A_1c3)} * d'(c_3) + d^{(A_1c4)} * d'(c_4) \\ & + d^{(A_1c5)} * d'(c_5) + d^{(A_1c6)} * d'(c_6)) = 2.1791 \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} D(A_1) = & 0.605 * 1 + 0.75 * 0.78 + 0.65 * 0.36 + 0.669 * 0 \\ & + 0 * 0 + 0.837 * 0.9 = 2.1791 \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} D(A_2) = & (d^{(A_2c1)} * d'(c_1) + d^{(A_2c2)} * d'(c_2) + d^{(A_2c3)} * d'(c_3) + d^{(A_2c4)} * d'(c_4) \\ & + d^{(A_2c5)} * d'(c_5) + d^{(A_2c6)} * d'(c_6)) = 2.0508 \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} D(A_2) = & 0.51 * 1 + 0.66 * 0.78 + 0.75 * 0.36 + 1 * 0 \\ & + 0 * 0 + 0.4 * 0.9 = 2.0508 \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} D(A_3) = & (d^{(A_3c1)} * d'(c_1) + d^{(A_3c2)} * d'(c_2) + d^{(A_3c3)} * d'(c_3) + d^{(A_3c4)} * d'(c_4) \\ & + d^{(A_3c5)} * d'(c_5) + d^{(A_3c6)} * d'(c_6)) = 1.574 \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} D(A_3) = & 0.11 * 1 + 0.73 * 0.78 + 0.51 * 0.36 + 0.5 * 0 \\ & + 0 * 0 + 0.79 * 0.9 = 1.574 \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} D(A_4) = & (d^{(A_4c1)} * d'(c_1) + d^{(A_4c2)} * d'(c_2) + d^{(A_4c3)} * d'(c_3) + d^{(A_4c4)} * d'(c_4) \\ & + d^{(A_4c5)} * d'(c_5) + d^{(A_4c6)} * d'(c_6)) = 2.0248 \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$D(A_4) = 0.61 * 1 + 0.51 * 0.78 + 1 * 0.36 + 0.89 * 0 + 0.25 * 0 + 0.73 * 0.9 = 2.0248 \quad (4.11)$$

$$D(A_5) = (d^{(A_5c1)} * d'(c_1) + d^{(A_5c2)} * d'(c_2) + d^{(A_5c3)} * d'(c_3) + d^{(A_5c4)} * d'(c_4) + d^{(A_5c5)} * d'(c_5) + d^{(A_5c6)} * d'(c_6)) = 3.0112 \quad (4.12)$$

$$D(A_5) = 1 * 1 + 1 * 0.78 + 0.92 * 0.36 + 0.92 * 0 + 1 * 0 + 1 * 0.9 = 3.0112 \quad (4.13)$$

A Tabela 4.21 apresenta a resposta ao problema de localização e o *ranking* de alternativas construído a partir da ordenação dos valores de desempenho produto do estudo.

Tabela 4.21: Ranking fornecido pelo modelo de análise estendida *fuzzy* AHP

	<b>Alternativas de Localização</b>	<b>Pontuação Final Normalizada</b>	<b>Ranking</b>
<b>A1</b>	Rede de supermercados	0.2010	2°
<b>A2</b>	Shopping center	0.1891	3°
<b>A3</b>	Estações de metrô, trens e rodoviária	0.1452	5°
<b>A4</b>	Instituições de Ensino	0.1867	4°
<b>A5</b>	Centro Comercial de Informática	0.2777	1°

De acordo com o ranking do *fuzzy* AHP, o *ranking* de preferência das alternativas é  $A_5 > A_1 > A_2 > A_4 > A_3$ . Para concluir, conforme o resultado do método *fuzzy* AHP, a alternativa de localização Centro Comercial de Informática A5 é a melhor alternativa seguida pela rede de supermercados, tendo como terceira opção de localização o *shopping center*, instituições de ensino e, na última posição, estações de metrô, trem e rodoviária, segundo o julgamento fornecido pelo especialista.

# Capítulo 5

## Resultados, Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste Capítulo, é apresentado o resultado do modelo de análise estendida, conclusão da pesquisa realizada e sugestão de trabalhos futuros.

### 5.1 Resultados e Conclusões

Como resultado deste estudo foi possível localizar o melhor ponto de coleta de Lixo Eletrônico entre diferentes tipos de instituições dentro do bairro Barra da Tijuca no município do Rio de Janeiro utilizando o modelo AHP *Fuzzy* para comparar entre todas as alternativas a que possui mais vantagens. O resultado apresentou de forma ranqueada da melhor alternativa para a pior alternativa, tornando possível o processo decisório baseado nas informações relevantes levantadas.

Após realizado o *ranking* das alternativas avaliadas atingimos o objetivo principal deste estudo apresentando como resposta a alternativa Centro Comercial de Informática A5 em primeiro lugar, como melhor opção, seguido da Rede de Supermercados A1 como segunda opção mais vantajosa e apresentando *Shopping Center* A2, Instituições de Ensino A4 e estações de metrô, trens e rodoviária A3, a opção de alternativa menos atraente.

Durante a pesquisa foram encontradas algumas dificuldades devido à natureza do problema. Foi possível perceber que o tratamento dado aos resíduos de lixo eletrônico no Município do Rio de Janeiro ainda pode ser muito melhorado. Durante o estudo foi muito difícil encontrar pessoas tanto a nível gerencial como operacional que possuíssem uma visão macro do negócio.

Tanto as cooperativas quanto os catadores e sucateiros ainda estão se profissionalizando e aperfeiçoando processos para garantir um melhor desempenho e lucratividade. Dentre todas as cooperativas consultadas no município do Rio de Janeiro

nenhuma havia pensado de forma isolada sobre os pontos de coleta, muitas vezes a empresa que recolhe o lixo é a primeira que chega para recolher, faltando acordos para maximizar a quantidade e qualidade dos resíduos capitados.

Houve uma severa dificuldade para encontrar especialistas para julgar as diferentes alternativas e para avaliar os critérios, as informações mais relevantes foram oriundas de pessoas de menos escolaridade empenhadas somente no processo operacional. Muitas vezes a gerência não possuía nenhum detalhe de como era o ponto de coleta, ou se o processo de coleta estava sendo eficaz ou não.

Existe por parte das instituições que possuem pontos de descarte voluntário e pontos de coleta uma grande preocupação com melhorias, o foco destas instituições está no espaço físico e condições sanitárias e higiene. Após a pesquisa de campo todas as alternativas selecionadas para estudo fizeram algum tipo de melhoria no ponto de coleta havendo a necessidade de uma segunda avaliação do local para novo julgamento. Isto demonstra a preocupação e comprometimento ambiental cada vez mais evidente.

Ao buscar dados sobre o lixo eletrônico no Brasil e no mundo para o estudo foram encontrados diversos artigos e informações na rede oriundas de pesquisas realizadas e apresentadas pela ONU, sendo praticamente a única fonte sobre a realidade do tema do e-lixo. Verificou-se a dificuldade de definir números no Brasil devido ao comércio ilegal de eletrônicos, sendo necessária uma nova abordagem para quantificar a quantidade e tipo de resíduos.

O foco da pesquisa, além de considerar a produção e importação, teve que relevar a quantidade apresentada pelas cooperativas, sucateiros e empresas certificadas para uma avaliação mais próxima da realidade.

A indústria brasileira de reciclagem de REEE conta com uma grande concentração geográfica, usualmente em áreas industrializadas ou de intensa atividade econômica. Ressalte-se que diversos representantes do setor indicam que a capacidade instalada está atualmente subutilizada, tendo potencial para absorver um grande aumento no volume de material processado.

A dependência de transportar REEE para as áreas onde se concentram esses atores exige atenção especial, não somente pelas grandes distâncias que por vezes será necessário vencer, como também por aspectos tributários. A princípio, o transporte interestadual impõe taxaço sobre toda mercadoria circulante. Na ausência de acordos que, em vista da relevância da logística reversa para o bem comum, isentem de impostos o transporte de REEE entre estados, o sistema será excessivamente onerado.

Para concluir, foi descrito ao longo deste estudo o problema do acúmulo de lixo eletrônico nas metrópoles apresentando sugestões que viabilizem a sustentabilidade através do descarte consciente, separação, reciclagem e reinserção destes materiais

na cadeia produtiva ou a destinação adequada e certificada pelos órgãos competentes dos resíduos de forma a minimizar seu impacto ambiental e social, interferindo diretamente na qualidade de vida da população local.

A Seção 5.2 discute a contribuição do presente trabalho e apresenta possíveis direções para sua continuidade.

## 5.2 Trabalhos Futuros

Este estudo utilizou o método *Fuzzy* AHP apresentado por Chang, como sugestão de trabalho futuro poderia utilizar os mesmos dados de entrada para comparar com outros modelos de localização para observar se o ranqueamento se mantém.

O modelo utilizado possui um diferencial que é a possibilidade de trabalhar com diversos especialistas para um melhor julgamento, este estudo utilizou somente um especialista limitando o potencial do modelo.

Métodos como *Fuzzy* TOPSIS, AHP, ANP e DEA podem ser utilizados para comparação de resultados. Este estudo se limitou a estudar cinco instituições localizadas em um bairro, caso o estudo seja mais abrangente e inclua todos os bairros do Município do Rio de Janeiro o método de análise estendida atende a este propósito, desde que seja utilizada uma ferramenta computacional adequada.

# Referências Bibliográficas

- [1] “THE GLOBAL E-WASTE MONITOR 2014”. 2016. Disponível em: <https://i.unu.edu/media/unu.edu/news/52624/UNU-1stGlobal-E-Waste-Monitor-2014-small.pdf>.
- [2] “United Nations Annual Report 2014”. maio 2016. Disponível em: [http://www.unep.org.br/admin/publicacoes/texto/EWaste\\_final.pdf](http://www.unep.org.br/admin/publicacoes/texto/EWaste_final.pdf).
- [3] CHANG, D.-Y. “Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP”, *European journal of operational research*, v. 95, n. 3, pp. 649–655, 1996.
- [4] EUROPEU, P. “Diretiva 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de Janeiro de 2003: Relativa aos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE)”, *Jornal Oficial da União Européia de*, v. 13, 2003.
- [5] JANG, Y.-C., KIM, M. “Management of used & end-of-life mobile phones in Korea: a review”, *Resources, Conservation and recycling*, v. 55, n. 1, pp. 11–19, 2010.
- [6] BALDÉ, C., WANG, F., KUEHR, R., et al. “The Global e-waste Monitor 2014, Institute for the Advanced Study of Sustainability (IAS) and Sustainable Cycles (SCYCLE)”, 2015.
- [7] MIGUEZ, E. C. “Logística reversa como solução para o problema do lixo eletrônico: benefícios ambientais e financeiros”, *Rio de Janeiro: Qualitymark*, 2010.
- [8] “Minuta do Plano de Gestão Integrada de Resíduos da Prefeitura do Rio de Janeiro”. 2016. Disponível em: [http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3035089/DLFE-247507.pdf/Plano\\_Gestao\\_Integrada\\_Residuos.pdf](http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3035089/DLFE-247507.pdf/Plano_Gestao_Integrada_Residuos.pdf).
- [9] LEITE, P. R. *Logística reversa: meio ambiente e competitividade*. Pearson Prentice Hall, 2009.

- [10] DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, A. A. B. “Logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos: análise de viabilidade técnica e econômica. 2012”. 2016. Disponível em: <[http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl\\_1367253180.pdf](http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1367253180.pdf)>.
- [11] YOSHIDA, C. “Competência e as diretrizes da PNRS: conflitos e critérios de harmonização entre as demais legislações e normas”, *Política Nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. São Paulo: Manole*, pp. 3–37, 2012.
- [12] “Reciclagem de Eletrônicos”. jan. 2016. Disponível em: <<http://www.prorecycle.com.br/reciclagem-de-eletronicos/>>.
- [13] LIMA JUNIOR, F. R. *Comparação entre os métodos Fuzzy TOPSIS e Fuzzy AHP no apoio à tomada de decisão para seleção de fornecedores*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.
- [14] CHEN, C.-T., LIN, C.-T., HUANG, S.-F. “A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management”, *International journal of production economics*, v. 102, n. 2, pp. 289–301, 2006.
- [15] AWASTHI, A., CHAUHAN, S. S., GOYAL, S. K. “A fuzzy multicriteria approach for evaluating environmental performance of suppliers”, *International Journal of Production Economics*, v. 126, n. 2, pp. 370–378, 2010.
- [16] CHAMODRAKAS, I., BATIS, D., MARTAKOS, D. “Supplier selection in electronic marketplaces using satisficing and fuzzy AHP”, *Expert Systems with Applications*, v. 37, n. 1, pp. 490–498, 2010.
- [17] KILINCCI, O., ONAL, S. A. “Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company”, *Expert systems with Applications*, v. 38, n. 8, pp. 9656–9664, 2011.
- [18] BEVILACQUA, M., CIARAPICA, F., GIACCHETTA, G. “A fuzzy-QFD approach to supplier selection”, *Journal of Purchasing and Supply Management*, v. 12, n. 1, pp. 14–27, 2006.
- [19] AMIN, S. H., RAZMI, J. “An integrated fuzzy model for supplier management: A case study of ISP selection and evaluation”, *Expert systems with applications*, v. 36, n. 4, pp. 8639–8648, 2009.
- [20] SEVKLI, M., LENNY KOH, S., ZAIM, S., et al. “Hybrid analytical hierarchy process model for supplier selection”, *Industrial Management & Data Systems*, v. 108, n. 1, pp. 122–142, 2008.

- [21] GUNERI, A. F., YUCEL, A., AYYILDIZ, G. “An integrated fuzzy-lp approach for a supplier selection problem in supply chain management”, *Expert Systems with Applications*, v. 36, n. 5, pp. 9223–9228, 2009.
- [22] ZIMMERMANN, H.-J. “Fuzzy Control”. In: *Fuzzy Set Theory—and Its Applications*, Springer, pp. 203–240, 1996.
- [23] FONS, S., ACHARI, G., ROSS, T. “A fuzzy cognitive mapping analysis of the impacts of an eco-industrial park”, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, v. 15, n. 2, pp. 75–88, 2004.
- [24] ZADEH, L. A. “Fuzzy sets”, *Information and control*, v. 8, n. 3, pp. 338–353, 1965.
- [25] DE BARROS, L. C., BASSANEZI, R. C. *Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática*. Grupo de Biomatemática, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica (IMECC), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2006.
- [26] KAHRAMAN, C. *Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments*, v. 16. Springer Science & Business Media, 2008.
- [27] COSENZA, C. A. N., OTHERS. “Localização industrial: delineamento de uma metodologia para a hierarquização das potencialidades regionais”, *Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ*, 1998.
- [28] ORDOOBADI, S. M. “Fuzzy logic and evaluation of advanced technologies”, *Industrial Management & Data Systems*, v. 108, n. 7, pp. 928–946, 2008.
- [29] SHEN, C.-Y., YU, K.-T. “A generalized fuzzy approach for strategic problems: The empirical study on facility location selection of authors’ management consultation client as an example”, *Expert Systems with Applications*, v. 36, n. 3, pp. 4709–4716, 2009.
- [30] SHU, M.-H., WU, H.-C. “Quality-based supplier selection and evaluation using fuzzy data”, *Computers & Industrial Engineering*, v. 57, n. 3, pp. 1072–1079, 2009.
- [31] LAI, H., ZHANG, D. “Concept lattices of fuzzy contexts: Formal concept analysis vs. rough set theory”, *International Journal of Approximate Reasoning*, v. 50, n. 5, pp. 695–707, 2009.
- [32] HSU, B.-M., CHIANG, C.-Y., SHU, M.-H. “Supplier selection using fuzzy quality data and their applications to touch screen”, *Expert Systems with Applications*, v. 37, n. 9, pp. 6192–6200, 2010.

- [33] LAM, K.-C., TAO, R., LAM, M. C.-K. “A material supplier selection model for property developers using Fuzzy Principal Component Analysis”, *Automation in Construction*, v. 19, n. 5, pp. 608–618, 2010.
- [34] KLIR, G., YUAN, B. *Fuzzy sets and fuzzy logic*, v. 4. Prentice hall New Jersey, 1995.
- [35] SAATY, T. “The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, New York, 1980”, *There is no corresponding record for this reference.*
- [36] SAATY, T. L. “Fundamentals of the analytic network process—Dependence and feedback in decision-making with a single network”, *Journal of Systems science and Systems engineering*, v. 13, n. 2, pp. 129–157, 2004.
- [37] DANTZIG, G. B. “Linear programming and its extensions”. 1963.
- [38] CHARNES, A., COOPER, W. W., RHODES, E. “Measuring the efficiency of decision making units”, *European journal of operational research*, v. 2, n. 6, pp. 429–444, 1978.
- [39] SAATY, T. L., SAGIR, M. “Extending the measurement of tangibles to intangibles”, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, v. 8, n. 01, pp. 7–27, 2009.

# Apêndice A

## Questionário - Critério de Seleção



A aplicação deste questionário tem como fim avaliar os critérios mais relevantes para realizar a seleção dos pontos de coleta do lixo eletrônico na cidade do Rio de Janeiro, critérios de seleção considerados importantes para a localização do mesmo

**1. Quais características são consideradas importantes para o ponto de coleta? ( Locais onde os usuários depositam o e-lixo como Centros comerciais, rede de supermercados, Instituições de ensino, etc.).**

Sugestões de características:

- Espaço físico
- Facilidade de acesso logístico
- Controle de umidade
- Condições sanitárias e de higiene
- Quantidade de material recebido semanalmente
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_
- \_\_\_\_\_

**2. Poderia descrever alguns detalhes sobre o ciclo de reciclagem do e-lixo iniciando na coleta, passando pela separação até a reutilização do material ?**

**3. Existe um valor estimado (R\$) para 1 Kg de e-lixo já separado ?**

**4. Existe no Brasil uma planta para processamento de placas impressas e transistor como, por exemplo, placas mãe de computadores? Caso não haja, qual o País destino deste material?**

**5. Quais são os custos mais relevantes para efetuar o processo de coleta do e-lixo? Todo o lixo coletado é oriundo de doações?**

**6. Analisando as características do ponto de coleta quais são os aspectos mais relevantes? Poderia dar uma nota de zero (0) a dez (10) para cada critério, sendo zero (0) o menos relevante e dez (10) o mais relevante.**

- ( ) Espaço físico ( tamanho do depósito em m2)
- ( ) Facilidade de acesso logístico ( se existe área de carga e descarga próximo ao local de coleta, localização próxima a planta de separação, limitação de horários para coleta, etc...)
- ( ) Controle de umidade( se o ambiente é protegido da umidade proveniente da chuva ou de outros)
- ( ) Condições sanitárias e de higiene ( se o material se mistura com lixo orgânico ou outros e questões de higiene)
- ( ) Quantidade de material recebido semanalmente ( quantidade medida em Kg / semana)
- ( ) 0
- ( ) 0
- ( ) 0

# Apêndice B

## Questionário - Avaliação dos Critério de Seleção



### Questionário No.2 Avaliação Critérios de Seleção

Nesta segunda série de perguntas, é necessário avaliar os critérios de seleção escolhidos no questionário No.1, indicando a relevância de cada um dos selecionados para o estudo. Os valores lingüísticos para avaliação são os seguintes:

Valor Lingüístico	
<b>L</b>	Levemente Relevante (L)
<b>MO</b>	Moderadamente Relevante (MO)
<b>F</b>	Fortemente Relevante (F)
<b>MF</b>	Muito fortemente Relevante (MF)
<b>AB</b>	Absolutamente Relevante (AB)

Critério de Seleção	Descrição	Importância					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
C <sub>1</sub>	Espaço físico	(1,1,1)	(1,3,5)	(7,9,9)	(3,5,7)	(1,0,33,0,20)	(0,33,0,20, 0,14)
C <sub>2</sub>	Facilidade de acesso logístico	(1,0,33,0,20)	(1,1,1)	(1,3,5)	(3,5,7)	0,33, 0,20, 0,14	(1, 0,33, 0,20)
C <sub>3</sub>	Controle de umidade	(0,14,0,11,0,11)	(1,0,33,0,20)	(1,1,1)	(1, 1,0,33)	(0,33,0,20,0,14)	(1,0,33,0,20)
C <sub>4</sub>	Condições sanitárias e de higiene	(0,33,0,20,0,14)	(0,33, 0,20,0,14)	(1,1,3)	(1,1,1)	0,14, 0,11, 0,11	(0,20, 0,14, 0,11)
C <sub>5</sub>	Quantidade de material recebido semanalmente	(1,3,5)	(3,5,7)	(3,5,7)	(7,9,9)	(1,1,1)	(5,7,9)
C <sub>6</sub>	Custo de coleta	(3,5,7)	(1,3,5)	(1,3,5)	(5,7,9)	(0,20, 0,14,0,11)	(1,1,1)

# Apêndice C

## Questionário - Avaliação de Alternativas



### Questionário No.3 Avaliação de Alternativas

#### Avaliação Alternativas de Localização / Critérios de Seleção

Neste terceiro questionário, é necessário avaliar cada uma das alternativas de localização frente a cada um dos critérios de seleção escolhidos. Os valores lingüísticos para avaliação são os seguintes:

Valor Lingüístico	
L	Levemente Preferido (L)
MO	Moderadamente Preferido (MO)
F	Fortemente preferido (F)
MF	Muito fortemente preferido (MF)
AB	Absolutamente preferido (AB)

C<sub>1</sub> Espaço Físico

Alternativa	Descrição	Importância				
		A1	A2	A3	A4	A5
A <sub>1</sub>	Rede de Supermercado	I	(1,1,0.33)	(3,5,7)	(1,1,0.33)	(1,0.33,0.20)
A <sub>2</sub>	Shopping Center		I	(1,3,5)	(1, 0.33, 0.20)	(0.20, 0.14, 0.11)
A <sub>3</sub>	Estações de Metrô, trens e rodovias			I	(1,1,0.33)	(1,0.33,0.20)
A <sub>4</sub>	Instituições de Ensino				I	(1,0.33,0.20)
A <sub>5</sub>	Shoppings de Informática					I

C<sub>2</sub> Acesso Logístico

Alternativa	Descrição	Importância				
		A1	A2	A3	A4	A5
A <sub>1</sub>	Rede de Supermercado	I	(1,1,3)	(1,1,3)	(1,1,3)	(1,0.33, 0.20)
A <sub>2</sub>	Shopping Center		I	(1,1,0.33)	(1,1,3)	(1,1,0.33)
A <sub>3</sub>	Estações de Metrô, trens e rodovias			I	(1,1,3)	(1,1,0.33)
A <sub>4</sub>	Instituições de Ensino				I	(1,0.33,0.20)
A <sub>5</sub>	Shoppings de Informática					I

C<sub>3</sub>

Controle de Umidade

Alternativa	Descrição	Importância				
		A1	A2	A3	A4	A5
A <sub>1</sub>	Rede de Supermercado	I	(1,1, 0,33)	(1,1,3)	(1,0,33,0,20)	(1, 1, 0,33)
A <sub>2</sub>	Shopping Center		I	(1,1,3)	(1,1,0,33)	(1,1,0,33)
A <sub>3</sub>	Estações de Metrô, trens e rodovias			I	(1,0,33, 0,2)	(1,0,33, 0,2)
A <sub>4</sub>	Instituições de Ensino				I	(1,1,0,33)
A <sub>5</sub>	Shoppings de Informática					I

C<sub>4</sub>

Condições sanitárias e de higiene

Alternativa	Descrição	Importância				
		A1	A2	A3	A4	A5
A <sub>1</sub>	Rede de Supermercado	I	(1,0,33,0,20)	(1,1,3)	(1,1,0,33)	(1,1,0,33)
A <sub>2</sub>	Shopping Center		I	(1,3,5)	(1,1,3)	(1,1,0,33)
A <sub>3</sub>	Estações de Metrô, trens e rodovias			I	(1,0,33,0,20)	(1,0,33,0,20)
A <sub>4</sub>	Instituições de Ensino				I	(1,1,0,33)
A <sub>5</sub>	Shoppings de Informática					I

C<sub>5</sub>

Quantidade de e-lixo coletado

Alternativa	Descrição	Importância				
		A1	A2	A3	A4	A5
A <sub>1</sub>	Rede de Supermercado	I	(1,1,3)	(1,1,0,33)	(1,0,33,0,20)	(0,14,0,11,0,11)
A <sub>2</sub>	Shopping Center		I	(1,1,0,33)	(0,33, 0,20, 0,14)	(0,14,0,11,0,11)
A <sub>3</sub>	Estações de Metrô, trens e rodovias			I	(1,0,33,0,20)	(0,20, 0,14,0,11)
A <sub>4</sub>	Instituições de Ensino				I	(0,20, 0,14,0,11)
A <sub>5</sub>	Shoppings de Informática					I

C<sub>6</sub>

Custo de coleta

Alternativa	Descrição	Importância				
		A1	A2	A3	A4	A5
A <sub>1</sub>	Rede de Supermercado	I	(1,1,0,33)	(1,1,3)	(1,1,3)	(1,1,0,33)
A <sub>2</sub>	Shopping Center		I	(1,1,0,33)	(1,1,3)	(1,1,0,33)
A <sub>3</sub>	Estações de Metrô, trens e rodovias			I	(1,1,0,33)	(1,1,0,33)
A <sub>4</sub>	Instituições de Ensino				I	(1,033,0,20)
A <sub>5</sub>	Shoppings de Informática					I

# Apêndice D

## Exigências Legais e Específicas para Abertura de uma Empresa de e-Lixo

O empreendedor de uma empresa de reciclagem de lixo eletrônico deverá cumprir algumas exigências de acordo com o SEBRAE como: Registro da empresa nos seguintes órgãos:

- Junta Comercial;
- Secretaria da Receita Federal (CNPJ);
- Secretaria Estadual de Fazenda;
- Prefeitura do Município para obter o alvará de funcionamento;
- Enquadramento na Entidade Sindical Patronal (empresa ficará obrigada a recolher por ocasião da constituição e até o dia 31 de janeiro de cada ano, a Contribuição Sindical Patronal);
- Cadastramento junto à Caixa Econômica Federal no sistema “Conectividade Social – INSS/FGTS”;
- Corpo de Bombeiros Militar.
- Visita à prefeitura da cidade em que pretende montar a sua gráfica para fazer a consulta de local e emissão das certidões de Uso do Solo e Número Oficial.

Algumas prefeituras disponibilizam esse serviço via internet, o que agiliza sobremaneira esse tipo de consulta.

Passo seguinte para a formalização da empresa:

- Após a liberação do contrato social devidamente registrado na Junta Comercial de seu Estado, do CNPJ e da inscrição estadual, também, deve-se providenciar o registro da empresa na Prefeitura Municipal para requerer o Alvará Municipal de Funcionamento.
- Antes de iniciar a produção o empreendedor deverá obter o alvará de licença sanitária. Para obter essa licença o estabelecimento deve estar adequado às exigências do Código Sanitário (especificações legais sobre as condições físicas).
- O empreendedor deverá atentar que em âmbito federal a fiscalização cabe a Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA -, já em âmbito estadual e municipal fica a cargo da Secretaria Estadual de Saúde e Secretaria Municipal de Saúde, respectivamente.