



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MICAELLA DA SILVA TEIXEIRA RODRIGUES**

**LOGÍSTICA REVERSA DE ELETROELETRÔNICOS EM FORTALEZA, CEARÁ:  
ANÁLISE MULTICRITÉRIO E MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ESCOLHA  
DE LOCAIS DE PONTOS DE COLETA DE RESÍDUOS**

**FORTALEZA**

**2014**

MICAELLA DA SILVA TEIXEIRA RODRIGUES

LOGÍSTICA REVERSA DE ELETROELETRÔNICOS EM FORTALEZA, CEARÁ:  
ANÁLISE MULTICRITÉRIO E MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ESCOLHA DE  
LOCAIS DE PONTOS DE COLETA DE RESÍDUOS

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos (Saneamento Ambiental).

Orientador: Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino

FORTALEZA

2014

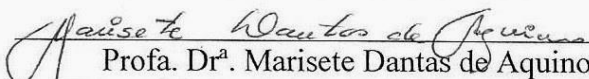
MICAELLA DA SILVA TEIXEIRA RODRIGUES

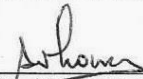
LOGÍSTICA REVERSA DE ELETROELETRÔNICOS EM FORTALEZA, CEARÁ:  
ANÁLISE MULTICRITÉRIO E MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ESCOLHA DE  
LOCAIS DE PONTOS DE COLETA DE RESÍDUOS

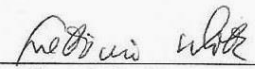
Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos (Saneamento Ambiental).

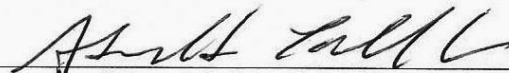
Aprovada em 12 / 08 / 2014

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr<sup>a</sup>. Marisete Dantas de Aquino  
Universidade Federal do Ceará (Orientadora)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Antonio Clecio Fontelles Thomaz  
Universidade Estadual do Ceará (Co-Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Suetônio Bastos Mota  
Universidade Federal do Ceará (Membro Interno)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (Membro Externo)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

- 
- R614l Rodrigues, Micaella da Silva Teixeira.  
Logística reversa de eletroeletrônicos em Fortaleza, Ceará: análise multicritério e modelagem matemática para escolha de locais de pontos de coleta de resíduos / Micaella da Silva Teixeira Rodrigues. – 2014.  
116 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2014.  
Área de Concentração: Saneamento Ambiental.  
Orientação: Profa. Dra. Marisete Dantas de Aquino.  
Coorientação: Prof. Dr. Antônio Clécio Fontelles Thomaz
1. Saneamento. 2. Logística reversa. 3. Materiais elétricos - Reaproveitamento. 4. Coleta seletiva. I. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Capes, pelo apoio financeiro, sem o qual não teria sido feita esta dissertação.

Agradeço ao professor Raimundo, por ser um bom ouvinte e sempre iluminar seus alunos com pílulas de realidade.

Agradeço a todos aqueles que contribuíram com dados: Eng. Humberto Júnior, Eng. Sérgio (COELCE), Sr. Aguiar Teixeira (CAGECE), Sr. Marcos Bonazini (Ecoletas), à imobiliária Plácido Imóveis, à Sra. Tereza Cristina (IBGE), à empresa fornecedora do software PROMETHEE, entre muitos outros que auxiliaram a pesquisa.

Agradeço minha orientadora, profa. Marisete, que sempre apoiou minhas decisões referentes ao mestrado e a minha carreira profissional.

Especial agradecimento dedico ao meu co-orientador, prof. Clecio Thomaz, que foi fundamental para elevar o nível desta pesquisa e foi grande fonte de incentivador para a conclusão desta.

Agradeço a minha família, que sempre teve grande paciência comigo, com alguns sumiços em épocas de estudo intenso e sempre me apoiou. À minha mãe em particular, que é fonte de grande inspiração em todas as áreas da minha vida, principalmente a acadêmica.

## RESUMO

A diretiva 72/2002 promulgada pela União Europeia foi o primeiro documento a tratar de resíduos eletroeletrônicos e sua adequada disposição. No Brasil, o tema resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) seguia inerte até a promulgação da lei 12.305/ 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos. A partir daí estabeleceu-se que resíduos eletroeletrônicos devem passar por um descarte ou reciclagem adequada, usando como instrumento a logística reversa. O objetivo principal deste trabalho é aplicar a análise multicritério/ modelagem matemática para selecionar a melhor localização para o estabelecimento de pontos de coleta de REEE. Ao mesmo tempo, procurou-se diagnosticar a situação do município de Fortaleza com relação aos REEE. Também foi realizada uma projeção dos REEE ao longo de 15 anos e estimaram-se os custos da implantação das estruturas propostas de acordo com a quantidade de resíduos projetada. Foram propostas duas metodologias para escolha dos melhores bairros para implantação dos pontos de coleta. As duas metodologias são PROMETHEE – uma análise multicritério - e DEA (Data Envelopment Analysis) – um tipo de modelagem matemática. Tomando-se os bairros de Fortaleza, que são 119, se destacaram nas duas análises: Aldeota, Barroso, Conjunto Palmeiras, Fátima, Meireles, Parreão, Prefeito José Walter, Salinas, São João do Tauapé. Ao final do trabalho contribui-se para uma melhor tomada de decisão na implantação dos pontos de coleta de REEE em Fortaleza, minimizar os gastos e maximizar a eficiência do sistema de logística reversa de eletroeletrônicos na cidade.

Palavras-chave: resíduos eletroeletrônicos, lei 12.305/2010, DEA, Fortaleza.

## **ABSTRACT**

The 72/2002 Directive enacted by European Union was the first copy to introduce electronic wastes and a proper disposal for them. In Brazil Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE) was still lifeless until enacting of law 12.305/2010 – the Solid Waste National Policy. From that day on it was settled that WEEE should undergo through proper disposal or recycling, doing it by means of reverse logistics. The main goal of this study is to apply multicriteria analysis/mathematical modelling to select the best location in Fortaleza to establishment of WEEE collection points. Besides, Fortaleza's condition concerning WEEE was evaluated. Additionally, a projection of WEEE for a 15 years horizon in Fortaleza was carried out and cost estimation of proposed infrastructure was calculated according to the quantity of projected electronic waste. The two methodologies used to locate the best neighborhoods to implant WEEE collection points are PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations) and DEA (Data Envelopment Analysis). Taking Fortaleza's neighborhoods (summing up 119) presents in both outcomes, we can name: Aldeota, Barroso, Conjunto Palmeiras, Fátima, Meireles, Parreão, Prefeito José Walter, Salinas and São João do Tauapé. At the end of the study there's a contribution to a better decision making in implementation of WEEE collection points in Fortaleza, in order to minimize costs and maximize the efficiency of WEEE reverse logistics system in the city.

**Keywords:** eletric and electronic waste, 12.305/2010 law, DEA, Fortaleza

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Linhas para classificação dos equipamentos eletroeletrônicos .....                         | 8  |
| Figura 2 – Barreiras para aplicação de logística reversa .....  | 17 |
| Figura 3 – Custos e receitas de instalação de recuperação de materiais.....                           | 18 |
| Figura 4 – Mapa da cidade de Fortaleza por Regional .....   | 36 |
| Figura 5 – Etapas para o cálculo dos custos da estrutura de reciclagem de REEE .....                  | 40 |
| Figura 6 – Tipos de usinas de triagem de REEE .....   | 41 |
| Figura 7 – Metodologia DEA .....  | 46 |
| Figura 8 – Material separado por tipo na Ecoletas .....   | 54 |
| Figura 9 – Linha de montagem com funcionários devidamente uniformizados. ....                         | 55 |
| Figura 10 – Modelo de questionário para seleção de critérios .....                                    | 59 |
| Figura 11 – Visual PROMETHEE com os dez critérios e dados de cada critério inseridos ...              | 61 |
| Figura 12 – Atribuição de pesos no software PROMETHEE .....   | 64 |
| Figura 13 – Interface do DEA Solver .....   | 66 |
| Figura 14 – Localização dos pontos de coleta de REEE .....  | 76 |
| <br>  |    |
| Gráfico 1 – Composição em peso dos principais componentes de computadores .....                       | 11 |
| Gráfico 2 – Metodologia para o método PROMETHEE.....  | 44 |
| Gráfico 3 – Tendência de crescimento para eletroeletrônicos (2007, 2009 e 2011) em<br>Fortaleza. .... | 57 |
| Gráfico 4 – Ranking da análise por Regionais .....  | 71 |
| Gráfico 5 – Ranking da análise dos bairros .....  | 72 |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 – Definições de lixo eletrônico .....   | 6  |
| Tabela 2 – Legislação referente aos eletroeletrônicos em estados brasileiros .....                           | 26 |
| Tabela 3 – Lixo em categorias coletado por Regional .....  | 37 |
| Tabela 4 – Vida útil e peso dos eletroeletrônicos selecionados. ....   | 39 |
| Tabela 5 – Quantidade de tipos de eletroeletrônicos em cada 1000 domicílios (Fortaleza). ...                 | 40 |
| Tabela 6 – Custos estimados de instalação anuais de usinas de triagem (1.200, 3.600 e 12.000 toneladas)..... | 41 |
| Tabela 7 - Custos estimados de manutenção anuais de usinas de triagem (1.200, 3.600 e 12.000 toneladas)..... | 43 |
| Tabela 8 – Métodos para escolha de inputs e outputs .....  | 49 |
| Tabela 9 – Projeção dos Equipamentos Eletroeletrônicos (em toneladas) em Fortaleza. ....                     | 58 |
| Tabela 10 – Primeiros Classificados de acordo com critérios quantitativos (4 critérios) .....                | 63 |
| Tabela 11 - Resultado da análise de sensibilidade para modificação do preço do terreno.....                  | 65 |
| Tabela 12 – Análise 1 (bairros eficientes) .....   | 67 |
| Tabela 13 – Análise 2 (bairros eficientes) .....   | 68 |
| Tabela 14 – Correlação entre dados (Primeira Etapa).....   | 69 |
| Tabela 15 – Análise exploratória dos dados (parte II).....   | 69 |
| Tabela 16 – Correlação entre os dados (Segunda Etapa) .....  | 70 |
| Tabela 17 – Benchmarks para a análise DEA das Regionais .....  | 70 |
| Tabela 18 – Trecho de bairros de referência para as unidades não eficientes.....                             | 74 |
| Tabela 19 – Custos estimados anuais de instalação de usina de triagem de REEE de 12.000 toneladas .....      | 76 |
| Tabela 20 – Custos estimados anuais de manutenção de usina de triagem de REEE de 12.000 toneladas .....      | 77 |
| Tabela 21 – Estimativa de custos para pontos de coleta de REEE.....  | 77 |

## LISTA DE QUADROS

|   |    |
|---|----|
| Quadro 1 – Categorias de REE segundo União Europeia.....  | 7  |
| Quadro 2 – Contaminantes presentes em eletroeletrônicos e seus efeitos à saúde.....                         | 9  |
| Quadro 3 – Consequências ambientais, sócias e econômicas relacionadas à gestão dos REEE<br>.....            | 11 |
| Quadro 4 – Processos de reciclagem de eletroeletrônicos na América Latina e no mundo ....                   | 14 |
| Quadro 5 – Diferenças entre logística direta e logística reversa.....                                       | 16 |
| Quadro 6 – Atividades de destino de produtos descartados .....  | 17 |
| Quadro 7 – Medidas para fortalecimento da infraestrutura da cadeia de reciclagem .....                      | 19 |
| Quadro 8 – Variáveis –chave e alternativas consideradas para modelagem da cadeia de REEE<br>brasileira..... | 20 |
| Quadro 9 - Variáveis –chave e alternativas definidas para modelagem da cadeia de REEE<br>brasileira.....    | 22 |
| Quadro 10 – Consequências sociais, econômicas e ambientais da reciclagem de REEE.....                       | 23 |
| Quadro 11 - Custos e suas descrições em cada uma das etapas da reciclagem de REEE .....                     | 24 |
| Quadro 12 – Parâmetros para estimar custos dos centros de reciclagem e acondicionamento<br>.....            | 25 |
| Quadro 13 – Metodologias para estimativa do inventário de REEE .....  | 28 |
| Quadro 14 – Secretarias Executivas Regionais de Fortaleza e seus bairros .....                              | 35 |
| Quadro 15 – Bairros eficientes na análise DEA .....   | 73 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial  
ASMOC – Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia  
BS – Bootstrapping  
CCE – Centro de Coleta de Embalagens  
CETIC – *Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação*  
CFC – Cloro Flúor Carbono  
CRT – Tubo de Raio Catódico  
DEA – Data Envelopment Analysis (AED – Análise Envoltória de Dados)  
DMU – Decision Making Unit  
ECM – Efficiency Contribution Measure  
EMPA – *Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology*  
GTB – Galpão de Triagem  
HCFC – Hidrocloro Fluor Carbono  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano  
INPC – Índice Nacional de Preços ao Consumidor  
IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo  
LEV – Local de Entrega Voluntária  
MRF – Material Recovery Facility  
ONGs – Organização Não Governamental  
PCA – DEA – Principal Component Analysis  
PCI – Placa de Circuitos Impressos  
PIB – Produto Interno Bruto  
PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos  
PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
RB – Regression-Based test  
REEE – Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos  
SEMACE – Superintendência Estadual do Meio Ambiente  
SEUMA – Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente  
UNEP - United Nations Environment Programme

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>1.1 Justificativas e delimitações.....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>1.2 Objetivo Geral .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1.3 Objetivos Específicos.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>1.4 Estrutura do Trabalho.....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2.1 Definições, Caracterização e Legislação de Lixo Eletrônico .....</b>               | <b>5</b>  |
| <b>2.1.1 Possíveis contaminantes presentes em eletroeletrônicos.....</b>                  | <b>9</b>  |
| <b>2.2 A evolução da legislação mundial sobre meio ambiente e resíduos perigosos.....</b> | <b>11</b> |
| <b>2.3 Situação do Brasil em Termos de Tecnologia de Reciclagem .....</b>                 | <b>13</b> |
| <b>2.3 Logística Reversa.....</b>   | <b>14</b> |
| <b>2.4 Avaliações de Viabilidade de Reciclagem de Resíduos Rletrônicos.....</b>           | <b>18</b> |
| <b>2.5 Custos de implantação de usinas de triagem de REEE .....</b>                       | <b>23</b> |
| <b>2.5.1 Situação no Brasil.....</b>  | <b>25</b> |
| <b>2.6 Legislação brasileira sobre resíduos eletroeletrônicos.....</b>                    | <b>26</b> |
| <b>2.6.1 Legislação federal.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>2.6.2 Legislação estadual.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>2.6.3 Legislação municipal.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>2.7 Estimativas de geração de lixo .....</b>   | <b>27</b> |
| <b>2.8 Métodos de Análise Multicritério .....</b>   | <b>28</b> |
| <b>2.9 Análise Envoltória de Dados .....</b>  | <b>31</b> |
| <b>3. METODOLOGIA.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>3.1 Caracterização da área em estudo .....</b>   | <b>35</b> |
| <b>3.2 Diagnóstico da situação atual de REEE em Fortaleza.....</b>                        | <b>38</b> |
| <b>3.3 Estimativa de geração de REEE em Fortaleza .....</b>                               | <b>38</b> |
| <b>3.4 Análise financeira da implantação de usinas de triagem em Fortaleza .....</b>      | <b>40</b> |
| <b>3.5 Escolha do local para implantação dos pontos de coleta .....</b>                   | <b>44</b> |
| <b>3.5.1 Promethee.....</b>   | <b>44</b> |
| <b>3.5.2 Análise Envoltória de Dados (DEA – Data Envelopment Analysis).....</b>           | <b>45</b> |
| <b>3.5.2.1 Concepção .....</b>  | <b>46</b> |
| <b>3.5.3. Modelagem .....</b>   | <b>48</b> |
| <b>3.5.4 Análise.....</b>   | <b>50</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>52</b>  |
| <b>4.1 Diagnóstico da situação atual do lixo eletrônico em Fortaleza .....</b>                 | <b>52</b>  |
| <b>4.1.1 Ecoletas .....</b>  | <b>52</b>  |
| <b>4.2 Estimativa de geração de REEE em Fortaleza .....</b>                                    | <b>57</b>  |
| <b>4.3 PROMETHEE .....</b>   | <b>59</b>  |
| <b>4.4 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS .....</b>   | <b>65</b>  |
| <b>4.4.1 Coleta de dados.....</b>  | <b>65</b>  |
| <b>4.4.2 Classificação das variáveis .....</b>   | <b>69</b>  |
| <b>4.4.3 Análise exploratória e tratamento de dados.....</b>                                   | <b>69</b>  |
| <b>Parte I – Regionais .....</b>   | <b>70</b>  |
| <b>Parte II – Bairros.....</b>   | <b>72</b>  |
| <b>4.4.4 Comparação entre os dois métodos .....</b>  | <b>75</b>  |
| <b>4.5 Custos de Instalações de Reciclagem de REEE .....</b>                                   | <b>76</b>  |
| <b>5. CONCLUSÕES.....</b>  | <b>78</b>  |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>  | <b>79</b>  |
| <b>APÊNDICE A - SET COVERING PROBLEM.....</b>  | <b>87</b>  |
| <b>APÊNDICE B – ESTIMATIVA DA PROJEÇÃO DO NÚMERO DE ELETROELETRÔNICOS DE 2007 A 2025 .....</b> | <b>92</b>  |
| <b>APÊNDICE C – ÍNDICE DE GINI.....</b>  | <b>94</b>  |
| <b>ANEXO A – DADOS UTILIZADOS NA ANÁLISE COM DEA POR REGIONAIS.....</b>                        | <b>96</b>  |
| <b>ANEXO B – DADOS UTILIZADOS NA ANÁLISE COM DEA POR BAIROS.....</b>                           | <b>97</b>  |
| <b>ANEXO C – RANQUEAMENTO DADO PELO PROMETHEE .....</b>  | <b>100</b> |
| <b>ANEXO D – RANQUEAMENTO DADO PELO DEA.....</b>   | <b>103</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial o homem começou a produzir em grande escala, gerando lixo e dispondo-o da maneira mais simples possível. Entretanto, com o crescimento da população, com o advento das guerras, da produção em massa (Fordismo e Toyotismo) e, levando-se em consideração que a Terra não sofreu nenhuma expansão (continua com o mesmo espaço que sempre teve), os resíduos começaram a crescer de forma ainda mais descontrolada, enquanto que as formas de dispô-los permaneceu tão arcaica quanto no início da primeira Revolução Industrial.

Para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE), a situação segue uma dinâmica semelhante, mas com algumas peculiaridades. Os REEE têm crescido em ritmo acelerado desde o advento do computador individual, popularizado em 1996. Os REEEs, principalmente aqueles provindos de equipamentos de informática (desktops, notebooks, netbooks, impressoras, scanners, multifuncionais, modems, roteadores, celulares etc.) têm como características principais uma expansão acelerada (por sua rápida obsolescência), somada à produção em massa e ao descarte inadequado, pois esses equipamentos têm uma quantidade razoável de metais pesados que, se inadequadamente dispostos, podem causar danos aos seres vivos em contato com aquele material. Widmer et al (2005) relataram três principais obstáculos a respeito do gerenciamento do ciclo de vida de produtos eletroeletrônicos: 1) a falta de informações confiáveis ; 2) a falta de uma estrutura segura de reciclagem de REEE no setor formal e 3) a falta de padrões internacionais para sistemas de gerenciamento de REEE, o que dificulta sua implantação. Adicionalmente, a falta de uma estrutura adequada de reciclagem de REEE gera, além de possíveis problemas de contaminação de seres vivos, prejuízos econômicos decorrentes da não reciclagem de seus metais.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi um importante marco para uma correta destinação dos resíduos eletroeletrônicos no Brasil. Entretanto, a legislação dos estados e municípios não procurou se compatibilizar com a lei federal. Além disso, até o momento, em Fortaleza, poucas são as ações adotadas pelo governo para uma maior adesão do público e das empresas à lei 12.305/2010. Para uma destinação adequada de REEE existe apenas uma empresa licenciada no Ceará; existem inúmeras organizações que trabalham com resíduos eletroeletrônicos, mas não realizam o descarte de forma adequada.

Com base nisso, este trabalho se torna relevante por abordar os dois primeiros tópicos em nível municipal, coletando informações relacionadas a indicadores de resíduos eletroeletrônicos na cidade de Fortaleza, e propondo a implantação de uma infraestrutura de logística reversa de REEE para o município.

Para a Europa, em 2002, promulgaram-se duas diretivas no sentido de minimizar os resíduos perigosos presentes nos equipamentos eletroeletrônicos e no intuito de iniciar a coleta de tais resíduos. No Brasil, a preocupação inicial com resíduos teve início com algumas resoluções do CONAMA, mas, com relação aos REEs, somente com a aprovação da lei 12.305/2010 iniciou-se uma série de ações para dar um destino adequado aos REEs. Entretanto, pela extensão territorial do Brasil, pelas não-uniformidades pelo território nacional e pela falta de dados referentes aos números de REEs, torna-se complexo implantar um sistema efetivo de logística reversa para REEs. No Ceará, e especificamente, em Fortaleza, ainda estão sendo elaborados os planos de resíduos sólidos, que orientam estado e município, respectivamente a dar uma destinação final a todo tipo de resíduos, assim como a dar início aos programas de logística reversa de tais resíduos, em conjunto com a população, fabricantes/importadores e catadores. Antes de implantar esses planos, é necessário primeiramente, traçar um perfil da situação atual do município de Fortaleza com relação a esse tipo de resíduo e ver como os atores (de todas as vertentes) pretendem mudar para se adaptar à nova lei. Também é necessário que sejam levantados dados quantitativos para dar suporte a possíveis programas políticos a serem implantados e para acompanhar o resultado desses programas políticos.

A proposta deste trabalho é de diagnosticar as empresas que participam do processo de reciclagem e disposição final dos eletroeletrônicos em Fortaleza, estimar a quantidade de REEE gerados em Fortaleza, avaliar economicamente a implantação de pontos de coleta na cidade e escolher, por meio de análise multicritério/ modelagem, os melhores locais para implantação destes pontos.

## **1.1 Justificativas e delimitações**

Sendo assim, esta dissertação se faz relevante ao buscar retratar o cenário de Fortaleza com relação ao destino que ela dá aos REEEs e, assim, propor um plano de ação para viabilizar uma gestão mais efetiva destes resíduos, de acordo com as diretrizes fixadas pela lei 12.305/2010 e estudos de viabilidade econômico-financeira realizados em países com características semelhantes ao Brasil e com um documento oficial do governo sobre esta

viabilidade. Adicionalmente, o estudo propõe os locais mais adequados para implantação de centros de triagem e de recolhimento, com base em metodologias de análise multicritérios já consagradas.

## **1.2 Objetivo Geral**

Utilizar análise multicritério e modelagem matemática para identificar os melhores locais para implantação de pontos de coleta de REEE no município de Fortaleza, Ceará.

## **1.3 Objetivos Específicos**

1. Avaliar critérios para se implantar as estruturas físicas responsáveis pela viabilização da logística reversa de eletroeletrônicos em Fortaleza;
2. Estimar a quantidade de resíduos eletroeletrônicos gerados na cidade de Fortaleza (projeção para um horizonte de 15 anos – até 2025) por meio de dados obtidos de censo brasileiro;
3. Avaliar empresas/organizações que lidem com a reciclagem e reaproveitamento de produtos eletrônicos em Fortaleza;
4. Utilizar os modelos PROMETHEE e DEA para definição de locais de coleta de REEE em Fortaleza;
5. Estimar custos de instalações – usina de triagem e pontos de coleta – de reciclagem de resíduos eletroeletrônicos para a cidade de Fortaleza

## **1.4 Estrutura do Trabalho**

O primeiro capítulo do trabalho é composto pela abordagem sobre a importância do tema e sua delimitação, assim como pela enumeração do objetivo principal seguido dos objetivos específicos.

O segundo capítulo é composto por uma caracterização dos resíduos eletroeletrônicos, as leis em nível mundial e em nível nacional que os mencionam e a classificação que seus diversos componentes recebem. Também são elencados alguns estudos sobre os efeitos dos componentes de REEE para o meio ambiente, assim como para os seres humanos. Vários estudos em países em desenvolvimento são aqui resumidos e as estratégias por eles usadas, são reproduzidas. Também são listados diversos estudos de implantação de



usinas de triagem de REEE em países em desenvolvimento; paralelamente, é apresentado um estudo brasileiro acerca do mecanismo de implantação da logística de REEE em todo o território.

O terceiro capítulo do trabalho conta com uma sucinta revisão acerca das duas metodologias de análise multicritério que serão utilizadas para a escolha dos melhores locais para implantação dos pontos de coleta de REEE. As metodologias são PROMETHEE (Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations) e DEA (Data Envelopment Analysis). Ainda neste capítulo, é exposta a metodologia utilizada para o cálculo da projeção do número de resíduos eletroeletrônicos em Fortaleza.

O quarto capítulo consiste nos resultados das metodologias PROMETHEE e DEA, assim como na comparação entre essas metodologias.

O quinto capítulo consiste na discussão dos resultados e conclusão.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Definições, Caracterização e Legislação de Lixo Eletrônico

Historicamente, as preocupações com meio ambiente e, conseqüentemente, com a movimentação de resíduos perigosos, tiveram início na Convenção de Estocolmo, em 1972; neste período também surgiu o termo Ecodesenvolvimento. Em 1982, era realizada a Conferência de Nairobi, de onde sairia um importante documento direcionador de ações discutidas nas conferências anteriores: o relatório de Brundtland. Posteriormente, o termo Ecodesenvolvimento passou a ser mais conhecido como Desenvolvimento Sustentável, em que foram incorporados conceitos de manutenção e conservação de recursos naturais. Sendo assim, surgiu a necessidade de se utilizar a tecnologia a favor da utilização, recuperação e conservação de recursos (ZIGLIO, 2005).

Em 1989, com a conferência de Basileia para o controle de movimentos transfronteiriços de substâncias perigosas e seu descarte, 164 países (com exceção de Estados Unidos, Afeganistão e Haiti) assinaram acordo para onerar países exportadores de resíduos perigosos, de forma que estes garantam disposição adequada para os países que importam tais resíduos. A Conferência Rio Eco 92, em 1992, acompanhando tendências do acordo de Basileia, embora de alcance mais abrangente em termos ambientais, produziu um documento conhecido como Agenda 21 - em que foram listadas e oficializadas ações para conservação do meio ambiente. Neste documento, composto de 40 capítulos, um deles, o capítulo 20, faz referência aos resíduos perigosos. Nele, são propostas ações para “o controle efetivo da geração, do armazenamento, do tratamento, da reciclagem e reutilização, do transporte, da recuperação e do depósito dos resíduos perigosos”.

O primeiro esforço mundial para tratar de resíduos perigosos foi a Convenção de Basileia.

Em 2002, foi aprovada pelo parlamento europeu uma legislação (Waste, Electric and Electronical Equipments) com o objetivo de repassar uma parte dos gastos com o descarte de tais produtos aos seus fabricantes, responsabilizando-os por coletar parte dos produtos que vendiam. A seguir segue uma tabela (Tabela 1) com a classificação dos eletroeletrônicos dados por esta diretiva.

Nessa vertente, em 2006, surgiu na União Europeia, uma diretiva para restringir a quantidade de substâncias perigosas e tóxicas que lá ingressavam, a chamada ROHS -

Restriction on the use of Hazardous Substances. A Diretiva 2002/95 da União Europeia no uso de certas substâncias tóxicas em equipamentos elétricos e eletrônicos (RoHS) levou à redução no uso de cádmio, chumbo, mercúrio, cromo hexavalente, bifenis polibrominados (PBB) e éteres difenis polibrominados (PBDE) em dispositivos produzidos no mercado europeu depois de junho de 2006. (SIDDHARTH PRAKASH, 2010)

Tabela 1 – Definições de lixo eletrônico

| Referência  | Definição   |
|---|---|
| Diretiva da União Europeia sobre WEEE (EU, 2002a) | Restos de equipamentos elétricos ou eletrônicos... Incluindo todos os componentes, subconjuntos de equipamentos e bens de consumo, que são parte de um produto na hora de ser descartado Diretiva 75/442/EEC, artigo 1(a) define e-waste como qualquer substância ou objeto que o dono descarta ou cujo descarte é requerido de acordo com as leis de provisão nacional em vigor. |
| Basel Action Network (BAN) Puckett ; Smith (2002) | E- waste* compreende uma ampla e crescente categoria de dispositivos eletrônicos, indo desde grandes dispositivos eletrodomésticos, como geladeiras, condicionadores de ar, celulares, estéreos e eletrônicos consumidos até computadores, produtos estes descartados por seus usuários.  |
| OECD (2001)                                       | Qualquer dispositivo que executa função específica que utiliza energia elétrica e que tenha alcançado o fim de sua vida-útil  |
| SINHA (2004)                                      | Equipamento elétrico que executa função específica e que não satisfaz mais o corrente usuário para seu propósito original.  |
| StEP (2005)                                       | A cadeia de suprimentos reversa que coleta produtos, não mais desejados por determinado usuário e remanufaturado para outros usuários, que recicla, ou que processa restos.   |

Fonte: adaptado de Widmer *et al*, 2005.

Pelas definições acima, é possível perceber que o lixo eletrônico abrange muitas categorias de dispositivos. Sendo assim, a União Europeia resolveu classificar todos seus elementos de acordo com características de uso, peso, volume e composição. Ao total são 10 categorias: eletrodomésticos grandes, eletrodomésticos pequenos, equipamentos de tecnologia da informação e telecomunicações, equipamentos de entretenimento, equipamentos de iluminação, ferramentas elétricas e eletrônicas, brinquedos e equipamentos esportivos, equipamentos médicos, instrumentos de monitoramento e distribuidores automáticos.

Quadro 1 – Categorias de REE segundo União Europeia

| <b>Categorias de REEE</b>  | <b>Lista de Produtos</b>  |
|--|---|
| <b>Eletrrodomésticos grandes</b>   | Grandes aparelhos de refrigeração; refrigeradores; freezers; máquinas de lavar e secar roupa; máquinas de lavar louça; fogões e chapas elétricas; micro-ondas; aparelhos de aquecimento elétrico; radiadores elétricos; ventiladores elétricos; aparelhos de ar condicionado; exaustores.   |
| <b>Eletrrodomésticos pequenos</b>  | Aspiradores de pó; varredores de tapete; máquinas de costura e tecelagem e outras máquinas para produtos têxteis; ferros elétricos e outros aparelhos para tratar o vestuário; torradeiras, fritadeiras, moinhos, máquinas de café e aparelhos para abrir ou fechar recipientes ou embalagens; facas elétricas, máquinas de cortar cabelo, secadores de cabelo, escovas de dente elétricas, aparelhos de barbear, relógios. |
| <b>Equipamentos de Tecnologia da Informação</b>  | Mainframes; minicomputadores, impressoras, computadores pessoais (CPU, mouse, tela e teclado incluídos), laptops, notebook, notepad, impressoras, equipamentos de fotocópia; máquinas de escrever elétricas e eletrônicas; calculadoras; terminais de usuário e sistemas; fac-símile; telex; telefones, telefones celulares, sistemas de atendimento automático.  |
| <b>Equipamentos de Entretenimento</b>  | Aparelhos de rádio, TV; câmeras de vídeo; gravadores de vídeo; gravadores hi-fi; amplificadores de áudio, instrumentos musicais; outros produtos ou equipamentos para fins de registro ou de reprodução de com ou imagem.   |
| <b>Equipamentos de Iluminação</b>  | Luminárias para lâmpadas fluorescentes, com exceção dos aparelhos de iluminação doméstica; lâmpadas fluorescentes; lâmpadas fluorescentes compactas; lâmpadas de alta intensidade de descarga, incluindo lâmpadas de sódio de pressão, de iodetos, de sódio de baixa pressão, iluminação ou equipamento com a finalidade de difundir ou controlar a luz, com exceção das lâmpadas de incandescência.                        |
| <b>Ferramentas Elétricas e Eletrônicas (com exceção das ferramentas de grande escala industrial)</b> | Brocas; serras, máquinas de costura, equipamentos para torner, lixar, triturar, serrar, cortar, tosar, brocar, fazer furos, puncionar, sobrar, encurvar, ou semelhantes, ferramentas para rebitar, pregar ou aparafusar; ferramentas para solda; equipamentos para pulverizar, espalhar; ferramentas para cortar arbustos   |
| <b>Brinquedos e Equipamentos Esportivos</b>  | Trens elétricos ou carros de corrida, consoles de vídeo game, vídeo game, bicicletas ergométricas; equipamento desportivo com componentes elétricos e eletrônicos.  |
| <b>Equipamentos Médicos</b>  | Equipamentos de radioterapia; cardiologia; diálise; ventiladores pulmonares, equipamentos de medicina nuclear, equipamentos de laboratório para diagnóstico in vitro; analisadores freezers; teste de fertilização.   |
| <b>Instrumentos de Monitoramento</b>   | Detectores de fumaça; reguladores de aquecimento; termostatos; aparelhos de medição, pesagem ou regulação, monitoramento e outros instrumentos de controle.   |
| <b>Instrumentos de Monitoramento</b>   | Distribuidores automáticos de bebidas e garrafas, de produtos sólidos, de dinheiro e todos os demais aparelhos que forneçam automaticamente qualquer produto.   |

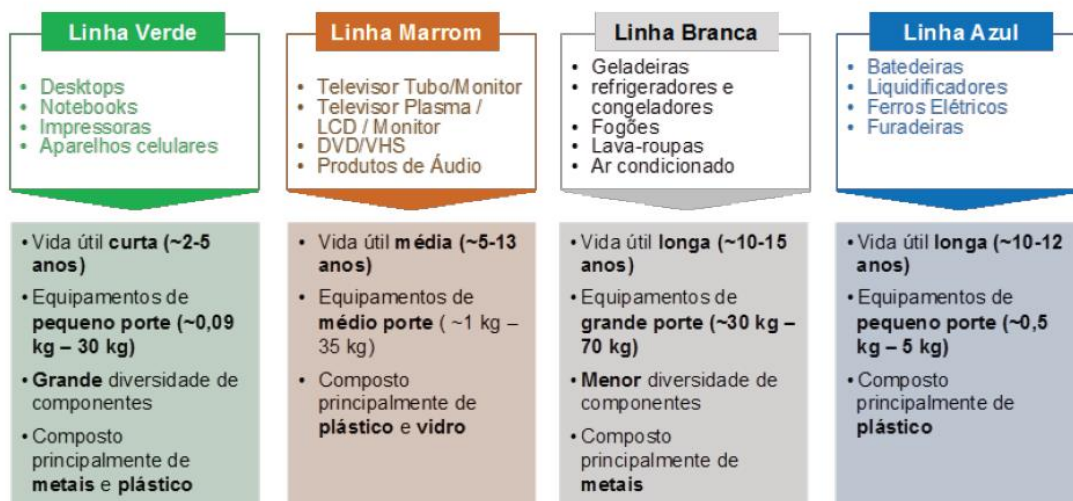
Fonte: União Europeia (2002). *apud* SANTOS (2012).

Para o Brasil, de acordo com estudo realizado por ABDI (2012), utiliza-se uma classificação simplificada, que abrange quatro categorias, e reúne os eletroeletrônicos de acordo com funções, composição e peso semelhantes: linha verde, linha marrom, linha branca e linha azul.

Na categoria Linha Verde estão inclusos itens de informática e telecomunicações, como *notebooks*, *desktops*, impressoras, *scanners*, *modems* e roteadores, *tablets*, *smartphones* e outros aparelhos celulares. Estes equipamentos são predominantemente compostos de plástico e metais, tendo vida útil reduzida em relação a outros eletroeletrônicos, de 2 a 5 anos

e grande variedade de componentes. Devido à constante evolução tecnológica e à expansão das tecnologias de informação é crescente a produção de equipamentos desta linha. A figura 1 resume as características de cada uma das linhas (verde, marrom, branca e azul) de eletroeletrônicos.

Figura 1 – Linhas para classificação dos equipamentos eletroeletrônicos



Fonte: ABDI, 2012.

O problema primário associado ao gerenciamento do lixo eletrônico é sua quantidade continuamente em crescimento; o problema secundário é sua disposição ambiental e cientificamente correta, que é uma questão bastante crítica. (WATH, 2010).

Ainda de acordo com Wath (2010), gerenciar essa quantidade crescente de lixo eletrônico efetivamente e eficazmente – em termos de custos e de impactos ambientais – é uma tarefa complexa. É importante notar que muitos países já desenvolveram tecnologias de triagem, reciclagem e acondicionamento de seus resíduos eletroeletrônicos, enquanto outros ainda estão decidindo onde depositar seu lixo tecnológico.

### 2.1.1 Possíveis contaminantes presentes em eletroeletrônicos

Um dos aspectos relevantes decorrentes da disposição inadequada de resíduos eletroeletrônicos em aterros sanitários são os possíveis metais contaminantes presentes na composição destes equipamentos, cujos efeitos globais ainda são desconhecidos. No Quadro 2, a seguir, se encontram alguns dos principais metais componentes, possíveis doenças que provocam e onde são encontrados.

Quadro 2 – Contaminantes presentes em eletroeletrônicos e seus efeitos à saúde

|                 |  |  |
|-----------------|--|--|
| <b>Alumínio</b> | Alguns autores sugerem existir relação da contaminação crônica do alumínio como um dos fatores ambientais da ocorrência de mal de Alzheimer.   | Condutores; Tubo de raios catódicos de monitores; Placas de circuito impresso  |
| <b>Bário</b>    | Provoca efeitos no coração, constrição dos vasos sanguíneos, elevação da pressão arterial e efeitos no sistema nervoso central.  | Painel frontal do CRT  |
| <b>Cádmio</b>   | Acumula-se nos rins, fígado, pulmões, pâncreas, testículos e coração; possui meia-vida de 30 anos nos rins; em intoxicação crônica pode gerar descalcificação óssea, lesão renal, enfisema pulmonar, além de efeitos teratogênicos (deformação fetal) e carcinogênicos (câncer).   | Usado em tomadas e interruptores; em baterias recarregáveis para notebooks; como estabilizante em composições de PVC para fiação isolante térmica. |
| <b>Chumbo</b>   | É o mais tóxico dos elementos; acumula-se nos ossos, cabelos, unhas, cérebro, fígado e rins; em baixas concentrações causa dores de cabeça e anemia. Exerce ação tóxica na biossíntese do sangue, no sistema nervoso, no sistema renal e no fígado; constitui-se veneno cumulativo de intoxicações crônicas que provocam alterações gastrintestinais, neuromusculares e hematológicas, podendo levar à morte.  | Usado em solda elétrica primária nos circuitos impressos (líquido) e em tubos de raios catódicos (sólido).   |
| <b>Cobre</b>    | Intoxicação sob a forma de lesões no fígado.   | Presente em vários componentes eletroeletrônicos, principalmente sob a forma de fios   |
| <b>Cromo</b>    | Armazena-se nos pulmões, pele, músculos e tecido adiposo, pode provocar anemia, alterações hepáticas e renais, além de câncer do pulmão.   | Atualmente nenhum equipamento deve ter concentração de Cromo superior a 0,1% em massa, segundo a EU.   |
| <b>Mercúrio</b> | Atravessa facilmente as membranas celulares, sendo prontamente absorvido pelos pulmões. Possui propriedades de precipitação de proteínas (modifica as configurações das proteínas), sendo suficientemente grave para causar um colapso circulatório no paciente, levando à morte. É altamente tóxico ao homem, sendo que doses de 3g a 30g são fatais, apresentando efeito acumulativo e provocando lesões cerebrais, além de efeitos de envenenamento no sistema nervoso central e teratogênicos. | Usado no dispositivo que ilumina telas de LED; já foi usado em tomadas de mainframes antigos ; baterias antigas podem conter mercúrio.             |
| <b>Níquel</b>   | Carcinogênico (atua diretamente na mutação genética).  | Placas de circuito impresso  |
| <b>Prata</b>    | 10g na forma de Nitrato de Prata são letais ao ser humano.   | Placas de circuito impresso  |

Fonte: ABDI (2012); Santa Catarina(2014) com adaptações

Tsydenova; Bengtsson (2011), em um estudo sobre os riscos químicos associados à disposição final de eletroeletrônicos, afirmam que os dados sobre impactos ambientais e ocupacionais desses resíduos em países desenvolvidos estão fragmentados. Segundo eles, há poucos estudos em ambientes de trabalho monitorando dados e praticamente nenhum estudo dos efeitos da exposição ocupacional a agentes químicos associados ao lixo eletrônico. A reciclagem de lixo eletrônico é uma indústria emergente e em evolução e, seus riscos parecem ter sido negligenciados até agora.

Dados confiáveis na emissão de produtos químicos que merecem preocupação no ambiente interno de instalações de reciclagem de lixo eletrônico são requeridos com o objetivo de dar suporte à medição de risco e estabelecer orientações específicas para a indústria (locais de trabalho com riscos permissíveis, limites de exposição ocupacional etc.) que parecem estar faltando no momento. Tais dados também seriam úteis no desenho (modelagem, fluxo) dos processos de reciclagem para evitar/mitigar os riscos de saúde ocupacionais. Há também uma falta de estudos quantificando (mensurando) o impacto da reciclagem do lixo eletrônico no ambiente externo. Monitorar o meio ambiente externamente às instalações de reciclagem é necessário para se assegurar se está presente algum tipo de risco para o ambiente e para o público em geral (TSYDENOVA; BENGTSSON, 2011).

Ao mesmo tempo em que os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos apresentam riscos de contaminação ambiental dos solos e lençóis freáticos próximos a onde foram dispostos e riscos à saúde de seres vivos, também apresentam prejuízos econômicos decorrentes da deposição de plásticos, materiais ferrosos e metais preciosos em aterros sanitários, diminuindo sua vida útil. Medidas que promovam uma destinação mais adequada a tais resíduos, encaminhando-os ao desmanche, reaproveitando os metais preciosos presentes nos materiais e, adicionalmente, economizando energia em processos de extração de matéria-prima de tais materiais e gerando uma nova atividade econômica, reduzindo os danos causados ao meio ambiente. O quadro 3, extraído de Santos (2012), exemplifica bem os riscos e benefícios do gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos.

Quadro 3 – Consequências ambientais, sócias e econômicas relacionadas à gestão dos REEE

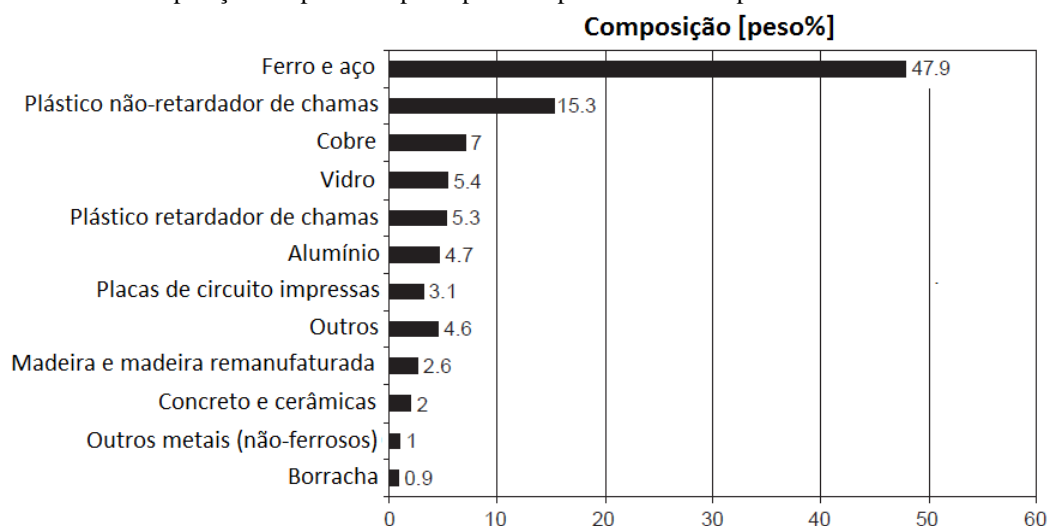
| Dimensão         | Autor   | Possíveis Implicações/Consequências  |
|------------------|---|--|
| <b>Ambiental</b> | Pucket et al (2002)<br>Huo et al. (2007)<br>Williams et al. (2008)<br>UNESCO (2008)   | Emissões de toxinas em aterros e lixões a céu aberto.<br>Contaminação do solo, do ar e da água.<br>Contaminação de rios e águas subterrâneas com as substâncias tóxicas e metais pesados.<br>Contaminação dos seres humanos.<br>Redução da utilização de matérias-primas virgens.  |
| <b>Social</b>    | Haque et al (2000)<br>Tong e Wang (2004)<br>Huo et al. (2007)<br>Labuschagne et al (2005)<br>UNESCO (2008)<br>Kahhat ; Williams (2009)<br>Sarkis et al (2010) | Geração de grande número de empregos informais, principalmente de comunidades carentes.<br>Práticas nocivas à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente.<br>Não apresenta riscos potenciais à saúde humana (se adotada práticas adequadas de reciclagem)<br>Reutilização de computadores<br>Doação de computadores usados para comunidades e associações, gerando inclusão digital.   |
| <b>Econômica</b> | Haque et al (2000)<br>Baud et al (2001)<br>UNESCO (2008)<br>Kahhat et al (2008)   | Extração de metais preciosos e demais matérias-primas<br>Reaproveitamento de componentes<br>Redução de custos ao adquirir matérias-primas recicladas em comparação com matérias-primas virgens.<br>Criação de organizações (formais e informais), na reciclagem, na reutilização e também no mercado de segunda mão dos equipamentos eletrônicos.<br>Criação de organizações (formais e informais) de reciclagem e reutilização de equipamentos. |

Fonte: Santos, 2012.

## 2.2 A evolução da legislação mundial sobre meio ambiente e resíduos perigosos

Com a evolução tecnológica e o crescimento do número de computadores, foram estudados os principais componentes presentes nestes equipamentos, de acordo com o Gráfico 1, visando um melhor aproveitamento ou reciclagem de tais componentes.

Gráfico 1 – Composição em peso dos principais componentes de computadores



Fonte: Widmer *et al*, 2005.

Com o surgimento dessa legislação – a diretiva da União Europeia -, o tratamento dos resíduos sólidos, que era de fim-de-linha, passou a ser de responsabilidade dos



fabricantes – ou seja, os fabricantes foram responsabilizados pelos impactos ambientais causados pelos bens produzidos em todo o ciclo de vida do produto, desde a extração das matérias-primas até a reciclagem, o reúso e a disposição final destes. Nesse contexto, a Responsabilidade Estendida ao Produtor (REP) traz instrumentos como diferentes tipos de taxas e pagamentos de reciclagem, como taxa de reciclagem avançada, mandatos de recolha de produtos, taxas para matérias-primas virgens e combinação destes instrumentos (NNOROM; OSIBANJO, 2008). Entre os diversos tipos de REP podem ser citados:

- responsabilidade ambiental: esta se refere à responsabilidade por danos ambientais causados comprovadamente pelo produto em questão. A extensão da responsabilidade é determinada pela legislação e pode englobar diferentes partes do ciclo de vida do produto, incluindo o uso e a disposição final. O produtor é responsável pelo dano ambiental causado pelo produto em questão;

- responsabilidade econômica: isto significa que o produtor vai cobrir todas ou grande parte das despesas, por exemplo, para a coleta, reciclagem ou disposição final dos produtos que ele fabrica. Estas despesas podem ser pagas diretamente pelo produtor ou por uma taxa especial;

- responsabilidade física: o fabricante está envolvido no gerenciamento físico dos produtos e de seus efeitos. Isso pode ir desde o desenvolvimento da tecnologia para gerenciar o sistema de “take-back” (pegar de volta) para coleta e gerenciamento/disposição dos produtos;

- propriedade: o fabricante pode também manter a posse dos seus produtos pelo seu ciclo de vida e, conseqüentemente, estar ligado a problemas ambientais do produto. Neste caso, o produtor assume tanto a responsabilidade física quanto a econômica. Neste cenário, o produto parece ser alugado ao consumidor, sendo que estes compram o uso do produto;

- responsabilidade de informação: o produtor é responsável por prover informações sobre o produto e seus efeitos nos vários estágios do ciclo de vida. Ou seja, o produtor vai prover informações dos componentes ou da lista de materiais para reduzir o custo de terceiras-partes envolvidas na reciclagem de pós-consumo.

### 2.3 Situação do Brasil em Termos de Tecnologia de Reciclagem

De acordo com o relatório publicado pelas Organizações Unidas – Schlupep *et al* (2009), o Brasil dispõe de alguns canais bem estabelecidos para a reciclagem de eletroeletrônicos, mas ainda tem parte do setor dominado em pequena/média escala por canais informais. Apesar dessas análises, os relatantes afirmaram que o Brasil dispõe de informações escassas sobre os resíduos eletroeletrônicos; as informações recolhidas basearam-se em uma missão de uma semana feita em outubro de 2008, e estas informações são preliminares e estão incompletas.

Com relação à política e à legislação, a falta de uma política de gerenciamento de resíduos em nível federal pode ser vista como um grande obstáculo para o desenvolvimento de uma regulação de resíduos mais específica. (SCHLUEP *et al*, 2009). Entretanto, atualmente, com a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, este problema pode ser contornado.

A reciclagem de resíduos eletroeletrônicos presentes no Brasil é especializada em materiais fracionados, que têm um alto valor agregado (como placas de circuitos impressos, aço não oxidável, componentes contendo cobre etc.). No entanto, acredita-se que a reciclagem de lixo eletrônico é feita de forma a se aproveitar ao máximo seus rendimentos econômicos, não priorizando aspectos ambientais.

Para finalizar, o estudo concluiu que o lixo eletrônico não parece ser uma prioridade para a associação federal da indústria, que representa a maioria das indústrias produtoras e montadoras. Além disso, um sistema de lixo eletrônico com uma taxa de reciclagem adicional parece ser muito impopular, pois o sistema brasileiro de impostos já impõe altos encargos aos produtores e consumidores.

O quadro 4 revela a situação de vários países com relação às etapas (formais e informais) de reciclagem de eletroeletrônicos. Pode-se perceber que, no Brasil, tecnologias mais avançadas, como processamento hidrometalúrgico e pirometalúrgico, não têm informações. Já a exportação de CRTs é um processo inexistente no país (SCHLUEP *et al*, 2009).

Quadro 4 – Processos de reciclagem de eletroeletrônicos na América Latina e no mundo

| Países  | África do Sul | Quênia | Uganda | Marrocos | Senegal | Peru | Colômbia | México | Brasil | Índia | China |
|---|---------------|--------|--------|----------|---------|------|----------|--------|--------|-------|-------|
| <b>Informal</b>   |               |        |        |          |         |      |          |        |        |       |       |
| Coleta  | X             | X      | X      | X        | X       | X    | X        | X      | X      | X     | X     |
| Desmonte manual   | X             | X      | X      | X        | X       | X    | X        | X      | X      | X     | X     |
| Queima a céu aberto para recuperar/concentrar metais                              | X             | X      | X      | X        | X       | X    | X        | X      | X      | X     | X     |
| Desmanche da solda de PCIs  | O             | O      | O      | O        | O       | O    | O        | NA     | NA     | X     | X     |
| Extração de ouro de PCIs  | O             | O      | O      | O        | O       | O    | O        | NA     | NA     | X     | X     |
| Descarte a céu aberto   | X             | X      | X      | X        | X       | X    | X        | X      | X      | X     | X     |
| <b>Formal</b>   |               |        |        |          |         |      |          |        |        |       |       |
| Coleta residencial  | X             | X      | O      | X        | O       | X    | X        | X      | X      | X     | X     |
| Coleta em empresas  | X             | O      | O      | O        | O       | O    | O        | NA     | NA     | X     | X     |
| Desmanche manual  | X             | X      | O      | X        | O       | X    | X        | X      | X      | X     | X     |
| Trituramento de bens da linha branca (sem retirada de CFC, HCFC)                  | X             | NA     | NA     | X        | NA      | NA   | NA       | X      | X      | X     | X     |
| Processamento hidrometalúrgico em instalações locais                              | X             | O      | O      | O        | O       | O    | O        | NA     | NA     | X     | X     |
| Processamento pirometalúrgico em metalúrgicas locais                              | O             | O      | O      | O        | O       | O    | X        | NA     | NA     | X     | X     |
| Exportação de PCIs  | X             | X      | O      | O        | O       | X    | O        | X      | X      | X     | X     |
| Exportação de CRTs  | O             | X      | O      | O        | O       | O    | O        | O      | O      | O     | O     |
| Disposição em aterros de resíduos sólidos   | X             | X      | X      | X        | X       | X    | X        | X      | X      | X     | X     |
| Disposição em aterros de resíduos perigosos                                       | X             | O      | O      | O        | O       | NA   | X        | NA     | NA     | X     | X     |
| Disposição em incineradores   | X             | O      | O      | O        | O       | NA   | NA       | NA     | NA     | X     | X     |
| <b>X = processo às vezes faz parte da cadeia de reciclagem do lixo eletrônico</b> |               |        |        |          |         |      |          |        |        |       |       |
| <b>O = processo inexistente no país</b>   |               |        |        |          |         |      |          |        |        |       |       |
| <b>NA = nenhuma informação</b>  |               |        |        |          |         |      |          |        |        |       |       |

Fonte: Schlupe *et al*, 2009.

### 2.3 Logística Reversa

A logística reversa pode ser entendida como o processo de planejamento, implementação e controle da eficiência, do custo efetivo do fluxo de matérias-primas, estoques em processo, produtos acabados e informações relacionadas do ponto de consumo ao ponto de origem com objetivo de re-agregar valor ou efetuar o descarte adequadamente (ROGERS AND TIBBEN-LEMBKE, 1999 *apud* LEITE, 2009).

A lei 12.305/2010, ou Política Nacional de Resíduos Sólidos, capítulo II, artigo 3º, § XII define logística reversa como:

“Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.”

Para Robinson (2009), em um dado país, o número total de computadores e outros potenciais itens de lixo eletrônico estão fortemente correlacionados com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do país, porque itens elétricos e eletrônicos são essenciais para o funcionamento de todas as economias, menos as mais primitivas.

Entre outras dificuldades para a logística reversa de eletroeletrônicos, LI (2004) cita diversos fatores que dificultam o processo de logística reversa, dentre os quais: fontes diversificadas, processo de retorno complicado e estrutura de custos complexa. As fontes diversificadas dizem respeito à ampla localização geográfica dos diversos produtos eletroeletrônicos existentes; já o processo de retorno complicado se refere ao modelo dos equipamentos devolvidos, ao seu estado de conservação e também ao processo de transporte do consumidor ao destino de devolução, processo este em que o bem deve ser bem acondicionado em embalagem provinda do próprio consumidor (que muitas vezes descarta a embalagem original) e que pode ser danificado ao longo do trajeto. O último processo diz respeito à receita devolvida ao consumidor que, muitas vezes, é difícil de ser mensurada. Complementarmente, a recuperação/remanufatura dos REEE é desafiadora pela variedade de modelos dos produtos, dos diferentes tamanhos, dos problemas de compatibilidade entre eles etc. (KUMAR *et al*, 2005).

A dificuldade em se organizar uma estrutura de logística reversa tem relação com suas diferenças entre a logística convencional, que já é um desafio. De acordo com o Quadro 5, pode-se citar a qualidade não-uniforme do produto, a destinação e o descarte não claros, a falta de visibilidade dos custos reversos, entre os principais fatores que caracterizam a logística reversa.

Quadro 5 – Diferenças entre logística direta e logística reversa

| <b>Logística direta</b>                               | <b>Logística reversa</b>   |
|---|--|
| Previsão relativamente direta                         | Previsão mais difícil  |
| De um para vários pontos de distribuição              | Muitos para um ponto de distribuição                                 |
| Qualidade do produto uniforme                         | Qualidade do produto não uniforme                                    |
| Embalagem do produto uniforme                         | Embalagem do produto geralmente danificada                           |
| Destinação/ rota clara                                | Destinação/ rota não clara   |
| Opções de descarte claros                             | Descarte não claro   |
| Preço relativamente uniforme                          | Preço depende de vários fatores                                      |
| Importância da velocidade reconhecida                 | A velocidade, geralmente, não é considerada uma prioridade           |
| Custo de distribuição direta facilmente reconhecíveis | Custos reversos são menos visíveis, diretamente                      |
| Gerenciamento de inventário consistente               | Gerenciamento de inventário não consistente                          |
| Ciclo de vida do produto gerenciável                  | Questões referentes ao ciclo de vida do produto são mais complicadas |
| Negociações diretas entre as partes envolvidas        | Negociações complicado por diversos fatores                          |
| Métodos de marketing bem conhecidos                   | Marketing complicado por diversos fatores                            |
| Visibilidade do processo mais transparente            | Visibilidade do processo menos transparente                          |

Fonte: (Reverse Logistics Council, 2007 *apud* MIGUEZ, 2007)

Ao se realizar um estudo de implantação de usina de triagem de resíduos eletroeletrônicos, cada uma dessas diferenças deve ser levada em consideração na hora de se escolher a dimensão da usina e sua localização.

Bouzon *et al* (2013) discutem as barreiras presentes na aplicação de logística reversa em uma companhia localizada no sudeste do Brasil especializada em produtos em fim de vida como refrigeradores, condicionadores de ar e impressoras. Segundo eles, as cinco maiores barreiras para operação da logística reversa na companhia são: 1) os impostos e as taxas aplicados a produtos reciclados são equivalentes aos aplicados a produtos novos, não trazendo nenhuma motivação para incentivar as empresas a reciclarem seus produtos ou consumirem produtos reciclados; 2) os pontos de coleta de produtos eletroeletrônicos em fim-de-vida útil são extremamente dispersos, além de a população brasileira não estar totalmente a par das opções de destino final de seus produtos; 3) a falta de responsabilidade compartilhada entre os atores da cadeia reversa de eletroeletrônicos, gerando uma distribuição desigual de custos para certos elos da cadeia; 4) a presença de muitos intermediários na cadeia reversa aumenta os custos do processo de logística reversa; e 5) por

consequência das barreiras anteriores, há um aumento dos custos totais na cadeia reversa (Figura 2).

Figura 2 – Barreiras para aplicação de logística reversa



Fonte: Bouzon *et al.*, 2013.

As opções de destinação final de REEE são enumeradas no Quadro 6 e constam de cinco alternativas: reuso, reforma, remanufatura, reciclagem e disposição. O quadro também define cada uma destas etapas.

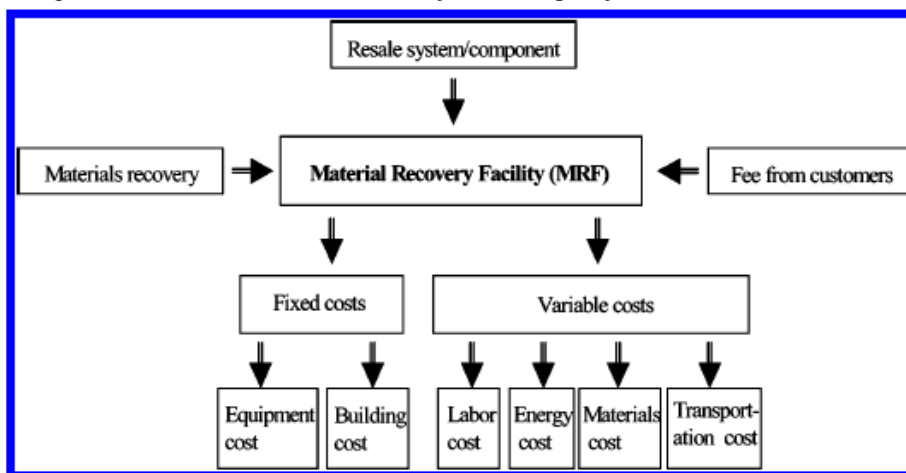
Quadro 6 – Atividades de destino de produtos descartados

| Processos           | Definições  |
|---------------------|---|
| <b>Reúso</b>        | Representa as atividades de verificação da possibilidade de continuação do uso do produto e revenda ou doação deles, em sua forma original.   |
| <b>Reforma</b>      | É a estratégia de entender o uso dos produtos ou seus componentes através de reparo de manutenção para posterior venda.   |
| <b>Remanufatura</b> | Consiste na desestruturação do produto para reutilizar seus componentes em outros ou novos produtos   |
| <b>Reciclagem</b>   | Inclui desmontagem, trituração, separação, tratamento, recuperação e reprocessamento dos materiais contidos no produto ou componentes para torna-los matérias-primas para novos produtos. |
| <b>Disposição</b>   | Compreende a operação de incineração (com ou sem recuperação de energia) ou envio aos aterros sanitários.   |

Fonte: Jofre; Morioka, 2005, p.25; Rose; Beiter, Ishii, 1999. P.03 *apud* HORI (2010).

Na Figura 3 se encontram os custos e as receitas de operação de uma instalação de recuperação de materiais (MRF – Material Recovery Facility). Custos, que consistem de trabalho, instalações, equipamentos, energia, materiais, e transporte, são mostrados como flechas saindo da caixa de MRF. As flechas apontando para dentro do MRF representam as fontes de receita de MRF. Receitas para uma MRF de lixo eletrônico consistem em revenda de sistemas/ componentes, recuperação de materiais e taxas dos clientes.

Figura 3 – Custos e receitas de instalação de recuperação de materiais



Fonte: Kang, 2006.

## 2.4 Avaliações de Viabilidade de Reciclagem de Resíduos Rletrônicos

IBAM (2012), em estudo sobre a viabilidade econômica de implantação de uma cadeia reversa para gerenciamento de resíduos de embalagens, determinou os gastos necessários para construção e operação de Galpões de Triagem (GTB), Central de Conferência e Escala (CCE) e Locais de Entrega Voluntária (LEV). Para cada uma dessas unidades, há três categorias: até 30.000, 100.000 e 250.000 habitantes; e acima de 250.000 habitantes, os módulos são multiplicados até atender a demanda do município.

Siddharth Prakash (2010) realizaram uma avaliação socioeconômica e estudo de viabilidade de gerenciamento do lixo eletrônico em Ghana. O estudo é composto de duas partes principais: a primeira delas integra a avaliação socioeconômica da remanufatura informal e do setor de reciclagem do lixo eletrônico em Ghana; a segunda parte compreende a análise e a viabilidade das tecnologias de reciclagem e modelos de negócios, aplicados ao modelo de Ghana.

Blaser; Schluep (2011) realizaram um estudo de viabilidade econômica da reciclagem do lixo eletrônico no Marrocos, a pedido das empresas Hewtlet-Packward e GIZ.

Canada (2012) analisou cinco métodos para escolha da melhor maneira de gerenciar o lixo eletrônico dos estados do noroeste do Canadá: Responsabilidade Extendida do Produtor (REP) com financiamento e operação de responsabilidade exclusivas do produtor; REP direcionada, com a possibilidade de o governo oferecer instalações para o armazenamento e o processamento dos REEE; responsabilidade compartilhada: setor público operando com financiamento dos fabricantes; responsabilidade compartilhada: responsabilidade operacionais divididas (divisão entre coleta e reciclagem) e gestão

responsável do produto: operação realizada pelo setor público. Para isso, foram utilizados três métodos para estimativa dos resíduos gerados nos anos subsequentes (2016-2020).

Já Laissaoui; Rochat (2008), em diagnóstico da situação do lixo eletrônico no Marrocos, propôs algumas sugestões para fortalecer a infraestrutura da cadeia de reciclagem desse resíduo em cada uma das etapas da reciclagem: coleta, transporte, armazenamento, desmanche, esmagamento/separação mecânica e gerenciamento de substâncias perigosas. Também foram feitas recomendações para a regulamentação; para a informação, geração de conhecimento e educação da população; para obtenção e gerenciamento de informações sobre o sistema; e recomendações sobre a responsabilidade dos produtores de REE, para melhores práticas de reaproveitamento, reciclagem e disposição final do lixo eletrônico. As propostas de infraestrutura estão listadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Medidas para fortalecimento da infraestrutura da cadeia de reciclagem

| Processo                                      | Propostas  |
|---|--|
| <b>Coleta</b>                                 | - organizar um circuito de coleta para empresas e agências governamentais e um circuito de coleta para usuários domésticos, centros de coleta municipais etc.  |
| <b>Transporte</b>                             | - encorajar a aquisição de meios de transporte por operadores do setor (catadores/motocicletas, vendedores/ vans etc.) por meio de empréstimos com taxas subsidiadas e acessíveis, pagamento de instalações etc.   |
| <b>Armazenamento</b>                          | - facilitar a aquisição de terras para a construção de galpões para companhias e vendedores operando nesta área, com o objetivo de melhorar as condições de armazenamento (mais espaço, zonas especializadas, preços atrativos etc.). Isto faria com que armazéns abertos fossem evitados (chuva, vazamentos).   |
| <b>Desmanche</b>                              | - encorajar iniciativas existentes e melhorar a qualidade ambiental destas<br>- organizar o setor informal por meio de cooperativas de desmanche e oferecer operadores técnicos e suporte financeiro (treinamento, equipamentos profissionais, equipamentos de proteção individual etc.).  |
| <b>Esmagamento /separação mecânica</b>        | - desenvolver e disseminar o processo ECOTECHNO/ENIM (processo seco), melhorando sua qualidade ambiental;<br>- promover a metalurgia do setor marroquino ou exportar para firmas especializadas. Examinar cada ator da cadeia reversa de REEE, caso por caso;<br>- realizar uma análise da tecnologia: a troca das televisões LCD vai gerar um grande volume de televisões de tubos catódicos. O processamento de tecnologia deve ser melhorado com o objetivo de processar as novas demandas (LCDs, LED etc.) |
| <b>Gerenciamento de substâncias perigosas</b> | - estudar a possibilidade e o custo de ter estas substâncias tratadas por plantas de tratamento de lixo perigoso ou em aterros sanitários<br>- promover iniciativas para reciclar os REEE por produtos, como plástico (polímero impermeável desenvolvido pelo ENIM/ ECOTECHNO).  |

Fonte: Laissaoui; Rochat, 2008.

ABDI (2012) realizou um estudo de modelagem de resíduos eletroeletrônicos e a viabilidade técnica e econômica da implantação de logística reversa nesse setor. Para isso, o estudo considerou oito principais variáveis-chave para compor o modelo: fonte dos recursos para viabilização, responsabilidade pelos produtos órfãos, metas de recolhimento e reciclagem, grau de responsabilidade do Poder Público, tratamento do eletroeletrônico, reúso



no sistema de logística reversa, segregação do resíduo eletroeletrônico por marca, responsabilidade proporcional pelo REE e modelo de competição. A cada variável-chave foram associadas alternativas, de acordo com estudos feitos em outros países, para, em seguida, escolher a alternativa mais “proveitosa” ao cenário brasileiro (Quadro 8).

Quadro 8 – Variáveis –chave e alternativas consideradas para modelagem da cadeia de REEE brasileira

| Variável-chave                                      | Descrição  | Alternativas consideradas   |
|---|--|---|
| <b>A. Fonte dos recursos para viabilização</b>      | Refere-se à predominância da origem dos recursos para cobertura dos custos previstos na modelagem do sistema de logística reversa                              | 1. Taxa ou imposto<br>2. Fabricante/ Importador<br>3. Custos compartilhados                   |
| <b>B. Responsabilidade pelos produtos órfãos</b>    | Determina quem arca com o custo da logística reversa de eletroeletrônicos quando o fabricante ou importador for desconhecido                                   | 1. Poder Público<br>2. Fabricante/ Importador   |
| <b>C. Metas de recolhimento e reciclagem</b>        | Refere-se ao estabelecimento ou não de metas de recolhimento e reciclagem de REEE  | 1. Sem metas<br>2. Com meta de reciclagem<br>3. Com meta de recolhimento e reciclagem         |
| <b>D. Grau de responsabilidade do Poder Público</b> | Refere-se ao grau de envolvimento e responsabilidade do Poder Público na gestão, operação e viabilização do sistema de logística reversa de REEE               | 1. Legislador, regulamentador e fiscalizador<br>2. Atuante<br>3. Operador                     |
| <b>E. Tratamento do REEE</b>                        | Considera o tratamento a ser dado ao resíduo dentro do sistema de logística reversa  | 1. Mercadoria<br>2. Resíduo perigoso<br>3. Resíduo não-perigoso                               |
| <b>F. Reúso no sistema de logística reversa</b>     | Refere-se ao tratamento a ser dado ao reuso dentro do sistema de logística reversa   | 1. Não estimulado<br>2. Estimulado por campanhas<br>3. Viabilizado pelo sistema               |
| <b>G. Segregação do resíduo por marca</b>           | Determina se haverá segregação do resíduo eletroeletrônico por marca, suportando a determinação das responsabilidades referentes a cada fabricante/ importador | 1. Com segregação por marca<br>2. Monitoramento por amostragem<br>3. Sem segregação por marca |
| <b>H. Responsabilidade pelo REEE</b>                | Refere-se ao modelo de estabelecimento do volume de REEE sob a responsabilidade de cada fabricante   | 1. Individualizada<br>2. Definida proporcionalmente   |
| <b>I. Modelo de competição</b>                      | Refere-se ao grau de competição a ser estimulado na modelagem da logística reversa   | 1. Monopólio<br>2. Competitivo  |

Fonte: ABDI, 2012.

Para a escolha da fonte dos recursos para a viabilização foi escolhido o modelo de compartilhamento dos custos, ou seja, consumidor, comércio, fabricantes e importadores arcarão com os custos de processo de logística reversa. Já para a variável responsabilidade pelos produtos órfãos – aqueles importados ilegalmente para o país – o modelo não definiu ainda qual dos dois princípios serão utilizados: poluidor-pagador ou protetor-recebedor. Com relação às metas de recolhimento e reciclagem, foi definido que 100% dos REEE que forem recolhidos pelas organizações responsáveis deverão ser processados. O grau de responsabilidade do Poder Público será atuante, por meio do provimento de recursos para Pesquisa e Inovação, com financiamento para infraestrutura, campanhas etc. Para o

tratamento de REE, foi estipulado que o resíduo eletrônico só deverá ser descaracterizado ao chegar à recicladora, que deverá estar devidamente licenciada para tal. O reúso no sistema de logística reversa será possibilitado por meio da instrução dos usuários interessados nos pontos de descarte/recebimento ou centrais de atendimento. A segregação do resíduo por marca será feita pelo método da segregação por amostragem, que será medido nos centros de triagem com método definido de acordo com os fabricantes/importadores. A determinação da responsabilidade pelos REEE seria definida proporcionalmente, de acordo com a proporção de vendas de cada fabricante no ano anterior. Finalmente, para o modelo de competição, o modelo competitivo prevaleceu sobre o monopolista, com várias organizações gestoras responsáveis pelo recolhimento dos REEE.

O Quadro 9 resume as informações enumeradas no parágrafo anterior, assim como lista as alternativas consideradas para cada variável-chave: Fonte dos recursos para viabilização; Responsabilidade pelos produtos órfãos; Metas de recolhimento e reciclagem; Grau de responsabilidade do Poder Público; Tratamento dos REEE; Reúso no sistema de logística reversa; Segregação do resíduo por marca; Responsabilidade pelo REEE e Modelo de competição.

Quadro 9 - Variáveis –chave e alternativas definidas para modelagem da cadeia de REEE brasileira

| Variável-chave                                      | Descrição   | Alternativas consideradas   |
|---|---|---|
| <b>A. Fonte dos recursos para viabilização</b>      | Custos compartilhados   | Consumidor, comércio, fabricantes e importadores arcam com os custos de todo o processo.  |
| <b>B. Responsabilidade pelos produtos órfãos</b>    | A ser definido<br>1. Poder Público<br>2. Fabricante/ Importador | Deverá seguir os princípios preconizados pela PNRS: 1) poluidor-pagador e 2) protetor-recebedor.  |
| <b>C. Metas de recolhimento e reciclagem</b>        | Com meta de reciclagem  | 100% dos REE que entrarem no sistema estabelecido pelas organizações gestoras representantes de fabricantes e importadores deverão ser processadas.   |
| <b>D. Grau de responsabilidade do Poder Público</b> | Atuante   | Não opera o sistema, mas atua de forma a estimular o seu melhor funcionamento através de provimento de fonte de recursos para PD&I, financiamento para infraestrutura, campanha para reuso e recolhimento de REEE, entre outros.  |
| <b>E. Tratamento do REEE</b>                        | Resíduo não-perigoso  | REEE não deve ser descaracterizado até chegar à recicladora, que deverá estar devidamente licenciadas para processar sua destinação.  |
| <b>F. Reúso no sistema de logística reversa</b>     | Viabilizado pelo sistema  | Consumidor que declarar intenção de doar seu equipamento para reuso será instruído nos pontos de descarte/recebimento ou nas centrais de atendimento das gestoras.  |
| <b>G. Segregação do resíduo por marca</b>           | Monitoramento amostragem por                                    | REEE descartados via pontos de recebimento do sistema serão segregados por marcas. Deverão ser medidos por amostragem nos centros de triagem para fins de determinação de órfãos, encontro de contas com outras organizações gestoras e informação às autoridades competentes. Fica a critério dos fabricantes e importadores estabelecerem um sistema mais preciso de medição. |
| <b>H. Responsabilidade pelo REEE</b>                | Definida proporcionalmente                                      | Responsabilidade de cada fabricante determinada por sua proporção de vendas no ano anterior. O equilíbrio do sistema será realizado através de recomendações dos órgãos fiscalizadores.   |
| <b>I. Modelo de competição</b>                      | Competitivo   | Fabricantes e importadores se agrupam em organizações gestoras para estruturarem e gerirem a logística reversa, ficando a critério dos mesmos a escolha dos seus parceiros de logística e reciclagem; incentiva-se que mais de uma organização gestora seja criada.   |

Fonte: ABDI, 2012.

Outros pontos a serem destacados são as variáveis definidas em referências internacionais. Elas estão listadas abaixo:

1. Adesão
2. Número mínimo de coletas por ano
3. Estoque máximo do ponto de recebimento
4. Termo de doação
5. Impostos
6. População/ Pontos de recebimento

7. Otimização do frete primário
8. Taxa de reciclagem do REEE
9. Ganho de escala da reciclagem

Após as análises realizadas pelo estudo de ABDI (2012), foram listados os benefícios sociais, econômicos e financeiros advindos da efetiva implantação da logística reversa de eletroeletrônicos, como mostrado no Quadro 10.

Quadro 10 – Consequências sociais, econômicas e ambientais da reciclagem de REEE.

| <b>Sociais</b>   | <b>Econômicos</b>  | <b>Ambientais</b>   |
|--|--|---|
| Geração de empregos formais;<br>Fortalecimento das associações de catadores com geração de oportunidades de prestação de serviços ao sistema;<br>Promoção de uma maior conscientização da população quanto às questões ambientais relacionadas aos equipamentos eletroeletrônicos;<br>Minimização de problemas de saúde causados pelo manuseio incorreto de REE. | Maior retorno de matérias-primas advindas da reciclagem de REEE;<br>Fortalecimento da indústria da reciclagem pelo consequente aumento da demanda;<br>Desenvolvimento de conhecimento e tecnologias relacionada à reciclagem de REE. | Diminuição dos casos incorretos de descarte de REEE;<br>Melhoria da qualidade dos serviços de reciclagem e consequente melhor nível de rejeito nos aterros;<br>Redução de gasto energético por conta do uso de reciclados (por exemplo: o gasto de energia para reciclagem de alumínio é 95% menor que para sua produção primária). |

Fonte: ABDI, 2012.

## 2.5 Custos de implantação de usinas de triagem de REEE

Blaser; Schlupe (2011), no Marrocos, detalham como principais custos para a construção de um centro de reciclagem de resíduos eletroeletrônicos: mão-de-obra, custos de instalação, transporte e custos de fim de processamento. Eles também ressaltam que a variação nos preços dos metais tem grande influência na receita gerada pelo negócio e, portanto, no fluxo de caixa final.

É interessante que as atividades mais representativas para a disposição adequada de REEE sejam conhecidas, de forma que o processo se torne mais eficiente, com o passar do tempo e, também, mais econômico. O Quadro 11 lista etapas para se dispor adequadamente REEE, seus custos e a descrição de cada uma dessas etapas. As duas primeiras atividades, coleta e seleção e inspeção, estão presentes em praticamente todos os processos, podendo servir de referência para estudos posteriores.

Quadro 11 - Custos e suas descrições em cada uma das etapas da reciclagem de REEE

| Atividades  | Custos  | Descrições  |
|---|---|---|
| <b>Coleta</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Embalagens e dispositivos de movimentação</li> <li>▪ Armazém</li> <li>▪ Veículos de transporte</li> </ul>  | Pagamento pela movimentação de um bem entre pontos geográficos, incluindo-se os custos de mão-de-obra; aquisição, manutenção, combustível, seguro, licenciamento e depreciação de veículo de transporte; equipamentos de movimentação e instalação do armazém. Inclui também o custo de capital.  |
| <b>Seleção e Inspeção</b>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Centro de Inspeção e Seleção</li> <li>▪ Mão de obra</li> <li>▪ Armazém</li> <li>▪ Ferramentas e equipamentos para inspeção</li> </ul>              | Envolvem os desembolsos para instalação do centro de recebimento de resíduos, custo de capital investido ou aluguel do centro, aquisição e manutenção de equipamentos para testes e salários dos profissionais capacitados para realizar as inspeções e seleções. Para armazenagem, envolvem os custos com mão-de-obra, custos de aquisição, manutenção e depreciação dos equipamentos de movimentação. |
| <b>Reúso</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mão de obra</li> <li>▪ Embalagem</li> <li>▪ Armazém</li> </ul>   | Em geral, composto pelas ferramentas de inspeção dos produtos, desembolsos das embalagens para acondicionamentos dos produtos a serem revendidos e o salário da mão-de-obra para manuseio.  |
| <b>Reprocessamento (reforma, remanufatura e reciclagem)</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Centro de reprocessamento</li> <li>▪ Materiais</li> <li>▪ Energia</li> <li>▪ Mão de Obra</li> <li>▪ Ferramentas</li> <li>▪ Equipamentos</li> </ul> | Compostos pelos desembolsos para disponibilizar e manter instalações, equipamentos, custo de capital, materiais, energia, mão de obra, entre outros, para efetuação dos processos.  |
| <b>Disposição</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fornos de incineração</li> <li>▪ Tarifas de incineração e/ou aterramentos em aterros sanitários</li> </ul>   | Envolve os desembolsos na aquisição e instalação de fornos de incineração, custos de capital, energia e mão de obra. No caso de terceirização, pagamento de tarifas de incineração e/ou aterramentos dos resíduos.  |
| <b>Redistribuição</b>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Equipamentos de manuseio</li> <li>▪ Armazém</li> <li>▪ Veículos de transporte</li> <li>▪ Mão de obra</li> </ul>                                    | Valores despendidos para disponibilizar mão-de-obra, equipamentos de manuseio, embalagens, armazenamento e transporte dos produtos, componentes e matérias-primas resultantes das atividades de reprocessamento e reúso.  |

Fonte: Hori, 2010.

Blaser; Schluep (2012) analisaram a viabilidade econômica de uma usina de reciclagem de eletroeletrônicos na Tanzânia, composta de duas categorias principais: reciclagem e recondicionamento. Para a reciclagem são propostas quatro atividades: desmanche manual, transporte, processamento (que compreende reaproveitamento e disposição final) e administração. Para o recondicionamento, os processos são: triagem e teste do REEE coletados, recondicionamento dos equipamentos aptos ao uso e administração. Foram assumidas premissas para servir de base ao desenvolvimento do estudo de viabilidade econômica e foram escolhidos parâmetros para nortear o processo; tais parâmetros se encontram no Quadro 12.

Quadro 12 – Parâmetros para estimar custos dos centros de reciclagem e recondicionamento

| <b>RECICLAGEM</b>                            | <b>RECONDICIONAMENTO</b>                                    |
|--|---|
| Localização do centro de triagem             | Localização do centro de triagem                            |
| Escopo dos equipamentos do centro de triagem | Escopo dos equipamentos do centro de triagem                |
| Outros custos                                | Outros custos   |
| Esquema de coleta                            | Esquema de coleta   |
| Fator de receita                             | Fator de receita  |
| Salário mínimo                               | Salário mínimo  |
| Produtividade do desmanche                   | Preço dos produtos reconicionados (PC, laptop e impressora) |
| Preço de compra dos REEE                     | Produtividade da separação                                  |
| Preço das <i>commodities</i>                 | Produtividade da triagem                                    |
|  | Produtividade do recondicionamento                          |

Fonte: Blaser; Schluep, 2012.

### ***2.5.1 Situação no Brasil***

Foi investigado, por meio de literatura e consulta aos sítios eletrônicos de governos, a situação dos estados com relação à compatibilidade de suas leis estaduais relativas ao lixo eletrônico. Os resultados constam na Tabela 2.

Tabela 2 – Legislação referente aos eletroeletrônicos em estados brasileiros

| <b>Estado</b>              | <b>Legislação</b>                      | <b>Princípio</b>   |
|----------------------------|--|--|
| <b>Acre</b>                | não foi encontrada legislação estadual | -  |
| <b>Alagoas</b>             | não foi encontrada legislação estadual | -  |
| <b>Amapá</b>               | não foi encontrada legislação estadual | -  |
| <b>Amazonas</b>            | não foi encontrada legislação estadual | -  |
| <b>Bahia</b>               | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes são obrigados a implantar sistema de coleta para eletroeletrônicos                               |
| <b>Ceará</b>               | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Sem menção aos resíduos eletroeletrônicos  |
| <b>Espírito Santo</b>      | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Sem menção aos resíduos eletroeletrônicos  |
| <b>Goiás</b>               | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Menciona apenas resíduos eletroeletrônicos que contenham pilhas ou baterias (incompleto)   |
| <b>Maranhão</b>            | Lei Estadual N° 9.291, de 16/11/2010   | Os fabricantes, importadores e comerciantes são responsáveis pelo recolhimento de equipamentos de informática, baterias e outros tipos de produtos           |
| <b>Mato Grosso</b>         | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Os fabricantes ou importadores de produtos ou serviços que gerem resíduos especiais são responsáveis pelo gerenciamento desses resíduos.                     |
| <b>Mato Grosso do Sul</b>  | Lei Estadual N° 3.970, de 17/12/2010   | A responsabilidade pela destinação final é solidária entre as empresas que produzam, comercializem ou importem produtos e componentes eletroeletrônicos.     |
| <b>Minas Gerais</b>        | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Sem menção aos resíduos eletroeletrônicos  |
| <b>Pará</b>                | não foi encontrada legislação estadual | -  |
| <b>Paraíba</b>             | não foi encontrada legislação estadual | -  |
| <b>Paraná</b>              | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Sem menção aos resíduos eletroeletrônicos  |
| <b>Pernambuco</b>          | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Sem menção aos resíduos eletroeletrônicos  |
| <b>Piauí</b>               | não foi encontrada legislação estadual | -  |
| <b>Rio de Janeiro</b>      | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Sem menção aos resíduos eletroeletrônicos  |
| <b>Rio Grande do Norte</b> | Lei complementar N° 272, 03/03/2004    | Sem menção aos resíduos eletroeletrônicos  |
| <b>Rio Grande do Sul</b>   | Decreto Estadual N° 45.554, 19/03/2008 | Os fabricantes e importadores são responsáveis pela gestão ambiental e destinação final de produtos que contenham metais pesados                             |
| <b>Rondônia</b>            | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Sem menção aos resíduos eletroeletrônicos  |
| <b>Roraima</b>             | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Os fabricantes e os importadores são responsáveis pelo seu recolhimento, pela sua descontaminação e pela sua disposição final.                               |
| <b>Santa Catarina</b>      | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Sem menção aos resíduos eletroeletrônicos  |
| <b>São Paulo</b>           | Lei de eletrônicos                     | Fabricantes, importadores e comerciantes de equipamentos eletrônicos obrigados a fazer a logística reversa, reciclagem e deposição adequada desses produtos. |
| <b>Sergipe</b>             | Política Estadual de Resíduos Sólidos  | Os fabricantes, registrantes ou importadores dos produtos e bens, devem dispor os resíduos coletados pelos centros em locais destinados para esse fim.       |
| <b>Tocantins</b>           | não foi encontrada legislação estadual | -  |

Fonte: modificado e adaptado de Andueza, 2009.

## 2.6 Legislação brasileira sobre resíduos eletroeletrônicos

No Brasil, existem três instâncias que regulam a legislação: a federal, estadual e municipal. A seguir detalha-se cada uma delas de acordo com o tópico resíduos eletroeletrônicos.

### 2.6.1 *Legislação federal*

Segundo a lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que dispõe sobre o Política Nacional de Resíduos Sólidos:

[...] Art. 33. São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, *os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes* de:

I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;

II - pilhas e baterias;

III - pneus;

IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

**VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.**

De acordo com a referida lei, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos e seus componentes devem implantar mecanismos de retorno desses produtos após o uso.

### 2.6.2 *Legislação estadual*

Segundo a lei Nº 13.103, de 24 de Janeiro de 2001, constata-se que o Ceará ainda não dispõe de mecanismos legais explícitos para classificar os resíduos eletrônicos em resíduos perigosos, tampouco dispõe de fiscalização sobre o destino dado a esses resíduos.

### 2.6.3 *Legislação municipal*

Não foi encontrada referência à lei municipal que verse sobre resíduos sólidos perigosos em termos de usuários domésticos. A lei N.º 8.408, de 24 de dezembro de 1999 versa sobre produtores e operadores de resíduos sólidos (ou seja, usuários industriais).

## 2.7 **Estimativas de geração de lixo**

O Manual de Lixo Eletrônico (volume um), produzido pela UNEP (Schluep *et al*, 2010), propõe cinco diferentes metodologias para estimativa do inventário de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: “Time Step Method”, “Market Supply Method”, “Carnegie Mellon Method” e duas fórmulas de aproximação (Quadro 13).



Quadro 13 – Metodologias para estimativa do inventário de REEE

| Método                               | Requerimentos  | Restrições   |
|--------------------------------------|--|--|
| <b>Time Step</b>                     | - vendas domésticas;<br>- níveis de eletrodomésticos em estoque (indústria e usuários).            | - níveis de estoque industriais assumidos;<br>- níveis de saturação doméstica estão baseados em níveis de estoques predeterminados;<br>- assume-se que todos os resíduos gerados são coletados e transportados às instalações de reciclagem.   |
| <b>Market Supply</b>                 | - vendas domésticas;<br>- tempo de vida útil médio de itens novos e de itens usados (segunda mão). | - tempo de vida útil médio é subjetivo e está baseado em dados de países desenvolvidos;<br>- REEE ficam guardados por anos;<br>- assume-se que os equipamentos daquele ano estarão disponíveis para reciclagem exatamente após o fim da vida útil;<br>- assume-se que a variância da vida útil de REEE não se altera significativamente. |
| <b>Carnegie Mellon</b>               | -  | - hipóteses são feitas levando em conta os caminhos ou fluxos de materiais durante o reuso, armazenamento, reciclagem e disposição final;<br>- requer cobertura completa de dados de venda na cadeia de REEE.  |
| <b>Aproximação 1 (Consumo e Uso)</b> | - dados sobre o estoque;<br>- hipóteses sobre tempo médio de vida útil.                            | - o tempo médio de vida útil é considerado constante para cada produto;<br>-   |
| <b>Aproximação 2</b>                 | - Geração REEE (t) = vendas (t)  | - método adequado em mercado saturado em que a compra de um produto leve ao descarte da mesma quantidade de lixo do resíduo do mesmo produto;<br>- método não adequado caso haja significativo armazenamento temporário ou reuso de equipamentos.  |

Fonte: Schluep *et al.*, 2010.

Meius Engenharia (2009) utiliza a aproximação 1 (Consumo e Uso) para o cálculo dos resíduos eletroeletrônicos presentes no estado de Minas Gerais.

Franco e Lange (2011) estimam a quantidade de lixo eletrônico na região metropolitana de Belo Horizonte e utilizam metodologia semelhante.

## 2.8 Métodos de Análise Multicritério

Segundo Vilas Boas (2006), decisões ambientais:

São decisões complexas, que buscam alcançar objetivos tangíveis e/ ou intangíveis, envolvem aspectos essencialmente quantitativos e/ ou eminentemente qualitativos e os interesses em conflito que as cercam são significativos. Tudo isso dificulta o processo de escolha de caminhos e o uso de instrumentos auxiliares na escolha de alternativas políticas, programas e projetos ambientais.

Sendo assim, a análise multicritério é interessante para ser usada em processos de decisão, onde existe uma decisão a ser tomada; eventos desconhecidos podem afetar os resultados, os possíveis cursos de ação e os próprios resultados. É válido considerar também que a análise multicritério busca a decisão de melhor desempenho, considerando a relação entre elementos objetivos e subjetivos. (VILAS-BOAS, 2006; SOARES, 2003).

GOMES et al. (2004) citam duas escolas de pensamento que se destacam entre as metodologias de apoio multicritério à decisão: Escola Americana e Escola Francesa (Europeia). Os principais métodos da escola americana são Teoria da Utilidade Multiatributo (MAUT) e Método de Análise Hierárquica (AHP). Enquanto na escola francesa se destacam os métodos da família ELECTRE e PROMETHEE.

O método Analytic Hierarchic Project (AHP) é uma metodologia que tem a vantagem de permitir a comparação de critérios quantitativos e critérios qualitativos (MORAES; SANTALIESTRA, 2007) e, ainda levar em consideração a subjetividade envolvida nas decisões. Segundo GOMES (2004), o método tem como propósito organizar os objetivos ou critério em uma hierarquia representada pela preferência dos decisores e no nível inferior da hierarquia encontram-se as alternativas. As comparações entre elas são feitas par a par entre os elementos da hierarquia, sejam as alternativas e os critérios de decisão. Os cálculos da metodologia são guiados pelo Teorema da Álgebra Linear ou pelo teorema de Perron-Frobenius.

A Hierarquia Analítica de Processo é baseada em três princípios: (1) Construção de uma hierarquia; (2) estabelecimento de prioridades e (3) consistência lógica. (MACHARIS et al, 2004).

O método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) é um método de comparação para um número finito de ações e alternativas a serem ranqueadas e selecionadas entre certos critérios que, quase sempre, são conflitantes. O método tem se tornado bastante popular entre o meio acadêmico, sendo utilizado pelas mais diversas áreas: gerenciamento ambiental, hidrologia e gestão de recursos

hídricos, negócios e gerenciamento financeiro, química, logística e transporte, entre outras. (BEHZADIAN, 2010).

O método ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la Réalité) fundamenta-se no conceito de concordância para mensurar a vantagem de uma alternativa sobre as demais. (CAMPOS, 2011).

O método MACBETH (Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique) determina, para cada critério, uma função que a cada alternativa faça corresponder um número real; essa atribuição deve ser feita de forma que a números maiores sejam atribuídas maiores alternativas, gerando uma escala cardinal de valores. O método MACBETH é uma formulação matemática de 4 Problemas de Programação Linear (PPLs) que realizam análise de consistência cardinal, construção da escala cardinal e revelam fontes de inconsistência. Um dos problemas do método é que, no caso de grandes matrizes de valores, podem haver inconsistências nos julgamentos de valor do decisor. O método MACBETH, ao contrário do AHP, faz a comparação dos critérios de forma indireta, considerando alternativas fictícias para cada um dos critérios. (MACHARIS et al, 2004).

Dentre os três métodos anteriormente citados, foi escolhido o PROMETHEE. Segundo Queiruga (2008), em comparação com o ELECTRE, o PROMETHEE tem vantagens como simplicidade, clareza, eficiência e requer poucas informações. No ELECTRE, não há real significado dos limites ou uma influência direta nos resultados.

Achillas et al (2010) utilizaram um sistema de suporte à decisão para encontrar a localização ótima de uma instalação de tratamento de resíduos eletroeletrônicos para toda a região da Grécia. Para isso, foi utilizado o ELECTRE III para ranquear as séries de alternativas e de critérios. Os critérios adotadas foram: (1) população total; (2) população servida pela coleta; (3) distância até instalação de descaracterização dos resíduos; (4) valor do terreno; (5) população desempregada; (6) acessibilidade entre localidades; (7) renda da população local; (8) distância até a capital da região e (9) distância até o porto mais próximo.

Queiruga et al (2008) utilizaram o método de decisão análise multicritério discreta PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations), juntamente com a opinião de especialistas na área para analisar a localização de instalações de reciclagem de REEE na Espanha. Os critérios utilizados foram (1) preço do terreno; (2) preço da mão-de-obra local; (3) preços da energia; (4) distância da localização escolhida até a rodovia mais próxima; (5) proximidade de mercados de compra de recicláveis; (6)

proximidade de áreas habitadas; (7) a ausência de outras instalações de reciclagem de REEE; (8) número de desempregados em cada município; (9) presença de Programa de Processamento de Resíduos; (10) incentivos financeiros por criação de atividades ambientais.

## **2.9 Análise Envoltória de Dados**

A Análise Envoltória de Dados (Data Envelopment Analysis) é uma metodologia relativamente nova. No Brasil, os primeiros trabalhos sobre o tema datam de 2000 (Lídia Ângulo-Mezza e João Carlos Soares de Melo lideraram os trabalhos brasileiros com DEA).

Chaves (2007) utiliza DEA para avaliar a eficiência de unidades de atendimento de agências da previdência social em Fortaleza. Na dissertação, ela utiliza o modelo de rendimentos variáveis baseado em outputs.

Batista (2009) apresenta metodologia DEA para auxiliar na tomada de decisão. A metodologia consiste de três etapas: concepção, modelagem e análise. Ao final, há uma aplicação prática em multinacional do setor automotivo para tomada de decisão em plantas produtivas.

Um dos primeiros trabalhos utilizando DEA como ferramenta de localização foi apresentado por Takamura; Tone (2003) e consistiu em se utilizar AHP e DEA combinados para selecionar a melhor localização, entre dez possíveis, para a nova sede do governo japonês.

Zhou, Ang; Pou (2008) analisaram 100 artigos referentes à DEA e meio ambiente, classificando-os segundo o tipo de estudo, o país/região, aspecto metodológico e esquema de aplicação. O estudo mostra que a ferramenta DEA vem se expandindo com o tempo: 71% dos artigos aparecem no período de estudo de 1999-2006, enquanto o resto (29%) se refere a períodos anteriores. Muitos dos artigos versam sobre a modelagem do desempenho ambiental de firmas e, também, de regiões. Outra grande quantidade de artigos estuda emissões de dióxido de carbono a nível regional. Recentemente houve grande crescimento de estudos sobre eficiência energética e estima-se que, o DEA ganhará mais espaço nesse tipo de estudo.

Azadeh, Ghaderi e Nasrollahi (2008) utilizam DEA para encontrar a melhor localização para instalações eólicas no Irã. O processo é realizado em duas etapas: a primeira consiste em se localizar a melhor região nos bairros e utiliza três indicadores (um social, um técnico e um geográfico) para a escolha. Os indicadores são população e população

economicamente ativa; distância de redes de distribuição de energia e custo do terreno. A segunda etapa, para a escolha das cidades prioritárias, consiste de quatro indicadores: média de intensidade do vento, intensidade de ocorrência de desastres naturais, quantidade de áreas geológicas adequadas e quantidade de áreas topográficas adequadas. A metodologia utilizada (DEA hierárquico) foi validada e verificada por dois outros modelos analíticos: Análise do Componente Principal (PCA) e taxonomia.

A metodologia DEA está bastante ligada ao conceito de eficiência, que segundo Pareto-Koopmans e Debreu (1951) *apud* CHAVES (2007), definem vetor input-output tecnicamente eficiente se, e só se:

- i) nenhum dos outputs pode ser aumentado sem que algum outro output seja reduzido ou algum input necessite ser aumentado;
- ii) nenhum dos inputs pode ser reduzido sem que algum outro input seja aumentado ou algum outro output seja reduzido;

De acordo com Ferreira; Gomes (2009), “os modelos DEA fundamentam-se na busca histórica de medidas da eficiência técnica, mas sem descuidar da conceituação e teorização que suportam essas medidas”.

Entretanto, os mesmos autores ressaltam que a ferramenta deve ser utilizada com precaução, pois, “a falta de conhecimento dos fundamentos teóricos e matemáticos, bem como das virtudes e limites dos modelos não-paramétricos, pode levar a sua utilização inadequada e a enganos na interpretação de seus resultados”.

Segundo os mesmos autores:

A Análise Envoltória de Dados ou Teoria da Fronteira, DEA, baseia-se em modelos matemáticos não-paramétricos, isto é, não utiliza inferências estatísticas nem se apega a medidas de tendência central, testes de coeficientes ou formalizações de análises de regressão. O DEA não exige a determinação de relações funcionais entre os insumos e os produtos, bem como se restringe a medidas únicas, singulares dos insumos e produtos e permite utilizar variáveis discricionárias, instrumentais ou de decisão, variáveis não discricionárias ou exógenas (fixas), e categóricas (tipo dummies) em suas aplicações. (p.19; FERREIRA; GOMES, 2009).

A metodologia DEA tem sido utilizada em uma variedade de aplicações desde sua criação em fins de 1970, com a união de conceitos provindos de Koopmans (1951), Farrell (1957) e Charnes, Cooper e Rhodes. A primeira aplicação foi na utilização de uma avaliação de programas públicos, com diversas variáveis sendo abordadas. É válido considerar que esta

primeira aplicação do modelo DEA considerava rendimentos de escala constantes, ou seja, os inputs variam proporcionalmente aos outputs.

A abordagem matemática do DEA consiste nos inputs e seus pesos no numerador e, dos outputs e seus pesos no denominador, como segue na equação abaixo:

$$\max \left( \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo}} \right) \quad (1)$$

sujeito a

$$\frac{u_1 y_{1j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (2)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0$$

$$j = 1, 2, \dots, N$$

Esse modelo, apesar de não linear, pode, de acordo com as restrições utilizadas, ser moldado de forma linear, levando-se em conta que o valor dos outputs nunca será superior ao valor dos inputs, será no máximo de mesmo valor, levando-se em conta que os valores se encontram na mesma unidade de medida. Simplificando o modelo (1) e (2) acima, tem-se:

$$\max \left( \frac{\sum_j u_j Y_{jk}}{\sum_i v_i X_{ik}} \right) \quad (3)$$

sujeito a

$$\frac{\sum_{j=1}^s u_j Y_{jk}}{\sum_{i=1}^n v_i X_{ik}} \leq 1 \quad (4)$$

onde:

$$k = 1, 2, \dots, N$$

$$u_j \geq 0, \forall j = 1, s$$

$$v_i \geq 0, \forall i = 1, p$$

$$s = \text{número de fatores } outputs \quad (5)$$

$$p = \text{número de fatores } inputs$$

$$N = \text{número de } DMUs$$

Charnes e Cooper (1962) transformaram o Problema de Programação Fracionária (PPF) em um Problema de Programação linear (PPL):

$$\max(\sum_1^s u_j Y_{jA})$$

$$\text{Tal que: } \sum_1^m v_i X_{ik} = 1$$

$$\sum_1^s u_j Y_{jk} - \sum_1^p v_i X_{ik} \leq 0 \quad (6)$$

$$k = 1, \dots, N$$

$$u_j, v_i \geq 0$$

Esse modelo assume retornos constantes de escala (CCR), de acordo com os pesos atribuídos aos *inputs* e *outputs*. Seguida à abordagem CCR, surgiu a abordagem BCC, também orientada a *inputs* e *outputs*. Esta abordagem foi desenvolvida por Charles, Cooper e Rhodes. No entanto, a grande diferença desta abordagem é que os rendimentos podem variar nos *inputs* de forma não proporcional aos *outputs*, tornando os resultados mais reais.

Segundo Chaves (2007), a Análise Envoltória de Dados apresenta, dentre as principais vantagens:

- 1) Os dados não necessitam de normalização;
- 2) Trata-se de uma abordagem não paramétrica;
- 3) Os índices de eficiência são baseados em dados reais (e não em fórmulas teóricas);
- 4) Há possibilidade de alteração nos *inputs* e *outputs* relativamente a pesos; e o resultado final não apenas pode sinalizar tanto a não eficiência, quanto formas de guiar os gestores ao aumento dessa eficiência.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Caracterização da área em estudo

Fortaleza está localizada na região nordeste do Brasil e é a capital do estado do Ceará. A cidade dispõe de 2.452.185 habitantes, numa área de 314.930 km<sup>2</sup> (IBGE 2014). Atualmente, a cidade está dividida em sete regionais, das quais fazem parte 119 bairros, de acordo com o Quadro 14:

Quadro 14 – Secretarias Executivas Regionais de Fortaleza e seus bairros

| Regional               | Bairros   |
|------------------------|---|
| <b>Regional I</b>      | Alagadiço, Álvaro Weyne, Arraial Moura Brasil, Barra do Ceará, Carlito Pamplona, Cristo Redentor, Farias Brito, Floresta, Jacarecanga, Jardim Guanabara, Jardim Iracema, Monte Castelo, Pirambu, Vila Ellery e Vila Velha   |
| <b>Regional II</b>     | Aldeota, Cais do Porto, Cidade 2000, Cocó, De Lourdes, Luciano Cavalcante, Dionísio Torres, Guararapes, Joaquim Távora, Manual Dias Branco, Meireles, Mucuripe, Papicu, Praia de Iracema, Praia do Futuro I, Praia do Futuro II, Salinas, São João do Tauape, Varjota, Vicente Pizon.   |
| <b>Regional III</b>    | Amadeo Furtado, Antônio Bezerra, Autran Nunes, Bela Vista, Bonsucesso, Dom Lustosa, Henrique Jorge, João XXIII, Jóquei Clube, Padre Andrade, Parque Araxá, Parquelândia, Pici, Presidente Kennedy, Quintino Cunha e Rodolfo Teófilo.  |
| <b>Regional IV</b>     | Aeroporto, Benfica, Bom Futuro, Couto Fernandes, Damas, Demócrito, Rocha, Dendê, Fátima, Gentilândia, Itaóca, Itaperi, Jardim América, José Bonifácio, Montese, Pan-Americano, Parangaba, Parreão, Serrinha, Vila Pery e Vila União.  |
| <b>Regional V</b>      | Bom Jardim, Canindezinho, Conjunto Ceará I, Conjunto Ceará II, Conjunto Esperança, Genibau, Granja Lisboa, Granja Portugal, Jardim Cearense, Manoel Sátiro, Maraponga, Mondubim, Parque Presidente Vargas, Parque Santa Rosa, Parque São José, Planalto Ayrton Senna, Prefeito José Walter e Siqueira.  |
| <b>Regional VI</b>     | Aerolândia, Alto da Balança, Ancuri, Barroso, Cajazeiras, Cambeba, Castelão, Cidade dos Funcionários, Coaçu, Conjunto Palmeiras, Curió, Dias Macedo, Edson Queiroz, Guajeru, Jangurussu, Jardim das Oliveiras, José de Alencar, Lagoa Redonda, Sapiranga, Mata Galinha, Messejana, Parque Dois Irmãos, Parque Iracema, Parque Manibura, Passaré, Paupina, Pedras, Sabiaguaba e São Bento. |
| <b>Regional Centro</b> | Centro.   |

Fonte: CEARÁ, 2014.

Espacialmente, Fortaleza tem a distribuição mostrada na Figura 4:



Figura 4 – Mapa da cidade de Fortaleza por Regional



Fonte: Fortaleza, 2014.

Na Secretaria Executiva Regional (SER) I, moram cerca de 390 mil habitantes ou 16,5% do total de habitantes da Capital. Localizada no extremo Oeste da Cidade, foi nesta área que nasceu Fortaleza. O rendimento médio familiar mensal é de quase quatro salários mínimos. A principal atividade econômica da Regional é a indústria. Os bairros da SER I respondem por 9,23% do total de empregos formais existentes em Fortaleza. É aqui também onde está a maior taxa de inatividade de Fortaleza, com apenas 37,2% dos residentes entre a chamada população economicamente ativa.

A SER II abriga 14,64% da população de Fortaleza. Os bairros nela localizados possuem a melhor renda média por família: 13,2 salários mínimos por mês. A SER II concentra 48,3% dos estabelecimentos que geram emprego na Capital. Estão ali reunidos 38,74% dos empregos formais de Fortaleza. As principais atividades estão relacionadas ao setor de serviços, seguido pelo comércio.

A SER III é constituída por 16 bairros. Os bairros da Regional III concentram 16,5% da população do Município. A regional ocupa a quarta colocação em relação aos rendimentos familiares, com ganhos médios de 4,6 salários mínimos.

A SER IV abrange 19 bairros. Sua população abrange cerca de 12,13% da população de Fortaleza. A renda média dos chefes de família é de 5,62 salários mínimos. O bairro com melhor média de renda é o bairro de Fátima, enquanto o bairro Aeroporto

apresenta a pior média de renda da regional, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE 2014).

A SER V possui 21,1% da população de Fortaleza. É a Regional mais populosa, mas também a mais pobre da capital, com rendimentos médios de 3,07 salários mínimos. O bairro com maior renda familiar média mensal é a Maraponga: 6,81 salários mínimos. A principal atividade econômica é o comércio. Na Regional estão concentrados apenas 2,89% dos empregos formais de Fortaleza. A taxa de acesso à rede de esgoto da Regional V é a pior entre as seis regionais, com 24,56%.

A SER VI atende diretamente aos moradores de vinte e nove bairros e ocupa uma área que corresponde a 42% do território de Fortaleza e reúne 20,37% da população do município. Ocupa a terceira colocação em relação à renda familiar média mensal, com 4,67 salários mínimos, abaixo das Regionais II e IV. A principal atividade econômica é a de serviços e a Regional concentra 10,2% dos empregos formais de Fortaleza (RICARDO MOURA, 2011).

Com relação ao lixo, de acordo com Carvalho Júnior (2013), analisando-se a composição dos resíduos domiciliares coletados pela ACFOR, percebem-se as diferenças econômicas entre as Regionais:

Tabela 3 – Lixo em categorias coletado por Regional

| <b>Regional</b> | <b>Orgânico</b> | <b>Reciclável</b> | <b>Rejeito</b> |
|-----------------|-----------------|-------------------|----------------|
| <b>SER I</b>    | 47,70%          | 23,00%            | 29,40%         |
| <b>SER II</b>   | 40,70%          | 28,40%            | 30,90%         |
| <b>SER III</b>  | 45,40%          | 24,80%            | 29,90%         |
| <b>SER IV</b>   | 43,30%          | 30,30%            | 26,30%         |
| <b>SER V</b>    | 42,10%          | 23,60%            | 34,30%         |
| <b>SER VI</b>   | 41,30%          | 25,20%            | 33,50%         |
| <b>SERCEFOR</b> | 38,10%          | 44,70%            | 17,20%         |
| <b>média</b>    | 42,66%          | 28,57%            | 28,79%         |

Fonte: Carvalho Júnior, 2013.

Infelizmente, com relação ao lixo eletrônico, os dados são praticamente inexistentes no município de Fortaleza. Quando muito, são encontrados dados da região Nordeste.

### 3.2 Diagnóstico da situação atual de REEE em Fortaleza

Um dos objetivos do trabalho consiste em se avaliar a cidade de Fortaleza em termos de avanço quanto à logística reversa de eletroeletrônicos, na instância estadual e na federal. Também avaliando empresas que trabalham com o recolhimento e reciclagem deste tipo de resíduo.

O primeiro passo da pesquisa consistiu em se procurar organizações, empresas que lidavam com lixo eletrônico em Fortaleza. Em seguida, avaliar que programas estaduais ou municipais existem para auxiliar na execução da lei 12.305/2010, além de investigar se há dados sobre esse tipo lixo (quantidade por tipo de equipamento por ano). Os contatos foram feitos por telefone e a entrevista pessoalmente.

Santos (2012) realizou o mapeamento da cadeia reversa dos REEE no Rio Grande do Sul por meio de estudo de múltiplos casos. A coleta de dados foi feita por meio de obtenção de dados primários e secundários, sendo a principal forma a entrevista semiestruturada. O questionário básico elaborado pelo autor acima foi utilizado como referência para realização de entrevista na empresa cearense que atua na área de destinação ambientalmente correta para o lixo eletrônico.

### 3.3 Estimativa de geração de REEE em Fortaleza

Inicialmente é prudente se ressaltar que, devido à escassez de dados sobre resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) no Brasil, foi necessário o estabelecimento de hipóteses para a estimativa destes resíduos em Fortaleza. A primeira delas considera que, em cada residência com determinado tipo de eletroeletrônico, haverá apenas um equipamento daquele tipo. A segunda hipótese é que, para computadores, o comportamento dos dados seguirá pesquisa realizada pela CETIC (2010), em que 90% dos computadores presentes nos municípios nordestinos são *desktops* e 10% são *notebooks*, sendo que 7% dos domicílios consultados apresentavam os dois tipos de computadores.

Para o cálculo da quantidade de eletroeletrônicos no município de Fortaleza e projeção de 15 anos, foram usados os procedimentos de Meius Engenharia (2009) e Franco; Lange (2011). Os dados utilizados para a estimativa e projeção de REEE foram retirados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), relativos à Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD) dos anos 2007, 2009 e 2011.

Este método, denominado Uso e Consumo - baseado em um modelo pseudo-gravitacional - é apropriado para o contexto brasileiro, pois utiliza dados que podem ser obtidos por meio dos censos realizados, enquanto para outros dados referentes a eletroeletrônicos (como vida útil e peso), pode-se utilizar pesquisas realizadas em outros países como uma aproximação razoável. O método do Uso e Consumo também foi utilizado em estudos de análise e diagnóstico da geração de REEE em países como Colômbia, Peru e Chile, desenvolvidos com o auxílio da EMPA (MEIUS ENGENHARIA, 2009). Abaixo segue a fórmula a ser utilizada:

$$G = \frac{P \times R \times St}{Vu} \quad (5)$$

G = Geração de Resíduos Eletroeletrônicos por ano

P = Peso médio de cada Eletroeletrônico considerado

R = Número de residências

St = Taxa de saturação por Eletroeletrônico considerado, por residência

Vu = Vida útil média de cada Eletroeletrônico considerado

Como critério para tempo de vida útil dos eletroeletrônicos, foram usados os dados da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA-US): para refrigeradores e freezer, 15 anos; para computadores pessoais, 5 anos; para telefones celulares, 2 anos e; para aparelhos de televisão, 13 anos. O peso dos eletroeletrônicos foi selecionado de acordo com a metodologia de Meius Engenharia (2009), que consiste em se coletar os 16 modelos mais populares de cada um dos eletroeletrônicos escolhidos no site Bondfaro e calcular a média desses produtos, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Vida útil e peso dos eletroeletrônicos selecionados.

| EEE                        | Vida útil (ano) | Peso (kg) |
|----------------------------|-----------------|-----------|
| <b>Computador</b>          | 5               | 29,26     |
| <b>Notebook</b>            | 5               | 3,51      |
| <b>Telefone celular</b>    | 2               | 0,09267   |
| <b>Geladeira</b>           | 15              | 71,95     |
| <b>Freezer</b>             | 15              | 60,02     |
| <b>Televisão</b>           | 13              | 32,45     |
| <b>Máquina de lavar</b>    | 11              | 37,51     |
| <b>Rádio (microsystem)</b> | 5               | 10,4      |

FONTE: EPA-US (2008) *apud* Meius Engenharia (2009).

A tabela 5 resume os dados coletados nos anos de 2007 a 2011 referentes ao PNAD (variável é o número de eletroeletrônicos em mil domicílios). Em seguida, a próxima

tabela se refere à população do município de Fortaleza desde o início dos censos realizados pelo IBGE.

Tabela 5 – Quantidade de tipos de eletroeletrônicos em cada 1000 domicílios (Fortaleza).

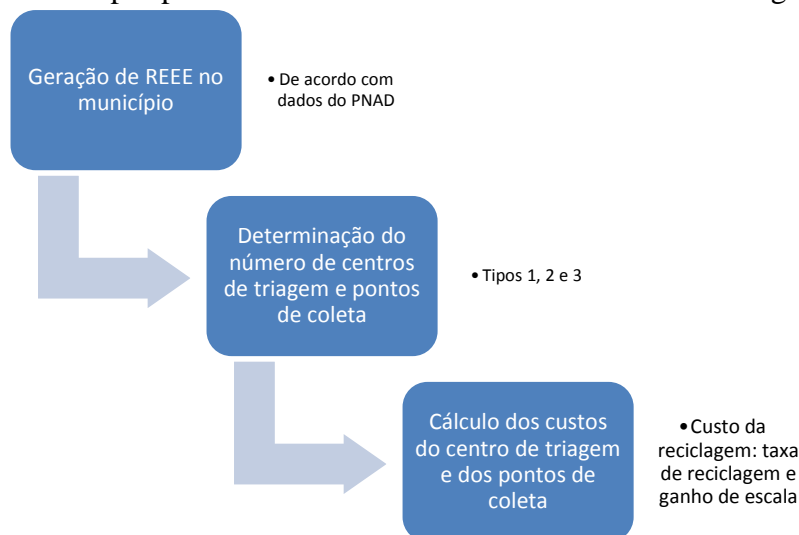
| Fortaleza                  | 2007 | 2008 | 2009 | 2011 |
|----------------------------|------|------|------|------|
| <b>Computador</b>          | 183  | 247  | 274  | 380  |
| <b>Telefone celular</b>    | 445  | 529  | 562  | 675  |
| <b>Geladeira</b>           | 828  | 889  | 939  | 1048 |
| <b>Freezer</b>             | 83   | 85   | 68   | 96   |
| <b>Televisão</b>           | 917  | 971  | 987  | 1083 |
| <b>Máquina de lavar</b>    | 172  | 204  | 265  | 377  |
| <b>Rádio (microsystem)</b> | 817  | 875  | 865  | 922  |

FONTE: PNAD com adaptações, 2013.

### 3.4 Análise financeira da implantação de usinas de triagem em Fortaleza

ABDI (2012) desenvolve um estudo sobre a Viabilidade da Logística Reversa de Eletroeletrônicos que, em uma de suas seções, compreende o cálculo de custos de implantação de uma usina de triagem. São utilizados três modelos de usina, sendo sua capacidade determinada pela quantidade de resíduos gerada: 1.200 toneladas, 3.600 toneladas ou 12.000 toneladas anuais, respectivamente. Os dados utilizados foram gerados na sessão anterior.

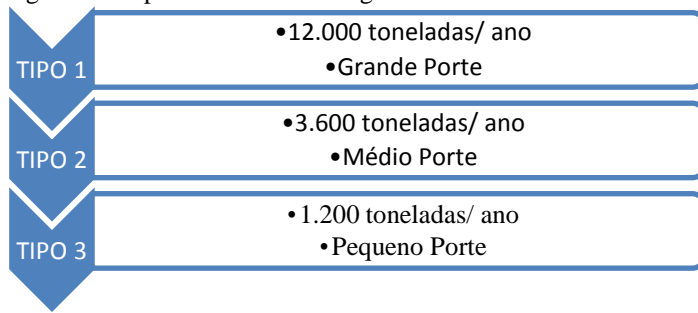
Figura 5 – Etapas para o cálculo dos custos da estrutura de reciclagem de REEE



Fonte: elaboração própria, 2014.

De acordo com o modelo proposto por ABDI (2012), utilizam-se os seguintes tipos de usinas de triagem (Figura 6):

Figura 6 – Tipos de usinas de triagem de REEE



Fonte: elaboração própria, 2014.

ABDI (2012) apresenta os custos de instalação e manutenção de usinas de triagem para as três diferentes categorias anteriormente mencionadas: 12.000, 3.600 e 1.200 toneladas. Estes valores estão resumidos nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6 – Custos estimados de instalação anuais de usinas de triagem (1.200, 3.600 e 12.000 toneladas)

| Capacidade anual (ton)  |            | 12.000         |                       |            |  |
|-------------------------|------------|----------------|-----------------------|------------|--|
| Equipamento             | Quantidade | Valor Unitário | Valor Total           | Percentual |  |
| Empilhadeira            | 2          | R\$ 40.000,00  | R\$ 80.000,00         | 44,94%     |  |
| Esteira                 | 2          | R\$ 20.000,00  | R\$ 40.000,00         | 22,47%     |  |
| Paletizadora            | 2          | R\$ 15.000,00  | R\$ 30.000,00         | 16,85%     |  |
| Carrinhos tração humana | 10         | R\$ 1.200,00   | R\$ 12.000,00         | 6,74%      |  |
| Balanças                | 2          | R\$ 4.500,00   | R\$ 9.000,00          | 5,06%      |  |
| Containers transportes  | 20         | R\$ 100,00     | R\$ 2.000,00          | 1,12%      |  |
| Escritório              | 1          | R\$ 5.000,00   | R\$ 5.000,00          | 2,81%      |  |
| <b>Valor total</b>      |            |                | <b>R\$ 178.000,00</b> |            |  |
| Capacidade anual (ton)  |            | 3.600          |                       |            |  |
| Equipamento             | Quantidade | Valor Unitário | Valor Total           | Percentual |  |
| Empilhadeira            | 1          | R\$ 40.000,00  | R\$ 40.000,00         | 41,67%     |  |
| Esteira                 | 1          | R\$ 20.000,00  | R\$ 20.000,00         | 20,83%     |  |
| Paletizadora            | 1          | R\$ 15.000,00  | R\$ 15.000,00         | 15,63%     |  |
| Carrinhos tração humana | 5          | R\$ 1.200,00   | R\$ 6.000,00          | 6,25%      |  |
| Balanças                | 2          | R\$ 4.500,00   | R\$ 9.000,00          | 9,38%      |  |
| Containers transportes  | 10         | R\$ 100,00     | R\$ 1.000,00          | 1,04%      |  |
| Escritório              | 1          | R\$ 5.000,00   | R\$ 5.000,00          | 5,21%      |  |
| <b>Valor total</b>      |            |                | <b>R\$ 96.000,00</b>  |            |  |
| Capacidade anual (ton)  |            | 1.200          |                       |            |  |
| Equipamento             | Quantidade | Valor Unitário | Valor Total           | Percentual |  |
| Empilhadeira            | 0          | R\$ 40.000,00  | R\$ -                 | 0,00%      |  |
| Esteira                 | 0          | R\$ 20.000,00  | R\$ -                 | 0,00%      |  |
| Paletizadora            | 1          | R\$ 15.000,00  | R\$ 15.000,00         | 42,13%     |  |
| Carrinhos tração humana | 5          | R\$ 1.200,00   | R\$ 6.000,00          | 16,85%     |  |

---

| <b>Equipamento</b>            | <b>Quantidade</b> | <b>Valor Unitário</b> | <b>Valor Total</b> | <b>Percentual</b> |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| <b>Balanças</b>               | 2                 | R\$ 4.500,00          | R\$ 9.000,00       | 25,28%            |
| <b>Containers transportes</b> | 6                 | R\$ 100,00            | R\$ 600,00         | 1,69%             |
| <b>Escritório</b>             | 1                 | R\$ 5.000,00          | R\$ 5.000,00       | 14,04%            |
| <b>Valor total</b>            |                   |                       | R\$ 35.600,00      |                   |

---

Fonte: ABDI (2012).

Tabela 7 - Custos estimados de manutenção anuais de usinas de triagem (1.200, 3.600 e 12.000 toneladas)

| <b>Capacidade anual (ton) 12.000</b> |                   |     |                       |                    |                   |
|--------------------------------------|-------------------|-----|-----------------------|--------------------|-------------------|
| <b>Equipamento</b>                   | <b>Quantidade</b> |     | <b>Valor Unitário</b> | <b>Valor Total</b> | <b>Percentual</b> |
| <b>Colaboradores</b>                 | 18                | R\$ | 650,00                | R\$ 11.700,00      |                   |
| <b>Impostos</b>                      | 18                | R\$ | 702,00                | R\$ 12.636,00      |                   |
| <b>Galpão</b>                        | 400               | R\$ | 15,00                 | R\$ 6.000,00       |                   |
| <b>EPI</b>                           | 30                | R\$ | 100,00                | R\$ 3.000,00       |                   |
| <b>Outros gastos</b>                 | 20%               | R\$ | 41.670,00             | R\$ 8.334,00       |                   |
| <b>Valor total mensal</b>            | R\$ 41.670,00     |     |                       |                    |                   |
| <b>Valor anual</b>                   | R\$ 500.040,00    |     |                       |                    |                   |
| <b>Valor / ton (min)</b>             | 41,67             |     |                       | Min. Ton           |                   |
| <b>Capacidade anual (ton) 3.600</b>  |                   |     |                       |                    |                   |
| <b>Equipamento</b>                   | <b>Quantidade</b> |     | <b>Valor Unitário</b> | <b>Valor Total</b> | <b>Percentual</b> |
| <b>Colaboradores</b>                 | 8                 | R\$ | 650,00                | R\$ 5.200,00       |                   |
| <b>Impostos</b>                      | 8                 | R\$ | 702,00                | R\$ 5.616,00       |                   |
| <b>Galpão</b>                        | 200               | R\$ | 15,00                 | R\$ 3.000,00       |                   |
| <b>EPI</b>                           | 10                | R\$ | 100,00                | R\$ 1.000,00       |                   |
| <b>Outros gastos</b>                 | 20%               | R\$ | 18.520,00             | R\$ 3.704,00       |                   |
| <b>Valor total mensal</b>            | R\$ 18.520,00     |     |                       |                    |                   |
| <b>Valor anual</b>                   | R\$222.240,00     |     |                       |                    |                   |
| <b>Valor / ton (min)</b>             | R\$ 61,73         |     |                       | Min. Ton           |                   |
| <b>Capacidade anual (ton) 1.200</b>  |                   |     |                       |                    |                   |
| <b>Equipamento</b>                   | <b>Quantidade</b> |     | <b>Valor Unitário</b> | <b>Valor Total</b> | <b>Percentual</b> |
| <b>Colaboradores</b>                 | 4                 | R\$ | 650,00                | R\$ 2.600,00       |                   |
| <b>Impostos</b>                      | 4                 | R\$ | 702,00                | R\$ 2.808,00       |                   |
| <b>Galpão</b>                        | 120               | R\$ | 15,00                 | R\$ 1.800,00       |                   |
| <b>EPI</b>                           | 6                 | R\$ | 100,00                | R\$ 600,00         |                   |
| <b>Outros gastos</b>                 | 20%               |     |                       | R\$ -              |                   |
| <b>Valor total mensal</b>            | R\$ 9.760,00      |     |                       |                    |                   |
| <b>Valor anual</b>                   | R\$117.120,00     |     |                       |                    |                   |
| <b>Valor / ton (min)</b>             | R\$97,60          |     |                       |                    |                   |

Fonte: ABDI (2012).

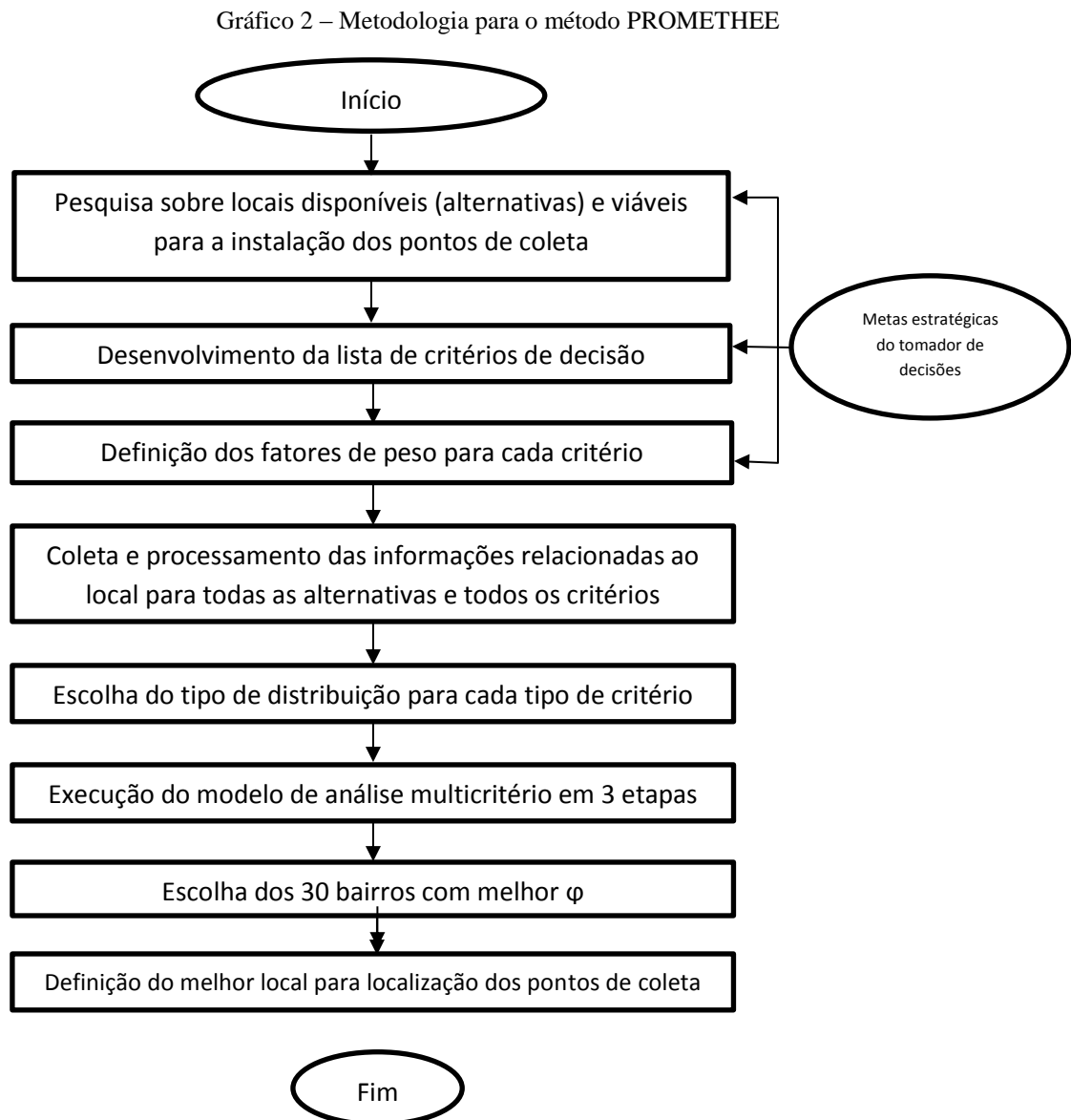
De posse da quantidade de REEE obtida pela projeção, opta-se pelo número adequado de centros de triagem, de acordo com as combinações que levarem aos menores custos.



### 3.5 Escolha do local para implantação dos pontos de coleta

#### 3.5.1 *Promethee*

Os procedimentos metodológicos são baseados em Achillas *et al* (2010) e seguem no Gráfico 2:



Fonte: adaptado de Achillas *et al*, 2010

Para definição dos bairros onde se localizarão os centros de triagem é utilizada a análise multicritério, seguindo, adicionalmente, metodologia utilizada em Queiruga *et al*, 2008. De acordo com a opinião de especialistas, serão definidos critérios e pesos, visando à escolha do melhor bairro para localização do centro de triagem. O procedimento de escolha será feito com a ajuda do software PROMETHEE.

O passo inicial para implantação dos pontos de coleta consiste na avaliação dos locais disponíveis, ou seja, das alternativas para a instalação dessa infraestrutura. Em seguida, realizou-se uma revisão de literatura, com o objetivo de listar os procedimentos utilizados para desenvolver a lista dos critérios de decisão, assim como a definição de seus fatores de peso. Neste trabalho, opta-se por, adicionalmente aos critérios obtidos na revisão de literatura, a aplicação de um questionário para determinar os critérios mais importantes, segundo o ponto de vista de profissionais, acadêmicos e estudantes envolvidos em logística reversa de eletroeletrônicos.

Após a seleção dos dez critérios mais relevantes para os entrevistados, definiu-se como peso para cada um deles o mesmo valor, de acordo com a quantidade total de critérios adotados na análise.

A coleta dos dados foi realizada por meio de investigação por mídias digitais e consulta aos órgãos e sítios eletrônicos, assim como censos.

No início são adotados os dez critérios simultaneamente na análise por meio de PROMETHEE. Em seguida, opta-se por separar os critérios em quantitativos e qualitativos.

Após a obtenção dos dados, é definida a distribuição para cada tipo de critério: linear, gaussiana, em forma de V, em forma de U, usual, de nível.

Os dados obtidos são inseridos no PROMETHEE, juntamente com informações relevantes para a análise: unidade do critério, maximização ou minimização, peso do critério e função preferencial (das citadas anteriormente).

Após execução do programa, são ranqueados os bairros de acordo com seus phi ( $\delta$ ). O  $\delta$  consiste em uma medida dos resultados das comparações par-a-par de ações para ranqueá-las, da melhor ação para a pior. Os 30 mais presentes, de acordo com cada análise (são realizadas três análises diferentes) são escolhidos. Vale ressaltar que há leves diferenças entre os  $\delta$ , sendo necessário escolher mais de 30 bairros no início.

A seguir será utilizada a segunda metodologia – a Análise Envoltória de Dados - para escolha do local mais adequado para instalação dos pontos de coleta de REEE.

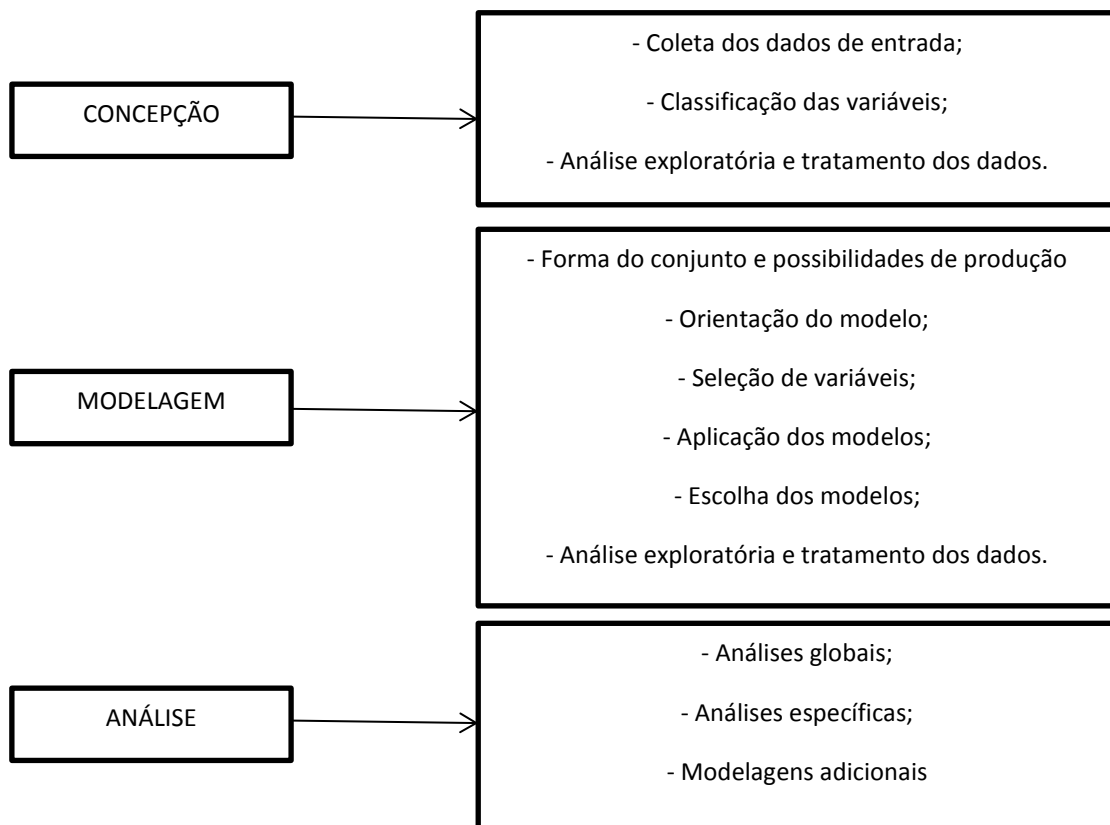
### **3.5.2 Análise Envoltória de Dados (DEA – Data Envelopment Analysis)**

A Análise Envoltória de Dados tem como objetivo determinar entre diversas unidades (chamadas DMUs), aquela mais eficiente - de acordo com inputs e outputs

previamente escolhidos. A inovação neste procedimento está em utilizá-lo para selecionar o local mais adequado para o contexto dos resíduos eletroeletrônicos em Fortaleza, que se trata de uma situação real e pode servir de modelo para outras aplicações correlatas.

A metodologia consiste em procedimento semelhante a Batista (2009), composto de três etapas: concepção, modelagem e análise. A primeira etapa consiste na definição dos objetivos do sistema, coleta dos dados de entrada, classificação das variáveis e análise exploratória dos dados, seguida do tratamento destes. A segunda etapa consiste na escolha da orientação do modelo, seleção das variáveis, aplicação dos modelos e escolha dos modelos. Finalmente, a terceira etapa consiste na realização de análises globais, análises específicas e modelagens adicionais, caso necessário. A metodologia está resumida na Figura 7.

Figura 7 – Metodologia DEA



Fonte: elaboração própria, 2014.

### 3.5.2.1 Concepção

De acordo com Batista (2009), nesta etapa deve-se estar ciente das situações em que o DEA é aplicável e, complementarmente, das razões que foram levadas em consideração para se utilizar DEA. Resumindo, devem ser definidos os objetivos do sistema; ou seja, aquilo que ele pretende analisar e os resultados que se pretende obter.

Alguns cuidados devem ser tomados ao se utilizar DEA:

- As DMU - unidades que são objeto de análise – devem desempenhar as mesmas atividades e devem ter os mesmos objetivos, sob as mesmas condições de mercado;
- As entradas e saídas devem ser as mesmas para cada unidade, se diferenciando apenas na intensidade ou magnitude (KASSAI, 2002).

#### 3.5.2.3. *Coleta de dados*

De acordo com Batista (2009), nesta fase são levantadas as informações que atenderão aos objetivos estabelecidos na etapa anterior.

Ainda de acordo com o mesmo, variáveis que podem impactar no modelo ou nos resultados, não são incluídas nas análises, por serem desconhecidas ou de difícil obtenção.

#### 3.5.2.4. *Classificação das variáveis*

Segundo Batista (2009), ‘a determinação das variáveis de entrada ou saída não é trivial:

“Uma sugestão para facilitar a classificação das variáveis é dada por Cooper, Seiford e Tone (2006). Tomando por base a razão de eficiência, saídas/entradas, basta o decisor perguntar se um aumento na variável irá aumentar ou piorar o índice de eficiência de acordo com o objetivo pretendido na análise. Se o indicador melhorar, deve ser tratado como saída, e se piorar, como entrada.” (COOPER *et al*, 2006).

#### 3.5.2.5. *Análise exploratória e tratamento dos dados*

Batista (2009) defende o cálculo de estatísticas tradicionais como média, desvio-padrão, coeficiente de variação, mínimo, 1º quartil, mediana, 3º quartil e máximo. Isso evita que uma variável seja considerada eficiente somente por ter valor ótimo de entrada ou de saída. As análises também ajudam a identificar os *outliers*. Outro ponto dessa etapa é verificar a homogeneidade dos dados.

A correlação também é importante como análise exploratória. Isso porque, se houver correlação muito grande entre as variáveis, pode-se considerar que algumas delas são redundantes, podendo ser eliminadas do modelo.

### 3.5.3. *Modelagem*

Essa fase consiste na seleção do modelo mais adequado para a análise, levando-se em consideração as limitações e vantagens dos modelos analisados, para selecionar aquele que mais se adequa aos objetivos estabelecidos.

#### 3.5.3.1 *Orientação do modelo*

Barbosa (2009) cita orientação para input e output simultaneamente:

- a) O modelo de retornos constantes;
- b) O modelo de retornos variáveis;
- c) O modelo de retornos crescentes;
- d) O modelo de retornos decrescentes.

Vale ressaltar que os indicadores da primeira etapa foram selecionados de acordo com Carvalho Júnior (2013), enquanto os da segunda etapa foram obtidos das respostas aos questionários enviados pela autora e de outras referências bibliográficas (ACHILLAS *et al*, 2010; QUEIRUGA *et al*, 2008).

De acordo com a metodologia utilizada por Azadeh, Ghaderi e Maghsoudi (2008), o estudo será realizado em duas etapas. A primeira etapa consiste numa análise macro de indicadores por Regional da cidade de Fortaleza; a segunda etapa consiste numa análise mais detalhada de outros indicadores, desta vez de acordo com os bairros da Regional selecionada no procedimento anterior.

#### 3.5.3.2. *Seleção de variáveis*

Nataraja e Johnson (2011) afirmam que a DEA não provê orientações para especificação das funções de produção e das variáveis de input e output. Sendo assim, podem surgir vários problemas ao selecionar variáveis, por exemplo, inexistência de dados, processos de produção de alta dimensão e a inclusão de inputs/outputs irrelevantes. O trabalho deles consiste em revisar oito métodos para seleção de variáveis mais relevantes.

Os mesmos autores resumiram quatro métodos para escolha das variáveis mais relevantes e listaram suas vantagens e desvantagens; as conclusões estão resumidas de acordo com a Tabela 8.

Tabela 8 – Métodos para escolha de inputs e outputs

|         |   |
|---------|---|
|         | Menor tempo de execução<br>Funciona melhor com amostras menores ( $n < 25$ )<br>Robusto para altas correlações ( $> 0,80$ ) entre variáveis relevantes e irrelevantes<br>Vulnerável à escolha de tecnologia (CRR ou BCC)  |
| PCA-DEA | Robusto para distribuições ineficientes<br>Pode não funcionar bem com amostras de dados de altas dimensões<br>Não se sabe ao certo quantos computadores serão necessários<br>Não se obterem com certeza os verdadeiros níveis de eficiência   |
|         | Trabalha melhor com baixas correlações ( $< 0,2$ ) e amostras grandes ( $n > 100$ )<br>Menos vulnerável à alterações de dimensionalidade  |
| RB      | Robusto para distribuições ineficientes<br>Robusto para escolha de tecnologia (BCC ou CCR)<br>Pode não funcionar bem com amostras de dados com alta correlação entre variáveis ( $> 0,8$ )<br>Fácil implementação   |
|         | Dá bons resultados sob os mais diversos cenários<br>Trabalha melhor com baixas correlações ( $< 0,2$ ) e amostras grandes ( $n > 100$ )<br>Dá melhores resultados que o método RB dadas altas correlações e amostras de grande tamanho<br>Pode identificar também contribuições de input para output<br>Pouco afetado pela escolha de tecnologia (BCC ou CCR)<br>Pode não funcionar bem com amostras de dados com alta correlação entre variáveis ( $> 0,8$ )<br>Vulnerável a alterações de dimensionalidade<br>Robusto para distribuições ineficientes |
| ECM     |   |
|         | Alto esforço computacional  |
| BS      | Número de BS (bootstrap) replicados não está claro<br>Baixa performance   |

Fonte: Nataraja e Johnson, 2011.

Segundo Lins e Ângulo Meza (2000), para análises em que há grande número de DMUs e razoável número de variáveis, não é necessária a utilização de técnicas de seleção de variáveis. Entretanto, para uma melhor precisão dos resultados, é interessante utilizar algumas das metodologias de seleção de variáveis presentes na literatura.

Norman e Stoker (1991) *apud* SENRA *et al* (2007) realizam uma série de ‘análises de correlações simples entre as variáveis, selecionando as variáveis relevantes e calculando ineficiência de planos de operação observados’.

Golany e Roll (1989) *apud* SENRA *et al* (2007) também contribuíram com o processo de seleção de variáveis, propondo três etapas: 1) *Judgmental screening*; 2) *non-DEA quantitative analysis* e 3) *DEA based analysis*. O primeiro é realizado por meio de uma análise de causalidade; o segundo, por uso de análise de regressão para classificar a variável como input ou output e a terceira identifica variáveis que devem ser excluídas, pois não agregam eficiência significativa ao modelo.

Antes da execução da análise no programa DEA Solver, deve-se atentar para os seguintes aspectos, de acordo com Thanassoulis (2003):

- Escala dos dados: os dados devem ter escala de modo que os níveis de input-output não assumam valores excessivamente altos; por exemplo, 1000. Isso evita erros de arredondamento;

- Falta de isotonicidade: duas questões entram nesse quesito. A primeira diz respeito à diferença de tecnologia entre DMUs (por exemplo, o autor cita uma UTI perinatal em que há parteiras e outra em que não há). A segunda diz respeito ao fato de utilizar-se DMUs em que um dos outputs é nulo. Isso porque a avaliação tenderá a mostrar DMUs com nível zero de input artificialmente mais eficientes do que elas realmente são;

- Acurácia dos dados: Sendo DEA um método determinístico, ele assume em princípio que todos os dados são acurados. Dados inacurados de uma DMU podem gerar impacto, dependendo de como ele torna a DMU Pareto-eficiente ou Pareto-ineficiente. No primeiro caso, onde a DMU inacurada foi colocada como Pareto-eficiente, as eficiências de outras DMUs que podem ser eficientes podem ser subestimadas. O oposto é verdadeiro quando a DMU inacurada foi incorretamente julgada como Pareto-ineficiente.

### *3.5.2.3 Aplicação dos modelos*

De acordo com Batista (2009), é interessante a aplicação de mais de um modelo para a tomada de decisão. Atualmente existem vários softwares desenvolvidos especificamente para aplicações de DEA.

#### *3.5.4.1 Escolha dos modelos*

### **3.5.4 Análise**

#### *3.5.4.1 Análise global*

Após a realização da simulação do programa, com os inputs e outputs previamente selecionados, será realizada a análise e interpretação dos resultados. De acordo com Thanassoulis (2003), as informações mais comuns de serem obtidas por meio de DEA são:

- a) Determinação da medida de eficiência da DMU;
- b) Onde a DMU é Pareto-eficiente;
- c) Onde a DMU é Pareto-ineficiente.

Batista (2009) também ressalta a importância da análise das unidades que se posicionaram como eficientes para as ineficientes e, daquelas que, embora sejam eficientes, não se destacaram como referência.

#### *3.5.4.1 Análise específica*

O procedimento para a escolha dos inputs e outputs consiste em:

- a) Ajustar o nível de outputs da DMU com o objetivo de fazer esta unidade eficiente (na definição de Farrell) relativa ao conjunto total de variáveis, e então;
- b) Avaliar a eficiência da unidade resultante quando a candidata não é considerada no modelo da DEA.



## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Diagnóstico da situação atual do lixo eletrônico em Fortaleza**

Para o município de Fortaleza, foram definidos órgãos do governo responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos, empresas e ONGs de descarte de resíduos eletroeletrônicos, organizações públicas que consomem grande quantidade de eletroeletrônicos (por exemplo, universidades) e postos de coletas de eletroeletrônicos (de produtores, de supermercados e do Poder Público). Estes locais serviram de orientação inicial, pois, com a progressão das entrevistas, outras entidades foram indicadas, complementando o panorama de Fortaleza e adjacências.

Como órgãos do governo, procuraram-se os contatos da Secretaria do Meio Ambiente e Controle Urbano (SEUMA) e a Superintendência estadual do Meio Ambiente – Ceará (SEMACE), como instâncias governamentais. Para tais órgãos procurou-se identificar os responsáveis pela área de resíduos sólidos, especificamente eletroeletrônicos, por meio de consulta aos sites dos órgãos e por contato telefônico.

Estes procedimentos foram realizados entre junho e julho de 2013. Para a SEUMA, foi fornecido o contato do núcleo de resíduos sólidos. Um dos engenheiros responsáveis pelo núcleo afirmou que o município ainda está se adequando à gestão dos resíduos eletroeletrônicos, não dispondo de nenhuma ação específica em relação a tais resíduos. Para a SEMACE, a secretária informou que também não havia nenhum programa destinado à disposição específica dos eletroeletrônicos. Segundo a mesma, tais resíduos, atualmente, são enviados ao Aterro Sanitário Metropolitano de Caucaia (*ASMOC*).

#### **4.1.1 Ecoletas**

A empresa Ecoletas, fundada em Fortaleza, em 2009, é responsável pelo gerenciamento e destinação final de resíduos eletroeletrônicos para empresas, instituições e usuários domésticos. É válido se ressaltar que a empresa é a única que possui licenciamento no estado do Ceará.

O sócio-diretor da empresa, senhor Marcos Bonanzini, atua desde 2001 com eletroeletrônicos e é muito receptivo ao fornecimento de informações sobre sua empresa e sobre o descarte de REEE.

A Ecoletas recebe REEEs de usuários domésticos e de grupos organizacionais. A empresa dá preferência a equipamentos quebrados ou obsoletos, ou seja, cuja possibilidade de reutilização seja pequena, já que ela fornece destinação para descarte de pós-consumo. No entanto, se o usuário quiser se desfazer de um equipamento em funcionamento, a empresa receberá o REEE. No entanto, não haverá qualquer tipo de pagamento por produtos ainda em funcionamento. O transporte, para usuários domésticos, deve alcançar uma determinada quantidade para que seja realizado pela Ecoletas. Caso esse patamar não seja alcançado, o usuário poderá destinar seu produto transportando-o até a sede da Ecoletas.

Para os grandes geradores o processo é mais complexo. Esses usuários de grande escala devem identificar todo o material que eles pretendem destinar. A partir dessa identificação, existe a possibilidade de cobrança para o gerador (muitos geradores se desfazem de produtos com alto custo, como monitores CRT) ou pagamento. Aqui, o entrevistado informou que muitas empresas negociam os REEEs mais valiosos (equipamentos que contêm metais nobres) com outros agentes, pois estes fornecem preços três a cinco vezes maiores que os da empresa Ecoletas. Entretanto, após retirados os metais mais preciosos dos equipamentos, esses agentes não têm preocupação ambiental alguma, despejando os restos nas ruas, em terrenos baldios. Segundo dados exclusivos da empresa, em pesquisa para prospecção de clientes, foram descobertos mais de 500 agentes que atuam com destinação para resíduos eletrônicos, sendo que nenhum deles são empresas, tampouco são licenciados ambientalmente para atuar nesta atividade.

A diferença de valores cobrada pela empresa se justifica pela responsabilidade de descartar adequadamente todos os produtos recebidos, inclusive aqueles cuja destinação final tem altos custos. Segundo Marcos Bonanzini, a permanência de tanta atuação informal no setor é resultado de uma precária fiscalização. Prosseguindo o processo de precificação dos REEE, para o caso de grandes geradores, geralmente, o transporte é responsabilidade da Ecoletas. O processo de atribuição de valores aos REEE é feito por meio de um programa que, por meio de uma lista, detecta os itens rentáveis e os não rentáveis, sempre considerando um descarte ambientalmente adequado e extrai um valor ao somatório desses itens, o que pode ser tanto positivo (paga-se o gerador), quanto negativo (o gerador paga).

Após as negociações e a coleta do material eletroeletrônico, o material é descarregado e pesado. Em seguida, ele é separado por tipo de material, ou por tipo de desmonte, ou por linha de produção. Todo o processo é realizado de forma manual, exceto a

parte de fios e cabos, que é feita externamente. Ao contrário dos processos convencionais, que queimam os fios e cabos, na Ecoletas a recuperação do cobre dos fios é feita por trituração, por uma empresa de São Paulo que certifica a execução do processo; a empresa é licenciada e certificada. O senhor Marcos Bonanzini lembrou que a prática de queima de componentes a céu aberto é proibida pela legislação (PNRS e Plano de Resíduos Sólidos do Ceará).

Na Figura 8, mostra-se a disposição temporária de equipamentos de informática coletados de uma universidade de Fortaleza. Após esta etapa, os gabinetes serão desmontados e separados em componentes a serem vendidos.

Figura 8 – Material separado por tipo na Ecoletas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

Os principais componentes recuperados: ferro, aço, cobre, alumínio, plástico, placas de circuito impresso etc. são comercializados com empresas licenciadas, dedicadas a fazer a destinação (seja por meio da reciclagem, seja por meio da disposição final). Mesmo quando a negociação com essas empresas não é feita diretamente, o descarte é realizado indiretamente. Por exemplo, para um determinado componente, como o ferro, uma empresa faz o armazenamento temporário e, em seguida, a destinação final adequada com uma empresa certificada. Esse armazenamento temporário é feito pois, grande parte das empresas trabalha com uma quantidade mínima de material recebido (10 toneladas é a mais comum).

No galpão da Ecoletas, como no galpão de qualquer empresa, o espaço de estocagem é limitado e, como esse espaço funciona como uma linha de produção, é necessário que, em 48h aquela área utilizada para armazenar os componentes desmontados seja limpa, para receber outro carregamento de desmonte. Sendo assim, para ganhar velocidade nas áreas de desmontagem, é interessante contar com empresas “intermediárias”, que fazem essa estocagem temporária, em suas áreas, de vários usuários, para enviarem às empresas de reciclagem ou disposição final de cada componente. A desvantagem deste armazenamento é que eles cobram uma percentagem sobre o valor recebido pelo componente, quando este é vendido. Este valor está em torno de 10-15% para o ferro, por exemplo.

Como exemplo, existe uma empresa certificada no Ceará para a reciclagem de ferro; mas ela só aceita uma quantidade a partir de 300 toneladas, o que é inviável para a Ecoletas. Eles têm agentes credenciados para receber este material, mas estes, por sua vez, exigem uma quantidade mínima de quatro toneladas para realizar a coleta.

A Ecoletas também mantém acordo com a empresa Essence, que dispõe de um aterro sanitário industrial, para aqueles resíduos perigosos que não puderem ser reaproveitados. Entretanto, evita-se esse tipo de destinação.

Na Figura 9, mostra-se o processo de descaracterização dos REEE coletados, assim como as baias de disposição dos componentes. Percebe-se que os funcionários utilizam Equipamentos de Proteção Individual (EPIs).

Figura 9 – Linha de montagem com funcionários devidamente uniformizados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014.

Com relação aos funcionários, aqueles que trabalham na linha de desmonte, estes utilizam EPIs como luvas de proteção, botas com biqueira metálica. No dia da entrevista não havia funcionários temporários trabalhando. Eles também dispõem de espaço próprio para depositar seus pertences, além de a empresa Ecoletas respeitar rigidamente os horários de entrada, almoço e saída, garantindo que os funcionários trabalhem exatamente o que é estipulado em lei.

Apesar de a empresa não possuir certificações do tipo ISO, ela possui licenciamento ambiental e investe mensalmente em consultoria para melhoramento dos processos internos. Futuramente, a ideia é que a empresa adquira uma ISO, porém os investimentos a serem realizados são altos e, atualmente, em Fortaleza, o negócio não tem rentabilidade suficiente para um investimento desse porte.

Com relação às principais dificuldades relatadas pelo sócio-diretor da empresa, podemos citar:

“A informalidade, a falta de conhecimento do gerador em aplicar o PPGRS, a própria fiscalização para que se aplique o PGRS. Eu acho que são os maiores entraves. O gerador não destina adequadamente, falta fiscalização de órgãos competentes por permitir que façam isso, e a informalidade, pessoas que praticam o descarte”.

Como sugestões propostas, Marcos Bonanzini é favor de financiamentos para a cadeia produtiva da reciclagem.

“Estas formas de financiamento é que têm que ser estudadas. Pode envolver a Academia, quais são as linhas de crédito que o governo disponibiliza para o setor, tá? E a partir dali você pensar é que o Governo pode tá ajudando a configuração de investimento da cadeia produtiva da reciclagem, como a gente tá falando de eletroeletrônico, da cadeia produtiva da reciclagem de eletroeletrônicos... Que existem várias linhas de financiamento e algumas com crivo do governo..”

Ainda segundo ele, é papel do Governo trazer as partes responsáveis pelo gerenciamento de REEE para uma negociação, para participar em um modelo adequado de gestão desse tipo de resíduo. Tal ação já está sendo executada por meio dos acordos setoriais e, ao fim de 2013, é possível que seja efetuado um acordo entre indústria, produtores, exportadores e comerciantes em geral. (GUARNIERI, 2013). Entretanto, outros entraves advirão desses acordos setoriais. Um deles é a localização dos pontos de coleta de REEE.

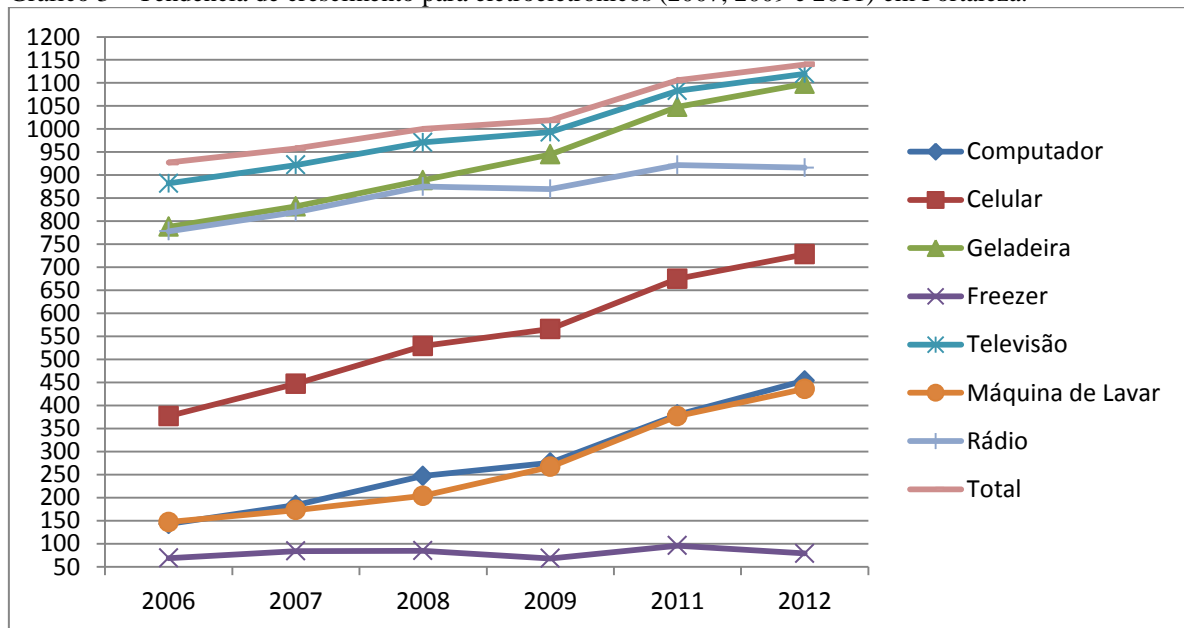
“Já tem algumas coisas definidas. Fortaleza deve ter 70 pontos de coleta. Cidades acima de 60-80 mil habitantes, a cada 25 mil tem que ter um ponto de coleta. Eles computam supermercados. As lâmpadas fluorescentes são horríveis de serem recicladas, são frágeis e têm grande poder de contaminação. Mas porque que o comércio não quer aceitar? Por que a alocação de área de prateleiras é caríssima; não necessariamente que aquilo

seja alocado, ela pode ser de propriedade do próprio comércio, o equipamento espaço é de investimento próprio, mas tem que contar como locação. Tá? Então aquela ocupação de área de prateleira de venda, ela é caríssima. Imagina você ter uma área de locação para recebimento, a conta fica na mão exclusivamente do comércio. Essa conta fica na mão exclusivamente do comércio, como centro de captação, como primeiro ponto de coleta, então o ataque de pontos de coleta fica na mão do comércio e ele tem a certeza de que ele não tem que ficar com essa conta; não que ele não tenha que pagar, mas que essa conta não pode ser dele...”

## 4.2 Estimativa de geração de REEE em Fortaleza

De acordo com o Gráfico 3, que avalia o crescimento do número de eletroeletrônicos ao longo de tempo, com dados extraídos do PNAD (IBGE, 2013), optou-se pelo modelo logístico de crescimento populacional para projeção do número de eletroeletrônicos no município de Fortaleza.

Gráfico 3 – Tendência de crescimento para eletroeletrônicos (2007, 2009 e 2011) em Fortaleza.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2014. Obs.: os números se referem exclusivamente a usuários domésticos.

Nota-se que apenas o equipamento freezer não segue a tendência dos outros, sendo adotado um valor constante ao longo do tempo, para este último. Os números finais encontram-se na Tabela 9, expressos em toneladas (o detalhamento dos cálculos está nos anexos).

Tabela 9 – Projeção dos Equipamentos Eletroeletrônicos (em toneladas) em Fortaleza.

| Ano  | Computador | Celular | Geladeira | Televisão | Maquina | Rádio   | Freezer | Total    |
|------|------------|---------|-----------|-----------|---------|---------|---------|----------|
| 2007 | 982,01     | 20,71   | 3990,83   | 2301,45   | 589,93  | 1705,60 | 320,11  | 9910,637 |
| 2009 | 1473,01    | 26,23   | 4532,85   | 2478,68   | 910,47  | 1809,60 | 320,11  | 11550,95 |
| 2011 | 2028,06    | 31,28   | 5026,91   | 2703,33   | 1285,57 | 1917,76 | 320,11  | 13313,01 |
| 2012 | 2300,82    | 33,47   | 5250,68   | 2839,56   | 1473,73 | 1973,37 | 320,11  | 14191,74 |
| 2013 | 2555,05    | 35,41   | 5457,34   | 2996,41   | 1650,78 | 2029,99 | 320,11  | 15045,09 |
| 2014 | 2782,53    | 37,09   | 5646,39   | 3178,82   | 1810,14 | 2087,59 | 320,11  | 15862,65 |
| 2015 | 2978,73    | 38,50   | 5817,83   | 3393,43   | 1947,94 | 2146,15 | 320,11  | 16642,68 |
| 2016 | 3142,67    | 39,68   | 5972,08   | 3649,36   | 2063,02 | 2205,66 | 320,11  | 17392,58 |
| 2017 | 3276,08    | 40,65   | 6109,88   | 3959,59   | 2156,38 | 2266,09 | 320,11  | 18128,78 |
| 2018 | 3382,30    | 41,44   | 6232,21   | 4343,13   | 2230,35 | 2327,42 | 320,11  | 18876,96 |
| 2019 | 3465,43    | 42,08   | 6340,20   | 4829,05   | 2287,85 | 2389,62 | 320,11  | 19674,34 |
| 2020 | 3529,61    | 42,59   | 6435,04   | 5464,14   | 2331,91 | 2452,66 | 320,11  | 20576,05 |
| 2021 | 3578,65    | 42,99   | 6517,99   | 6328,77   | 2365,29 | 2516,50 | 320,11  | 21670,3  |
| 2022 | 3615,81    | 43,31   | 6590,26   | 7573,75   | 2390,36 | 2581,12 | 320,11  | 23114,72 |
| 2023 | 3643,81    | 43,57   | 6653,00   | 9519,012  | 2409,07 | 2646,48 | 320,11  | 25235,05 |
| 2024 | 3664,81    | 43,77   | 6707,32   | 12983,11  | 2422,97 | 2712,53 | 320,11  | 28854,62 |
| 2025 | 3680,49    | 43,92   | 6754,24   | 20874,62  | 2433,26 | 2779,25 | 320,11  | 36885,89 |

Fonte: elaborado pelo autor, 2014. Obs.: os números se referem exclusivamente a usuários domésticos.

Vale ressaltar que foram assumidas as hipóteses: a totalidade dos REEE foi considerada como sendo composta de computadores (*desktops* e *notebooks*), celulares, geladeiras, televisores, máquinas de lavar, *freezers* e rádios (*microsystems*). Para os televisores, não foram considerados os dispositivos LCD, apenas os tubos de raios catódicos. A proporção considerada para o cálculo de computadores foi de 90% de *desktops* e 10% de *notebooks*. Os números se referem exclusivamente a usuários domésticos.

Para o valor total de resíduos produzidos em 2024, por exemplo, tem-se aproximadamente 28.800 toneladas aproximadamente – apenas de usuários domésticos. Se considerarmos os números de eletroeletrônicos coletados na Europa, cerca de 30% do que é descartado, será necessária uma capacidade de aproveitamento de ~8.600 toneladas.. De acordo com ABDI (2012) será necessária apenas uma usina grande (12.000 ton). Sendo assim, será investida uma quantia de R\$ 178.000,00. Para manutenção, será necessária uma quantia mensal de R\$ 41.670,00 (ver detalhamento dos fluxos de caixa nos anexos).

Com relação aos pontos de coleta, Fortaleza apresenta uma população de 2.452.185; levando-se em consideração a informação fornecida por Marcos Bonanzini, de que deve existir um ponto de coleta a cada 25.000 habitantes, Fortaleza contaria com cerca de 100

pontos de coleta. Como a cidade tem 119 bairros, aproximadamente 20 deles ficariam sem pontos de coleta, daí a necessidade de se estabelecer algum critério para selecionar os bairros mais adequados para a instalação.

Se as hipóteses assumidas para a estimativa de projeção de REEE estiverem alinhadas com a realidade, Fortaleza necessitará de uma usina de triagem de grande porte (12.000 toneladas de REEE/ano). Assumindo também que haverá um ponto de coleta para cada 25.000 habitantes, para a população projetada de Fortaleza de aproximadamente 2,5 milhões de habitantes, serão necessários 100 pontos de coleta para o município. Pelo número limitado de recursos, não poderá ser instalado um ponto em cada bairro.

### 4.3 PROMETHEE

Após envio dos questionários, aguardou-se três semanas o recebimento das respostas. Os respondentes deveriam atribuir notas de 0 a 10 a cada critério, assim como sugerir outros critérios que achassem relevantes. A Figura 10 mostra o modelo de questionário.

Figura 10 – Modelo de questionário para seleção de critérios

|    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|--|--|--|
| 1  | CUSTO DO TERRENO  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 2  | CUSTO DA MÃO-DE-OBRA  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 3  | CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 4  | PROXIMIDADE DA MALHA VIÁRIA (presença de ruas asfaltadas)                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 5  | EFEITOS DE AGLOMERAÇÃO (presença de compradores de resíduos recicláveis etc.) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 6  | POPULAÇÃO   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 7  | AUSÊNCIA DE OUTROS PONTOS DE COLETA   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 8  | PRESENÇA DE MÃO-DE-OBRA   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 9  | PRESENÇA DE PROGRAMA/PROJETO/AÇÃO DE GESTÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 10 | PRESENÇA DE INCENTIVOS FINANCEIROS PARA ATIVIDADES AMBIENTAIS                 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 11 | STATUS FINANCEIRO DA POPULAÇÃO  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 12 | FAIXA ETÁRIA DA POPULAÇÃO   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 13 | DISTÂNCIA DO BAIRRO ATÉ O CENTRO DE PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS*                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 14 | RESTRIÇÕES DE CAPACIDADE DE VEÍCULOS**  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 15 | PRESENÇA DE ONG OU DE INICIATIVA LOCAL PARA COLETA DE REEE (Sim/Não)***       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
| 16 | EXISTÊNCIA DE RESTRIÇÕES AMBIENTAIS   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |  |  |  |
|    |   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |  |  |  |

Fonte: elaborado pelo autor, 2014.

No questionário realizado, foram propostos 15 critérios diferentes, e os participantes poderiam contribuir sugerindo outros critérios, o que um deles resolveu fazer. Do total de 28 questionários, cinco foram respondidos. Apesar da baixa participação, os cinco participantes pertenciam a diferentes categorias de pessoas relacionadas à logística reversa: um deles era estudante de doutorado com tema sobre logística reversa e desenvolvimento sustentável, outro era gestor de uma companhia de saneamento, trabalhando na área de logística reversa de REEE, outro era vice-diretor de uma empresa de coleta e destinação final



de REEE, outros dois eram professores de ensino superior, um especialista em resíduos sólidos e outro em logística.

Dentre os critérios propostos, cinco obtiveram menor destaque, sendo descartados da análise multicritério: custo de mão-de-obra, custo de energia elétrica, presença de mão-de-obra, faixa etária da população e presença de Organização Não-Governamental e/ou iniciativa local para coleta de REEE. Quanto aos dois primeiros critérios descartados, faz maior sentido utilizá-los em agrupamentos menos uniformes, como diferentes regiões de um país, onde não exista um valor padronizado de salário.

Após inserção dos dados de cada um dos critérios no programa, foram obtidos os valores de  $\phi$ ,  $\phi^-$  e  $\phi^+$ , por meio do PROMETHEE rankings. Segundo o manual do PROMETHEE, os fluxos  $\phi$  são computados para consolidar os resultados das comparações par-a-par das ações para ranquear todas as ações, da melhor para a pior.

- $\phi^+$  (fluxo positivo): o fluxo de preferências positivas mede quanto uma ação “a” é preferida em relação às outras (n-1) ações. É uma medida global das forças da ação “a”. Quanto maior  $\phi^+$  de “a”, melhor a ação.
- $\phi^-$  (fluxo negativo): o fluxo de preferência negativo mede quanto outras (n-1) ações são preferidas em relação a uma medida global das fraquezas da ação “a”. Quanto menor for  $\phi^-$  de “a”, melhor a ação.
- $\phi$  (balanço do fluxo): leva em consideração e agrega tanto as forças quanto as fraquezas da ação em uma única medida.

Não foram encontrados dados oficiais do governo do estado no que concerne ao preço de m<sup>2</sup> por terreno, assim como à presença de recicladoras de resíduos recicláveis nos bairros de Fortaleza. Sendo assim, tais informações foram obtidas por meio de consulta informal e ligações telefônicas a sites de corretoras e por meio de listas de endereços virtuais. Isso posto, a confiabilidade dos dados está diretamente ligada à fidedignidade das fontes consultadas.

A Figura 11 ilustra a tela do Visual PROMETHEE com cada um dos critérios utilizados, assim como suas unidades. Podem-se observar os dados para cada um dos bairros analisados.

Figura 11 – Visual PROMETHEE com os dez critérios e dados de cada critério inseridos

| Scenario1  | populacao | renda    | distancia | preco_terreno      | restricao | aglomeracao | financiamento | programa | pavimentacao | outro_ponto |
|--|-----------|----------|-----------|--------------------|-----------|-------------|---------------|----------|--------------|-------------|
| Unit   | unit      | R\$      | km        | R\$/m <sup>2</sup> | y/n       | y/n         | y/n           | y/n      | y/n          | y/n         |
| Cluster/Group  | ◆         | ◆        | ◆         | ◆                  | ◆         | ◆           | ◆             | ◆        | ◆            | ◆           |
| <b>Preferences</b>                                       |           |          |           |                    |           |             |               |          |              |             |
| Min/Max  | max       | max      | min       | min                | min       | max         | max           | max      | max          | min         |
| Weight   | 1,00      | 1,00     | 1,00      | 1,00               | 1,00      | 1,00        | 1,00          | 1,00     | 1,00         | 1,00        |
| Preference Fn.   | Gaussian  | Gaussian | Gaussian  | Gaussian           | Usual     | Usual       | Usual         | Usual    | Usual        | Usual       |
| Thresholds   | absolute  | absolute | absolute  | absolute           | absolute  | absolute    | absolute      | absolute | absolute     | absolute    |
| - Q: Indifference  | n/a       | n/a      | n/a       | n/a                | n/a       | n/a         | n/a           | n/a      | n/a          | n/a         |
| - P: Preference  | n/a       | n/a      | n/a       | n/a                | n/a       | n/a         | n/a           | n/a      | n/a          | n/a         |
| - S: Gaussian  | 14732,93  | 692,70   | 4,12      | 647,77             | n/a       | n/a         | n/a           | n/a      | n/a          | n/a         |
| <b>Statistics</b>  |           |          |           |                    |           |             |               |          |              |             |
| Minimum  | 1342,00   | 239,25   | 1,50      | 114,58             | 0,00      | 0,00        | 0,00          | 0,00     | 1,00         | 0,00        |
| Maximum  | 76044,00  | 3659,54  | 24,00     | 3783,00            | 1,00      | 1,00        | 0,00          | 0,00     | 1,00         | 1,00        |
| Average  | 20606,60  | 876,76   | 11,00     | 752,65             | 0,12      | 0,33        | 0,00          | 0,00     | 1,00         | 0,03        |
| Standard Dev.  | 14710,98  | 691,77   | 4,14      | 644,84             | 0,32      | 0,47        | 0,00          | 0,00     | 0,00         | 0,16        |
| <b>Evaluations</b>                                       |           |          |           |                    |           |             |               |          |              |             |
| <input checked="" type="checkbox"/> (Arraial) Moura B... | 3765,00   | 444,89   | 14,00     | 1521,00            | no        | no          | no            | no       | yes          | no          |
| <input checked="" type="checkbox"/> (Bairro) De Lourdes  | 3370,00   | 3211,09  | 13,00     | 911,99             | no        | no          | no            | no       | yes          | no          |
| <input checked="" type="checkbox"/> (Lagoa) Sapiranga    | 32158,00  | 893,65   | 10,00     | 611,11             | no        | no          | no            | no       | yes          | no          |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aerolândia           | 11360,00  | 482,28   | 5,50      | 997,58             | no        | no          | no            | no       | yes          | no          |
| <input checked="" type="checkbox"/> Aeroporto            | 8618,00   | 398,13   | 9,00      | 350,00             | no        | no          | no            | no       | yes          | no          |

Fonte: elaborado pelo autor, 2014.

Existem cinco tipos de distribuições: linear, V-shape, U-shape, gaussiana e usual.

Para o primeiro critério selecionado - custo do terreno -, serão utilizados valores em R\$/m<sup>2</sup>. Os dados foram obtidos inicialmente por meio de pesquisa em corretoras. Foram escolhidos três *sites* de corretores: Marcelo Fiúza Consultoria Imobiliária, Viva Real e Buscaimoveis.com para a pesquisa do preço de terrenos. Os preços foram pesquisados por bairro e representam a média aritmética dos valores máximos e mínimos encontrados em cada *site*.

Para o segundo critério - proximidade da malha viária -, foram utilizados os critérios Sim ou Não. Foram avaliadas todas as ruas do bairro e, em caso de ruas pavimentadas em número superior a 90%, foi adotado o valor Sim. Caso contrário, o valor adotado foi Não. Os dados foram extraídos do site da Prefeitura Municipal de Fortaleza (FORTALEZA, 2013).

O terceiro critério adotado foi a presença de efeitos de aglomeração, ou seja, a presença de compradores de materiais recicláveis como plásticos, ferro, cobre, alumínio e outros recicláveis presentes em tais materiais de REEE. Para reunir informações dessa natureza, foi utilizado o site do Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE), onde há uma lista de compradores de recicláveis por estado; também foram utilizadas listas

telefônicas virtuais, como Telelistas.net, Guiamais.com, Apontador.com.br. Para esse critério foi utilizado Sim ou Não. Sim corresponde a existência de compradores (não importa o número); Não, a ausência.

O quarto critério adotado foi a população no bairro – que é um poderoso indicador de geração de lixo. Por meio de CEARÁ (2012), além da população do bairro, também foram obtidos dados do critério cinco: renda da população por bairro, em R\$. O sexto critério é a ausência de pontos de coleta. Não faz sentido implantar um ponto de coleta, onde já exista um. Esse dado foi obtido com investigação pela cidade de Fortaleza.

O sétimo critério e oitavo se referem à presença, respectivamente, de programa de gestão de REEE e de incentivos financeiros para atividades ambientais. Ambos os critérios foram obtidos por meio de consulta à Regional dos bairros, realizada em início de dezembro de 2013. Vale ressaltar que Fortaleza ainda está se organizando com relação aos REEE, não dispondo de nenhuma ação específica voltada a tais resíduos.

O nono critério se refere à distância do bairro até o centro de processamento de resíduos, em quilômetros (km). Este dado foi obtido mapeando-se o centro de processamento que se localiza no bairro Cajazeiras e tomando-se a distância dele até cada um dos bairros por meio do programa *Google Maps*.

Por fim, o último critério se refere à presença de restrição de transporte naquele bairro para veículos com determinada carga. Esse dado foi obtido por meio da Portaria Nº 08/2010 (FORTALEZA, 2010), que restringe o fluxo de veículos com mais de 2,5 toneladas em determinados bairros de Fortaleza. Dos 119 bairros, 14 deles fazem parte destas restrições: Aldeota, Benfica, Centro, Cocó, Dionísio Torres, Fátima, Joaquim Távora, Jose Bonifácio, Meireles, Mucuripe, Papicu, Parque Iracema, São João do Tauape e Varjota.

Inicialmente optou-se por inserir os dados na forma de dez critérios (Figura 10). Entretanto, foi difícil atribuir significado à tabela resultante (para todos os critérios). Sendo assim, a análise com os 10 critérios foi descartada. Em seguida, foram avaliados os resultados para critérios quantitativos (quatro critérios) apenas. Os resultados seguem na Tabela 10.

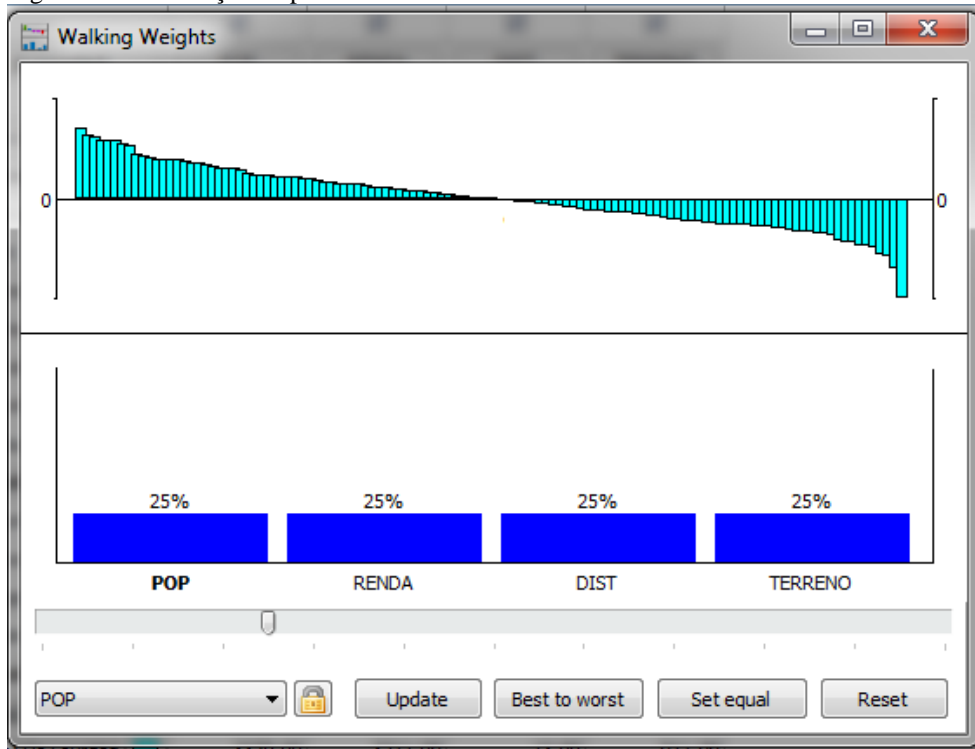
Tabela 10 – Primeiros Classificados de acordo com critérios quantitativos (4 critérios)

|           |                               |
|-----------|-------------------------------|
| <b>1</b>  | <b>Prefeito José Walter</b>   |
| <b>2</b>  | Cidade dos Funcionários       |
| <b>3</b>  | Barroso                       |
| <b>4</b>  | Vicente Pinzón                |
| <b>5</b>  | Passaré                       |
| <b>6</b>  | Jangurussu                    |
| <b>7</b>  | Itaperi                       |
| <b>8</b>  | Messejana                     |
| <b>9</b>  | Planalto Ayrton Senna         |
| <b>10</b> | Serrinha                      |
| <b>11</b> | (Lagoa) Sapiranga             |
| <b>12</b> | São João do Tauape            |
| <b>13</b> | Parque Dois Irmãos            |
| <b>14</b> | Parreão                       |
| <b>15</b> | Conjunto Palmeiras            |
| <b>16</b> | Aldeota                       |
| <b>17</b> | Cambeba                       |
| <b>18</b> | Engenheiro Luciano Cavalcante |
| <b>19</b> | Salinas                       |
| <b>20</b> | Ancuri                        |
| <b>21</b> | Mondubim                      |
| <b>22</b> | Manuel Sátiro                 |
| <b>23</b> | José de Alencar               |
| <b>24</b> | Jacarecanga                   |
| <b>25</b> | Lagoa Redonda                 |
| <b>26</b> | Montese                       |
| <b>27</b> | Meireles                      |
| <b>28</b> | Fátima                        |
| <b>29</b> | Vila União                    |
| <b>30</b> | Henrique Jorge                |

Fonte: elaborado pelo autor, 2014.

A Figura 12 ilustra a janela do software PROMETHEE Acadêmico para realização da análise de sensibilidade, isto é, atribuição de pesos aos fatores utilizados na análise com o objetivo de analisar uma alteração significativa nos resultados. Na análise inicial, os quatro fatores contavam com a mesma proporção: 25%.

Figura 12 – Atribuição de pesos no software PROMETHEE



Fonte: elaborado pelo autor, 2014.

Para a análise de sensibilidade, foi variado apenas o critério de preço do terreno de cada um dos bairros, atribuindo um peso de 40% para esse critério, enquanto os outros ficaram com 20% cada. Os resultados (análise com quatro critérios) para os 35 primeiros bairros colocados em cada um dos  $\phi$  encontram-se abaixo, na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultado da análise de sensibilidade para modificação do preço do terreno

**Ranking Análise de Sensibilidade**

|                               |
|-------------------------------|
| Jangurussu                    |
| Itaperi                       |
| Messejana                     |
| Planalto Ayrton Senna         |
| Serrinha                      |
| (Lagoa) Sapiranga             |
| São João do Tauape            |
| Parque Dois Irmãos            |
| Parreão                       |
| Aldeota                       |
| Cambeba                       |
| Engenheiro Luciano Cavalcante |
| Salinas                       |
| Ancuri                        |
| Mondubim                      |
| Manuel Sátiro                 |
| José de Alencar               |
| Jacarecanga                   |
| Lagoa Redonda                 |
| Montese                       |
| Meireles                      |
| Fátima                        |
| Vila União                    |
| Henrique Jorge                |
| Cocó                          |
| Granja Portugal               |
| Jardim das Oliveiras          |
| Alto da Balança               |
| Granja Lisboa                 |
| Itaóca                        |

FONTE: elaborado pelo autor, 2014.

## 4.4 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

### 4.4.1 Coleta de dados

#### Primeira Etapa

Carvalho Júnior (2013) destaca dois tipos principais de indicadores que influenciam na geração de lixo urbano: indicadores socioeconômicos e ambientais. Dentre os indicadores levantados, o autor cita: população, Produto Interno Bruto, Índice de Desenvolvimento Humano, Coeficiente de Gini, INPC e IPCA, consumo de água e de energia

e geração de lixo. Os dados para esta análise foram obtidos por meio de contato com gestores e por meio de visitas ao local onde estes se encontravam. Alguns dados não existiam pelo tamanho da amostra (PIB por bairro e IDH por Regional) e outros não foram disponibilizados (geração de lixo por bairro).

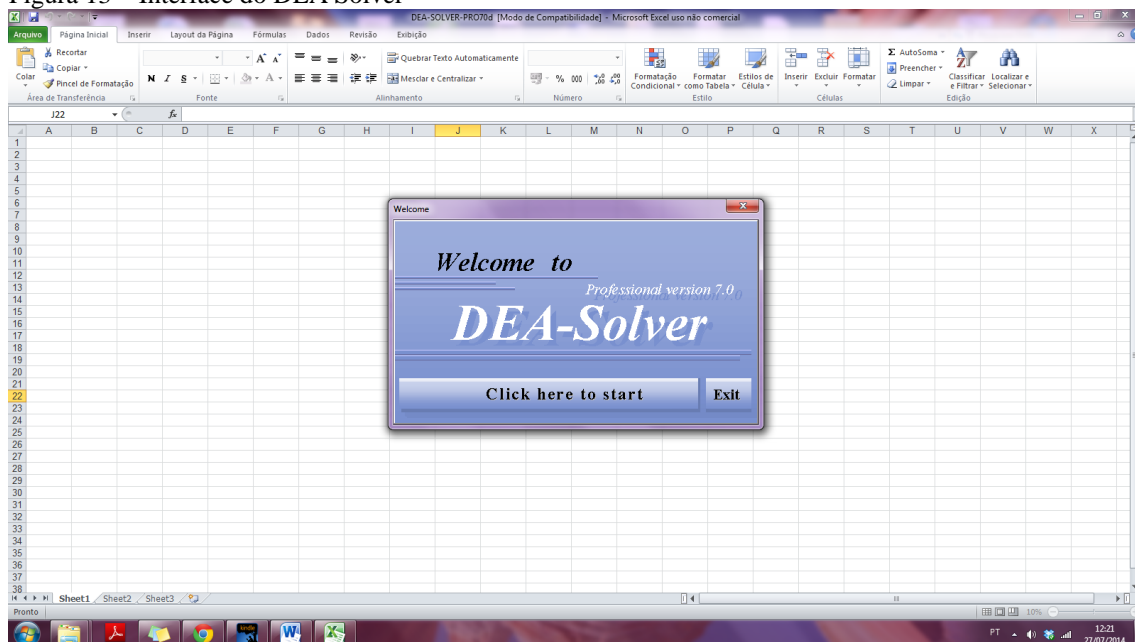
## Segunda Etapa

O consumo de energia mensal por bairro foi obtido junto à Companhia de Eletricidade do Ceará (Coelce). Eles correspondem ao valor médio do mês de março de 2014, estando expressos em kWh/ mês.

O consumo de água mensal por bairro foi obtido junto à Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece). Eles correspondem às médias dos meses de março de 2010 a março de 2013.

É interessante notar como se deu a aplicação dos dados no Programa DEA Solver, um *software* acoplado ao Microsoft Excel, como ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Interface do DEA Solver



Fonte: elaboração própria, 2014.

Ao executar o aplicativo, é necessário se selecionar os dados e escolher o tipo de modelo: BCC-O, CCR-O etc. Em seguida, é necessário se nomear o arquivo de saída. O DEASolver fornece várias abas para análise: Plan1, Summary, Score, Rank, Graph1, Graph2, Projection, Weight, Weighted Data, Slack, RTS.

Antes da escolha do arquivo final para análise, foram feitos testes alterando-se os inputs e outputs de cada amostra. Vale ressaltar que foram escolhidos como DMUs os 119 bairros do município de Fortaleza.

No primeiro teste foram escolhidos como inputs: população, terreno, restrição e local; como outputs: renda, consumo de água e IDH. Esta análise resultou em 3178 interações no simplex. Ao total, 25 unidades foram consideradas eficientes (Tabela 12).

Tabela 12 – Análise 1 (bairros eficientes)

| <b>Rank</b> | <b>DMU-Análise 1</b>    |
|-------------|-------------------------|
| 1           | Varjota                 |
| 2           | São João do Tauape      |
| 3           | (Bairro) De Lourdes     |
| 4           | Salinas                 |
| 5           | Sabiaguaba              |
| 6           | Praia de Iracema        |
| 7           | Aldeota                 |
| 8           | Planalto Ayrton Senna   |
| 9           | Pedras                  |
| 10          | Parreão                 |
| 11          | Parque Iracema          |
| 12          | Papicu                  |
| 13          | Mucuripe                |
| 14          | Meireles                |
| 15          | Manuel Dias Branco      |
| 16          | José Bonifácio          |
| 17          | Benfica                 |
| 18          | Guararapes              |
| 19          | Granja Portugal         |
| 20          | Gentilândia             |
| 21          | Dionísio Torres         |
| 22          | Cocó                    |
| 23          | Coaçu                   |
| 24          | Cidade dos Funcionários |
| 25          | Centro                  |

Fonte: elaboração própria, 2014.

Essa análise foi descartada por não considerar os dados relativos ao consumo de energia, que foram posteriormente adicionados.

No segundo teste foram escolhidos como inputs e outputs os mesmos valores da análise anterior, acrescentando-se apenas o consumo de energia como input. Outra alteração em relação à análise anterior foi a redução do número de DMUs, que passou de 119 a 109, devido à ausência de dados de consumo de água e de energia para alguns bairros. A análise



resultou em 3576 interações com simplex. Trinta (30) DMUs foram consideradas eficientes (Tabela 13).

Tabela 13 – Análise 2 (bairros eficientes)

| <b>Rank</b> | <b>DMU – Análise 2</b>  |
|-------------|-------------------------|
| 1           | Varjota                 |
| 2           | São João do Tauape      |
| 3           | Salinas                 |
| 4           | Sabiaguaba              |
| 5           | Presidente Vargas       |
| 6           | Aldeota                 |
| 7           | Alto da Balança         |
| 8           | Praia de Iracema        |
| 9           | Pedras                  |
| 10          | Parreão                 |
| 11          | Parque Iracema          |
| 12          | Papicu                  |
| 13          | Mucuripe                |
| 14          | Barroso                 |
| 15          | Meireles                |
| 16          | Benfica                 |
| 17          | Manuel Dias Branco      |
| 18          | José Bonifácio          |
| 19          | Joaquim Távora          |
| 20          | Jangurussu              |
| 21          | Guararapes              |
| 22          | Granja Portugal         |
| 23          | Granja Lisboa           |
| 24          | Dionísio Torres         |
| 25          | Centro                  |
| 26          | Cristo Redentor         |
| 27          | Cidade dos Funcionários |
| 28          | Coaçu                   |
| 29          | Cocó                    |
| 30          | Conjunto Palmeiras      |

Fonte: elaboração própria, 2014.

Finalmente, a última análise considerou o total de inputs e outputs da análise anterior. Assim como o total de DMUs. Percebeu-se que a escolha de certas variáveis como inputs estava discordante com a metodologia proposta por Cooper *et al* (2006).

#### 4.4.2 Classificação das variáveis

Segundo a metodologia proposta por Cooper *et al* (2006), output é um indicador cujo aumento na variável irá aumentar o índice de eficiência, de acordo com o objetivo pretendido na análise. Input é o oposto.

Sendo assim, para a parte I, população, lixo gerado e renda são considerados outputs, enquanto o índice de Gini é considerado input.

Para a parte II, população, renda, consumo de água, consumo de energia, IDH, e local contribuem para um aumento da eficiência. Os outros dois indicadores que sobraram: preço do terreno e restrição são considerados inputs.

#### 4.4.3 Análise exploratória e tratamento de dados

Neste tópico atenta-se para possíveis DMUs eficientes pelo único motivo de serem extremas. Caso alguma das DMUs eficientes tenha valor extremo, pode-se cogitar a exclusão de um dos parâmetros. Na Tabela 14 são apresentadas as correlações entre os *inputs* e *outputs* adotados para a avaliação de eficiência entre as SER. Apesar da grande correlação entre renda e índice de Gini, optou-se por manter todos os parâmetros utilizados.

Tabela 14 – Correlação entre dados (Primeira Etapa)

|       | GINI     | POPUL    | LIXO     | RENDA    |
|-------|----------|----------|----------|----------|
| GINI  | 1        | -0,29027 | -0,13362 | 0,96733  |
| POPUL | -0,29027 | 1        | 0,936369 | -0,37479 |
| LIXO  | -0,13362 | 0,936369 | 1        | -0,28687 |
| RENDA | 0,96733  | -0,37479 | -0,28687 | 1        |

Fonte: elaborado pelo autor, 2014.

Na Tabela 15 são apresentados dados de média, desvio-padrão, coeficiente de variação, mínimo, mediana e máximo, quartis. Esses dados são importantes para caracterizar os dados analisados.

Tabela 15 – Análise exploratória dos dados (parte II)

|            | POPUL    | RENDA   | ÁGUA      | IDH  | TERRENO | RESTR. | LOCAL | ENERGIA |
|------------|----------|---------|-----------|------|---------|--------|-------|---------|
| MÉDIA      | 21297,22 | 878,78  | 86101,26  | 0,39 | 765,96  | 0,87   | 0,18  | 311,24  |
| DESV-PADR. | 14936,52 | 679,98  | 63053,84  | 0,18 | 655,20  | 0,34   | 0,38  | 294,46  |
| COEF. VAR. | 0,70     | 0,77    | 0,73      | 0,46 | 0,86    | 0,39   | 0,15  | 0,95    |
| MÍNIMO     | 1342,00  | 287,92  | 1034,17   | 0,14 | 116,88  | 0,00   | 0,00  | 112,42  |
| 10 QUARTIL | 10403,25 | 468,57  | 42714,46  | 0,26 | 304,51  | 1,00   | 0,00  | 164,13  |
| MEDIANA    | 16579,50 | 620,94  | 68210,79  | 0,35 | 537,55  | 1,00   | 0,00  | 206,88  |
| 30 QUARTIL | 28801,50 | 1019,58 | 109321,96 | 0,50 | 986,90  | 1,00   | 0,00  | 340,31  |
| MÁXIMO     | 76044,00 | 3659,54 | 355257,17 | 0,95 | 3783,00 | 1,00   | 1,00  | 2072,52 |

Fonte: elaborado pelo autor, 2014.

As correlações entre os indicadores podem apontar para dados redundantes. Como observado na Tabela 16, no entanto, nenhuma destas correlações foi maior que 90,00%. Sendo assim, todos os indicadores foram mantidos na execução do DEA.

Tabela 16 – Correlação entre os dados (Segunda Etapa)

|           | POPUL   | ÁGUA    | TERRENO | RESTRICAO | LOCAL   | ENERGIA | RENDA   | IDH     |
|-----------|---------|---------|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|
| POPUL     | 100,00% | 75,73%  | -20,37% | 2,75%     | 28,40%  | 12,17%  | -20,10% | -31,15% |
| ÁGUA      | 75,73%  | 100,00% | 10,01%  | -29,44%   | 26,56%  | 9,65%   | 16,15%  | 8,40%   |
| TERRENO   | -20,37% | 10,01%  | 100,00% | -60,31%   | -0,92%  | 3,35%   | 73,80%  | 77,01%  |
| RESTRICAO | 2,75%   | -29,44% | -60,31% | 100,00%   | 2,37%   | -13,69% | -63,47% | -64,35% |
| LOCAL     | 28,40%  | 26,56%  | -0,92%  | 2,37%     | 100,00% | -5,45%  | -7,79%  | -12,52% |
| ENERGIA   | 12,17%  | 9,65%   | 3,35%   | -13,69%   | -5,45%  | 100,00% | 9,11%   | 3,05%   |
| RENDA     | -20,10% | 16,15%  | 73,80%  | -63,47%   | -7,79%  | 9,11%   | 100,00% | 88,78%  |
| IDH       | -31,15% | 8,40%   | 77,01%  | -64,35%   | -12,52% | 3,05%   | 88,78%  | 100,00% |

Fonte: elaborado pelo autor, 2014.

### Parte I – Regionais

Os benchmarks são unidades de referência para os bairros que não obtiveram eficiência máxima. A análise se baseia nas DMUs que obtiveram eficiência máxima e que apresentam características similares à DMU que precisa ser melhorada. Um exemplo de benchmark é apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Benchmarks para a análise DEA das Regionais

| Rank | DMU       | Score   | Benchmark |        |            |        | U(1)<br>POPUL | U(2)<br>LIXO | U(3) GINI |
|------|-----------|---------|-----------|--------|------------|--------|---------------|--------------|-----------|
|      |           |         | SER II    | SER VI | SER CENTRO | SER V  |               |              |           |
| 1    | SERCENTRO | 100,00% |           |        |            |        | 0,00000%      | 0,00000%     | 0,09408%  |
| 2    | SER VI    | 100,00% |           |        |            |        | 0,00003%      | 0,00028%     | 0,00000%  |
| 3    | SER II    | 100,00% |           |        |            |        | 0,00000%      | 0,00014%     | 0,04066%  |
| 4    | SER V     | 100,00% |           |        |            |        | 0,00018%      | 0,00000%     | 0,00000%  |
| 5    | SER I     | 91,43%  | 7,92%     |        | 9,94%      | 82,14% | 0,00000%      | 0,00000%     | 0,16990%  |
| 6    | SER III   | 85,39%  | 16,19%    |        | 11,74%     | 72,08% | 0,00000%      | 0,00000%     | 0,15180%  |
| 7    | SER IV    | 81,02%  |           | 38,60% | 4,09%      | 57,31% | 0,00000%      | 0,00000%     | 0,11821%  |

Fonte: elaborado pelo autor, 2014.

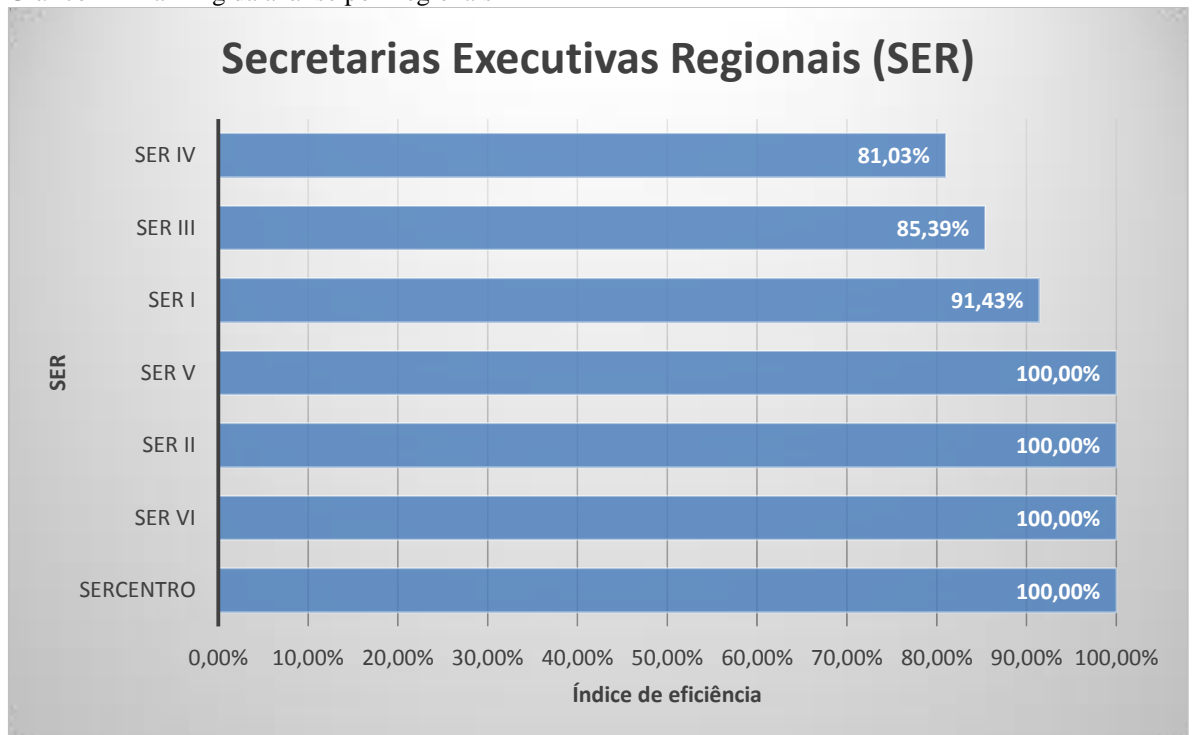
Para a primeira análise DEA utilizada foram designadas sete Decision Making Units (DMUs), que correspondem às sete Secretarias Executivas Regionais do município de Fortaleza. Foram escolhidos quatro parâmetros de análise, de acordo com os dados (indicadores) obtidos por Regionais. Os indicadores foram: população, geração de lixo por

ano, renda per capita da população e índice de Gini. O índice de Gini foi considerado um input e os outros indicadores outputs.

Após 46 interações no simplex, o programa DEASolver Pro 7.0 forneceu a Tabela 17, com uma média de 0,9398 de eficiência entre as sete DMUs e 0,0749 de desvio-padrão. Os valores máximos e mínimos foram, respectivamente, 1 e 0,8103. Não houve entrada de dados em formato inapropriado.

Analisando as informações fornecidas pela Tabela 15, quatro Secretarias Executivas Regionais (SER) obtiveram máximo aproveitamento: SERCENTRO, SER VI, SER II e SER V. Isso significa que, de acordo com o conjunto das regionais, as de maior ranking têm maior aproveitamento de seus parâmetros (população, renda, geração de lixo e índice de gini) em relação às demais (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Ranking da análise por Regionais



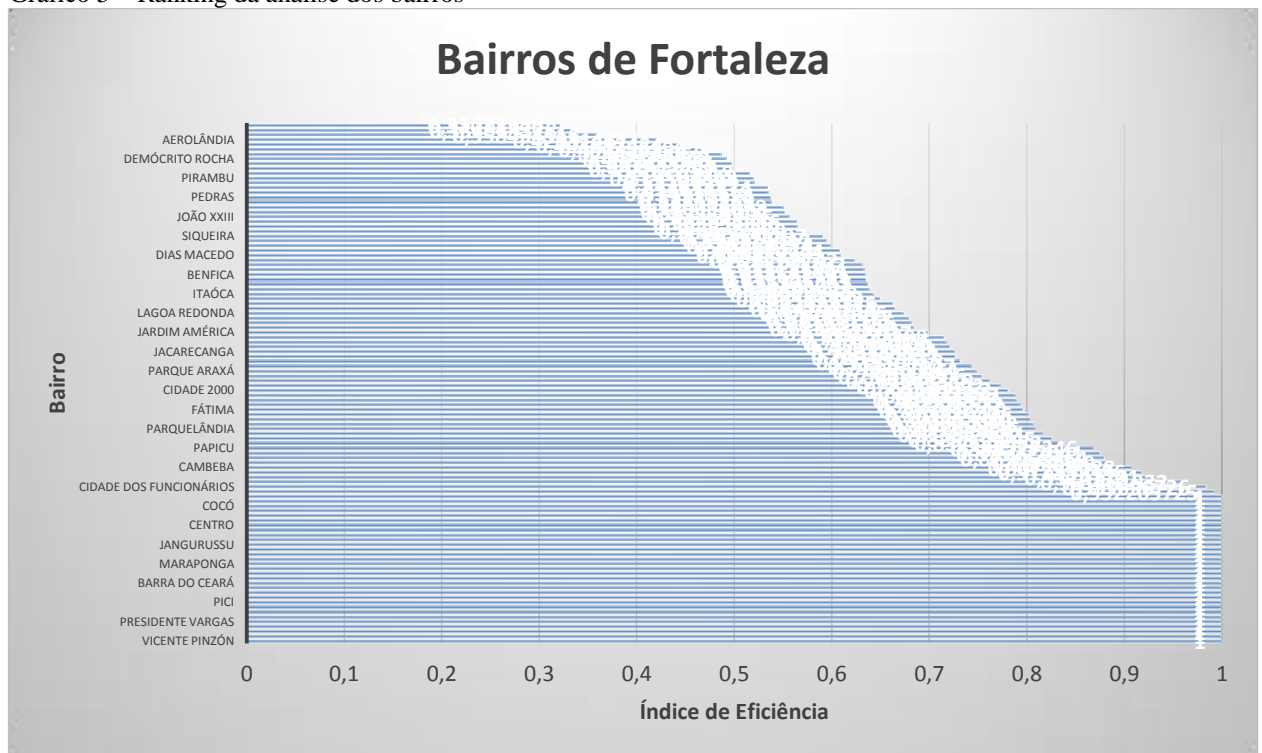
Fonte: elaborado pelo autor, 2014.

Na aba Benchmark, essas DMUs de máximo aproveitamento servem de modelo para que as outras DMUs alcancem a máxima eficiência. Os pesos de fatores de input/output provêm os parâmetros (e suas respectivas proporções) que deverão ser alterados para que a DMU tenha eficiência de 100% (máxima). No caso analisado, por exemplo, existe fator de 16,99% como input de índice de gini para a SER I. Isso implicaria na alteração desse índice para tornar a SER I uma DMU eficiente. No entanto, tal índice não é facilmente alterado.

Apesar de não ser aplicável no contexto analisado, em outros casos, é possível que algum input/output possa ser alterado e, conseqüentemente, a DMU se torne eficiente após a alteração.

## Parte II – Bairros

Gráfico 5 – Ranking da análise dos bairros



Fonte: elaborado pelo autor 2014.

Para a segunda análise DEA utilizada, foram designadas 108 Decision Making Units (DMUs), que correspondem aos bairros do município de Fortaleza. Na totalidade, o município conta com 119 bairros; entretanto, os dados obtidos de consumo de água e energia não contemplavam todos os bairros, sendo necessário extrair da população aqueles não contemplados.

Foram escolhidos oito parâmetros de análise, de acordo com os dados (indicadores) obtidos por bairros. Os indicadores foram: população (número de habitantes), renda per capita (R\$ mensal por habitante), IDH (adimensional), preço do terreno por m<sup>1</sup> (R\$/m<sup>2</sup>), consumo mensal de água (m<sup>3</sup>) e de energia (kWh/mês), restrição no tráfego (duas variáveis: sim ou não) e melhores locais de acordo com set recovery problem (duas variáveis 1; 0). O preço do terreno e as restrições de local foram considerados inputs e os outros indicadores, outputs.

Após 3546 iterações no simplex, o programa DEASolver Pro 7.0 forneceu o Quadro 15, com uma média de 0,7668 de eficiência entre as sete DMUs e 0,1958 de desvio-padrão. Os valores máximos e mínimos foram, respectivamente, 1 e 0,3207. Não houve entrada de dados em formato inapropriado.

Analisando as informações obtidas do *ranking*, 21 bairros obtiveram desempenho eficiente, de acordo com o Quadro 15.

Quadro 15 – Bairros eficientes na análise DEA

| <b>Ranking</b> | <b>Bairro</b>      | <b>SER</b> |
|----------------|--------------------|------------|
| 1              | Vicente Pinzón     | II         |
| 2              | São João do Tauape | II         |
| 3              | Salinas            | II         |
| 4              | Presidente Vargas  | V          |
| 5              | Aldeota            | II         |
| 6              | Alto da Balança    | VI         |
| 7              | Parreão            | IV         |
| 8              | Mondubim           | V          |
| 9              | Barra do Ceará     | I          |
| 10             | Barroso            | VI         |
| 11             | Messejana          | VI         |
| 12             | Meireles           | II         |
| 13             | Joaquim Távora     | II         |
| 14             | Jangurussu         | VI         |
| 15             | Granja Portugal    | V          |
| 16             | Granja Lisboa      | V          |
| 17             | Genibaú            | V          |
| 18             | Centro             | SERCENTRO  |
| 19             | Coaçu              | VI         |
| 20             | Cocó               | II         |
| 21             | Cristo Redentor    | I          |

Fonte: elaborado pelo autor 2014.

Destes, 90% se encontram em bairros das regionais SERCENTRO, II, V e VI. Esses bairros servem de referência para as DMUs que não são eficientes.

Devido ao grande número de DMUs, foi escolhido um trecho do ranking para ser analisado com relação às DMUs que serviram de referência, como indicado na Tabela 18.

Tabela 18 – Trecho de bairros de referência para as unidades não eficientes

| Bairro                        | Escore | Ranking |          | Referência1 |        | Referência 2 |        |
|-------------------------------|--------|---------|----------|-------------|--------|--------------|--------|
| <b>(Arraial) Moura Brasil</b> | 33,50% | 107     | 2,985437 | Aldeota     | 94,36% | Parreão      | 5,64%  |
| <b>Aerolândia</b>             | 42,03% | 105     | 2,37917  | Aldeota     | 56,97% | Parreão      | 43,03% |
| <b>Amadeu Furtado</b>         | 87,91% | 39      | 1,13758  | Aldeota     | 32,78% | Parreão      | 67,22% |
| <b>Benfica</b>                | 63,46% | 77      | 1,575714 | Aldeota     | 55,86% | Meireles     | 44,14% |
| <b>Bom Futuro</b>             | 77,27% | 54      | 1,294103 | Aldeota     | 27,85% | Parreão      | 72,15% |
| <b>Couto Fernandes</b>        | 59,85% | 83      | 1,670887 | Aldeota     | 10,71% | Parreão      | 89,29% |
| <b>Demócrito Rocha</b>        | 49,22% | 101     | 2,031742 | Aldeota     | 60,62% | Parreão      | 39,38% |
| <b>Dionísio Torres</b>        | 91,79% | 36      | 1,089494 | Aldeota     | 19,01% | Meireles     | 80,99% |
| <b>Ellery</b>                 | 53,82% | 92      | 1,858074 | Aldeota     | 68,07% | Parreão      | 31,93% |
| <b>Fátima</b>                 | 79,61% | 49      | 1,256153 | Aldeota     | 92,80% | Meireles     | 7,20%  |
| <b>Guararapes</b>             | 96,15% | 34      | 1,040083 | Aldeota     | 4,15%  | Meireles     | 95,85% |
| <b>Jardim América</b>         | 69,86% | 65      | 1,431356 | Aldeota     | 21,43% | Parreão      | 78,57% |
| <b>José Bonifácio</b>         | 73,15% | 59      | 1,367018 | Aldeota     | 84,41% | Meireles     | 15,59% |

Fonte: elaborado pelo autor, 2014.

Das DMUs que serviram de referência, aquela que mais foi citada como referência foi a Aldeota, referenciada 64 vezes. Este foi seguido de Parreão (60), Mondubim (46), Granja Portugal (18) e Alto da Balança (17).

O bairro Aldeota, da Regional II, tem 42.361 habitantes. Sua renda média é de R\$2.901,57. Seu consumo médio mensal de água e de energia foi de, em média, 288.984m<sup>3</sup> e 832,86 kWh. O preço médio do terreno foi de R\$1600,00/m<sup>2</sup>. O IDH é de 0,86654. O bairro tem restrição de transporte e não foi um dos escolhidos pelo set *covering*.

O bairro Parreão, pertencente à Regional IV, conta com 11.072 habitantes (2010) e tem renda média de R\$ 1.202,45. Seu consumo médio de água é de 30.707 m<sup>3</sup>/mês e 231,24 kWh/mês. O preço encontrado para seu terreno foi de R\$200/ m<sup>2</sup>. Seu IDH é de 0,57195. Lá não há restrição de transporte e este bairro não foi um dos escolhidos geograficamente pelo modelo set *covering*.

O bairro Mondubim tem 76.044 habitantes, renda média de R\$500,06. Pertence à Regional V. Seu consumo média mensal de água e energia foi de, aproximadamente, 215.331m<sup>3</sup> e 668,22 kWh. O preço médio do terreno é de, aproximadamente, R\$ 526,83/m<sup>2</sup>. O IDH é de 0,2330. O bairro não tem restrição de transporte e foi um dos escolhidos pelo *set covering problem*.

O bairro Granja Portugal, da SER V, tem 39.651 habitantes e renda média de R\$334,83. O consumo mensal de água e energia foi, respectivamente, 244.012m<sup>3</sup> e 154,61kWh. O preço do terreno é de R\$164,14/m<sup>2</sup>. O IDH é de 0,1902. O bairro não tem restrição de transporte e não foi um dos escolhidos pelo *set covering problem*.

#### **4.4.4 Comparação entre os dois métodos**

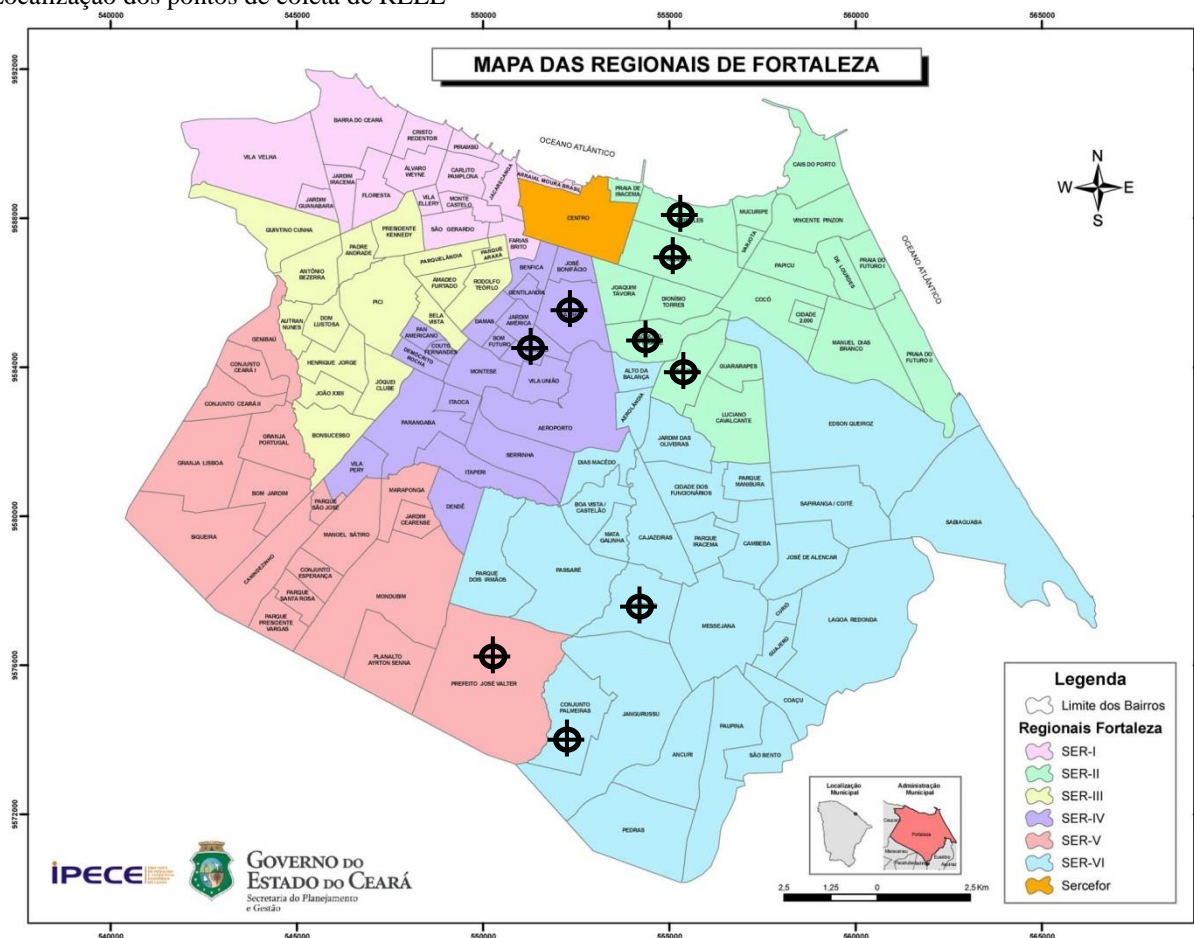
Comparando-se os dois métodos, sete bairros se destacam nas análises realizadas com o PROMETHEE e com o DEA simultaneamente: Aldeota, Barroso, Conjunto Palmeiras, Fátima, Meireles, Parreão, Prefeito José Walter, Salinas, São João do Tauapé.

Os bairros Álvaro Weyne, Aerolândia, Barra do Ceará, Curió, Jardim Guanabara, Jardim Iracema, Pirambu, Presidente Vargas e Vila Velha foram aqueles cujos índices foram inferiores (30 piores índices) em ambas as análises, devendo ter baixa prioridade de instalação de pontos de coleta.

Vale lembrar que 10 bairros foram excluídos da análise por DEA: Conjunto Ceará I e II, Praia do Futuro I e II, Bairro de Lourdes, Cais do Porto, Dendê, Gentilândia, Guajeru e São Bento. A Figura 14 ilustra graficamente os bairros selecionados pelas análises.



Figura 14 – Localização dos pontos de coleta de REEE



Fonte: adaptado de IPECE (2014).

#### 4.5 Custos de Instalações de Reciclagem de REEE

Para investimentos na implantação de usinas de triagem, seguem as estimativas de ABDI (2012), referentes ao caso do Brasil no contexto da logística reversa de eletroeletrônicos. Do ponto de vista econômico, é mais vantajoso construir uma usina de 12.000 toneladas, ao invés de construir duas médias e uma pequena. Os custos da usina de triagem de 12.000 toneladas constam na Tabela 19.

Tabela 19 – Custos estimados anuais de instalação de usina de triagem de REEE de 12.000 toneladas

| Equipamento                    | Quantidade | Valor Unitário | Valor Total    | Percentual |
|--------------------------------|------------|----------------|----------------|------------|
| <b>Empilhadeira</b>            | 2          | R\$ 40.000,00  | R\$ 80.000,00  | 44,94%     |
| <b>Esteira</b>                 | 2          | R\$ 20.000,00  | R\$ 40.000,00  | 22,47%     |
| <b>Paletizadora</b>            | 2          | R\$ 15.000,00  | R\$ 30.000,00  | 16,85%     |
| <b>Carrinhos tração humana</b> | 10         | R\$ 1.200,00   | R\$ 12.000,00  | 6,74%      |
| <b>Balanças</b>                | 2          | R\$ 4.500,00   | R\$ 9.000,00   | 5,06%      |
| <b>Containers transportes</b>  | 20         | R\$ 100,00     | R\$ 2.000,00   | 1,12%      |
| <b>Escritório</b>              | 1          | R\$ 5.000,00   | R\$ 5.000,00   | 2,81%      |
| <b>Valor total</b>             |            |                | R\$ 178.000,00 |            |

Fonte: ABDI (2012).

A construção de duas usinas de triagem médias (3.600 ton.) e uma pequena (1.200 ton.) custaria R\$ 227.500,00 por ano, o que supera o valor de R\$ 178.000,00/anual para a construção de apenas uma usina de triagem de grande porte.

Em termos de manutenção, para a quantidade de 8.600 toneladas, também é mais vantajoso (do ponto de vista econômico) se instalar uma usina grande. Seguindo a lógica da análise anterior, o custo de construção de duas usinas médias e uma pequena resultaria em uma valor de R\$ 561.600,00 anuais, o que é superior ao valor da construção de uma usina grande. Os custos estão representados na tabela 20.

Tabela 20 – Custos estimados anuais de manutenção de usina de triagem de REEE de 12.000 toneladas

| <b>Capacidade anual (ton)</b> |                   | <b>12.000</b>         |                    |                   |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| <b>Equipamento</b>            | <b>Quantidade</b> | <b>Valor Unitário</b> | <b>Valor Total</b> | <b>Percentual</b> |
| <b>Colaboradores</b>          | 18                | R\$ 650,00            | R\$ 11.700,00      |                   |
| <b>Impostos</b>               | 18                | R\$ 702,00            | R\$ 12.636,00      |                   |
| <b>Galpão</b>                 | 400               | R\$ 15,00             | R\$ 6.000,00       |                   |
| <b>EPI</b>                    | 30                | R\$ 100,00            | R\$ 3.000,00       |                   |
| <b>Outros gastos</b>          | 20%               | R\$ 41.670,00         | R\$ 8.334,00       |                   |
| <b>Valor total mensal</b>     |                   | R\$ 41.670,00         |                    |                   |
| <b>Valor anual</b>            |                   | R\$ 500.040,00        |                    |                   |
| <b>Valor / ton (min)</b>      | 41,67             |                       | Min. Ton           |                   |

Fonte: ADBI (2012).

De acordo com ADBI (2012), o custo do ponto de recebimento de duas toneladas, com termo de recebimento, é de R\$ 19.350,00, levando-se em conta pessoal, espaço em m<sup>2</sup>, material de escritório e segurança. A Tabela 21 resume a estimativa destes custos.

Tabela 21 – Estimativa de custos para pontos de coleta de REEE

| <b>Equipamento</b>               | <b>Quantidade</b> | <b>Valor Unitário</b> | <b>Valor Anual tot.</b> |
|----------------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>Pessoal</b>                   | 1,05              | R\$ 1.500,00          | R\$ 18.900,00           |
| <b>Espaço (m<sup>2</sup>)</b>    | 8                 | R\$ 35,00             | R\$ 280,00              |
| <b>Material de escritório</b>    | 1                 | R\$ 50,00             | R\$ 50,00               |
| <b>Segurança (m<sup>2</sup>)</b> | 8                 | R\$ 15,00             | R\$ 120,00              |
| <b>Valor total</b>               |                   | R\$ 1.600,00          | R\$ 19.350,00           |

Fonte: ADBI (2012).

Visando facilitar os cálculos e padronizar a construção, os pontos de coleta foram considerados com operando com a mesma capacidade (duas toneladas) em todos os pontos. Optou-se por operar com termo de doação – um documento que conta com a assinatura do doador-, pois isso facilitaria a coleta de dados para estudos futuros, além de ratificar a legalidade dos procedimentos perante o doador.

## 5. CONCLUSÕES

Na análise realizada com DEA, 21 bairros se destacaram como eficientes: Vicente Pinzon, São João do Tauapé, Salinas, Presidente Vargas, Aldeota, Alto da Balança, Parreão, Mondubim, Barra do Ceará, Barroso, Messejana, Meireles, Joaquim Távora, Jangurussu, Granja Portugal, Granja Lisboa, Genibaú, Centro, Coaçu, Coco e Cristo Redentor.

Nas duas análises, PROMETHEE e DEA, os bairros presentes foram: Aldeota, Barroso, Conjunto Palmeiras, Parreão, Prefeito José Walter, Salinas e São João do Tauapé;

Os bairros Álvaro Weyne, Aerolândia, Barra do Ceará, Curió, Jardim Guanabara, Jardim Iracema, Pirambu, Presidente Vargas e Vila Velha foram aqueles cujos índices foram inferiores (30 piores índices) em ambas as análises, devendo ter baixa prioridade de instalação de pontos de coleta.

Os critérios selecionados para as análises com PROMETHEE foram: preço do terreno, população do bairro, renda da população do bairro e distância do bairro até o centro de processamento de REEE existente no município. Para o DEA os critérios foram, por bairro: população, consumo de água (em Litros/mês) mensal, preço do terreno (R\$/m<sup>2</sup>), consumo de energia mensal (KWh/mês), presença de restrições de transporte, renda da população, Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e localização de acordo com um set covering problem.

No Ceará existem diversas organizações que coletam eletroeletrônicos (ex. Emaús), mas apenas uma empresa é licenciada para realizar a disposição adequada deste tipo de resíduos. É válido se ressaltar que os governos municipais e estaduais ainda não estão aptos a lidar com REEE.

Se as hipóteses assumidas para a estimativa de projeção de REEE estiverem alinhadas com a realidade, Fortaleza gerará uma quantidade de 15,8 toneladas de lixo eletroeletrônico em 2014, considerando apenas os REEE domésticos. Em 2025, essa quantidade será de 36,8 toneladas.

Os custos de se implantar uma usina de triagem para quantidade de resíduos estimada (12 toneladas) são de R\$ 178.000,00. Para se manter essa estrutura são necessários R\$ 500.000,00 anuais. Já para os pontos de coleta – considerando uma estrutura de 2 toneladas por ponto de coleta, o custo de manutenção é de R\$19.350,00.

## REFERÊNCIAS

ACHILLAS, Ch. et al. Decision support system for the optimal location of electrical and electronic waste treatment plants: A case study in Greece. **Waste Management**, [s.i.], v. 30, n. 5, p.870-879, maio 2010. Mensal. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X09005315>>. Acesso em: 16 dez. 2013.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. Brasília: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2012. 178 p. Disponível em: <[http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl\\_1362058667.pdf](http://www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1362058667.pdf)>. Acesso em: 16 dez. 2013.

ANDUEZA, F. **Legislação brasileira comparada de lixo eletrônico e resíduos sólidos**. 2009. LIXO ELETRÔNICO. Disponível em: <<http://www.lixoeletronico.org/blog/legislacao-brasileira-comparada-de-lixo-eletronico-e-residuos-solidos>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

ÂNGULO-MEZA, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; CLÍMACO, J. C. N.. Estudos conjuntos de análise envoltória de dados (DEA) e programação linear multiobjetivo (PLMO): uma revisão bibliográfica. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção (UFF)**, v. 6, p. 5, 2006. Disponível em: <[http://www.producao.uff.br/conteudo/rpep/volume62006/RelPesq\\_V6\\_2006\\_05.pdf](http://www.producao.uff.br/conteudo/rpep/volume62006/RelPesq_V6_2006_05.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2014.

AZADEH, A.; GHADERI, S.F.; NASROLLAHI, M.R.. Location optimization of wind plants in Iran by an integrated hierarchical Data Envelopment Analysis. **Renewable Energy**, [s.i.], v. 36, n. 5, p.3993-4004, out. 2008. Mensal. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148110005069>>. Acesso em: 06 mar. 2014.

BATISTA, F. D. **Metodologia para o Uso da Análise por Envoltória de Dados no Auxílio à Decisão**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009. Disponível em: <<http://juno.unifei.edu.br/bim/0034807.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

BEHZADIAN, M. et al. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. **European Journal Of Operational Research**, [s.i.], v. 200, n. 1, p.198-215, 1 jan. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221709000071>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

BEIRIZ, F. A. S. **Gestão Ecológica de Resíduos Eletrônicos - proposta de modelo conceitual de gestão**. 2005. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão: organização e estratégia) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2005.

BLASER, F.; SCHLUEP, M. **Economic Feasibility of e-Waste Treatment in Tanzania**. St. Gallen: United Nations Industrial Development Organization, 2012. 51 p. Disponível em: <[http://www.ewasteguide.info/Blaser\\_2012\\_UNIDO-Empa](http://www.ewasteguide.info/Blaser_2012_UNIDO-Empa)>. Acesso em: 09 maio 2014.

BLASER, F.; SCHLUEP, M. **Current Situation and Economic Feasibility of e-Waste Recycling in Morocco**. St. Gallen: Swiss Federal Institute For Materials Science And Technology (EMPA), 2011. 86 p. Disponível em: <[http://www.ewasteguide.info/files/Blaser\\_2011\\_HP-Empa.pdf](http://www.ewasteguide.info/files/Blaser_2011_HP-Empa.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2014.

BOUZON, M B et al. Reverse Logistics Drivers: Perspectives in a Reverse Logistics Service Provider in Southern Brazil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 4., 2013, São Paulo. **Proceedings...** . São Paulo: International Workshop Advances In Cleaner Production, 2013. p. 1 - 10.

BRASIL, Lei 12.395, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF. Disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em 16 jan. 2014.

BRASIL. ABNT lança norma técnica para logística reversa de eletroeletrônicos no Brasil. Disponível em: <<http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/noticia.php?area=2&noticia=12364>>. Acesso em 14. Jan 2014.

CAMPOS, V. R. **Modelo de apoio à decisão multicritério para priorização de projetos em saneamento**. 2011. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18157/tde-08022012-104925/publico/VanessaRibeiroCampos.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2013.

CANADA. Philippe Cantin. Government Of The Northwest Territories. **Inventory and Feasibility Assessment of Electronic Waste Recovery in the Northwest Territories: Final Report**. Ottawa: Dessau, 2012. 162 p. Disponível em: <[http://icarenwt.ca/uploads/files/final\\_report\\_068-p0000378-0100-mr-0100-01\\_dec\\_10\\_2012.pdf](http://icarenwt.ca/uploads/files/final_report_068-p0000378-0100-mr-0100-01_dec_10_2012.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2014.

CARVALHO JUNIOR, F. H. de . **ESTUDOS DE INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE E SUA CORRELAÇÃO COM A GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NA CIDADE DE FORTALEZA-CE**. 2013. 210 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 2013.

CEARA. V. H. de O. S. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (Org.). **Perfil Municipal de Fortaleza: Tema VII: Distribuição Espacial da Renda Pessoal**. 2012. Disponível em: <[http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ipece-informe/informe\\_42-ultimaversao.pdf](http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/ipece-informe/informe_42-ultimaversao.pdf)>. Acesso em: 16 dez. 2013.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (Org.). **Mapa das Regionais de Fortaleza**. Disponível em: <[http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11/pdf/Mapa\\_Regionais\\_Fortaleza.pdf](http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/11/pdf/Mapa_Regionais_Fortaleza.pdf)>. Acesso em 29 julh. 2014.

Centro de Estudos Sobre As Tecnologias da Informação e da Comunicação (CETIC). **Acesso às Tecnologias da Informação e da Comunicação (TIC): A2 - TIPO DE COMPUTADOR**

PRESENTE NO DOMICÍLIO. 2010. Disponível em: <<http://cetic.br/usuarios/tic/2010/rel-geral-02.htm>>. Acesso em: 09 maio 2014.

CHAVES, A. C. A. **AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA EM DMU (DECISION MAKING UNITS) UTILIZANDO A TECNOLOGIA DEA (DATA ENVELOPMENT ANALYSIS): estudo de caso: unidades de atendimento do INSS, agências da previdência social, da gerência executiva Fortaleza.** 2007. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Computação, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2007. Disponível em: <<http://escola.previdencia.gov.br/monografia/monografia2.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTO DO CEARÁ – CAGECE. **Relatório de dados do Consumo de Água de Fortaleza por bairro – 2010 a 2013.** Fortaleza, 2014.

COMPANHIA ENERGÉTICA DO CEARÁ – COELCE. **Relatório de dados do Consumo de Energia Elétrica de Fortaleza por bairro – março de 2014.** Fortaleza, 2014.

COOPER, W. W.; SEIFORD, L. M.; TONE, K. *Introduction to Data Envelopment Analysis and its uses: with DEA-Solver software and references.* New York: Springer, 2006.

ECOLETAS AMBIENTAL. **Ecoletas Ambiental Blog: Quem somos.** 2014. Disponível em: <[http://ecoletas.blogspot.com.br/p/sobre\\_24.html](http://ecoletas.blogspot.com.br/p/sobre_24.html)>. Acesso em: 01 jun. 2014.

FERREIRA, C. M. de C.; GOMES, A. P.. **Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFC), 2009. 389 p.

FORTALEZA (AUTARQUIA MUNICIPAL DE TRÂNSITO, SERVIÇOS PÚBLICOS E DE CIDADANIA DE FORTALEZA), Portaria N° 08 de 28 de janeiro de 2010.

FORTALEZA (Regionais). Disponível em: <<http://www.fortaleza.ce.gov.br/regionais>>. Acesso em: 14 jan. 2014.

FORTALEZA, Secretaria de Infraestrutura. Mapa de Obras de Fortaleza. Disponível em: <http://www.fortaleza.ce.gov.br/seinf/mapa-de-obras-de-fortaleza>. Acesso em: 16 dez. 2013.

FRANCO, R. G. F.; LANGE, L. C. Estimativa do fluxo dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Eng Sanit Ambient**, Belo Horizonte, v. 16, n. 1, p.73-82, mar. 2011. Trimestral. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n1/a11v16n1>>. Acesso em: 09 maio 2014.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. Tomada de decisões em cenários complexos: introdução aos métodos discretos de apoio multicritério. São Paulo: Thompson, 2004.

GUARNIERI, P. Uma análise da logística reversa de eletroeletrônicos sob o ponto de vista das alternativas de descarte propiciadas ao consumidor final. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS, 3., 2013, Recife. **Anais...** Recife: Massangana, 2013. p. 39 - 50. Disponível em: <[http://www2.portodigital.org/portodigital/ARQUIVOS\\_ANEXO/ANAIS\\_SIREE\\_2013.pdf](http://www2.portodigital.org/portodigital/ARQUIVOS_ANEXO/ANAIS_SIREE_2013.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2014.

HORI, M. **Custos da logística reversa de pós-consumo**: um estudo de caso dos aparelhos e das baterias de telefonia celular descartados pelos consumidores. 2010. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade: Contabilidade) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12136/tde-13102010-194905/>>. Acesso em: 7 fev. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DA LOGÍSTICA REVERSA POR CADEIA PRODUTIVA**: Produtos e embalagens pós-consumo. [s.i]: Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2012. 143 p. Disponível em: <[http://www.aliancaspUBLICOPrivadas.org.br/app/wp-content/uploads/2014/03/12case\\_evte-vpsite1.pdf](http://www.aliancaspUBLICOPrivadas.org.br/app/wp-content/uploads/2014/03/12case_evte-vpsite1.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Fortaleza. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/1Z7>. Acesso em 16 jan. 2014.

KANG, H.-Y.; SCHOENUNG, J. M. Estimation of future outflows and infrastructure needed to recycle personal computer systems in California. **Journal of Hazard. Mat.**, B137, p. 1165-1174, abr. 2006. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389406003360> >. Acesso em: 2 fev. 2012.

KANG, H.-Y.; SCHOENUNG, J. M. Economic Analysis of Electronic Waste Recycling: Modeling the Cost and Revenue of a Materials Recovery Facility in California. **Environ. Sci. Technol.** 2006, 40, 1672-1680. Disponível em: <>. Acesso em: 28 agos. 2012

KASSAI, Silvia. *Utilização da Análise por Envoltória de Dados (DEA) na Análise de Demonstrações Contábeis*. Tese (Doutorado) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

KLIMBERG, R. K.; RATICK, S. J. Modeling data envelopment analysis (DEA) efficient location/allocation decisions. **Computers and Operations Research**, [s.i.], v. 35, n. 2, p.457-474, fev. 2008. Mensal. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054806000992>>. Acesso em: 06 mar. 2014.

V. Kumar, D.J. Bee, P.S. Shirodkar, S. Tumkor, B.P. Bettig, J.W. Sutherland. Towards sustainable product and material flow cycles: identifying barriers to achieving product multi-use and zero waste. **Proceedings of IMECE 2005**. 2005 ASME international mechanical engineering congress and exposition, Orlando, FL, USA, November 5–11 (2005)

LAISSAOUI, S. E.; ROCHAT, D. **Rapport technique de l'état des lieux de la gestion des e-déchets au Maroc**. Centre Marocain de Production Propre (CMPP); Swiss Federal Institute For Materials Science And Technology (EMPA), 2008, 70 p. Disponível em: <[http://www.gd-maroc.info/fileadmin/user\\_files/pdf/bibliotheque/Rap-tech-etat-lieux-gestion-e-waste-Maroc.pdf](http://www.gd-maroc.info/fileadmin/user_files/pdf/bibliotheque/Rap-tech-etat-lieux-gestion-e-waste-Maroc.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2014.

LEITE, P.R., LAVEZ, N., DE SOUZA, V.M. Fatores Da Logística Reversa Que Influem No Reaproveitamento Do “Lixo Eletrônico” – Um Estudo No Setor De Informática. Disponível em <[http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2009/artigos/E2009\\_T00166\\_PCN20771.pdf](http://www.simpoi.fgvsp.br/arquivo/2009/artigos/E2009_T00166_PCN20771.pdf)>. Acesso em 6 fev. 2012.

LINS, M.P.E.; ÂNGULO-MEZA, L. **Análise Envoltória de Dados e perspectivas de integração no ambiente do Apoio à Decisão**. Editora da COOPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000. 232 p.

MACHARIS, C. et al. PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis: Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. **European Journal Of Operational Research**, [s.i.], v. 153, n. 2, p.307-317, 1 mar. 2004. Quinzenal. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037722170300153X>>. Acesso em: 23 dez. 2013.

MEIUS ENGENHARIA LTDA. **Diagnóstico da Geração de Resíduos Eletroeletrônicos no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2009. 80 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/4E1B1104/DiagGer\\_REE\\_MG\\_FEAM\\_EMPA.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/4E1B1104/DiagGer_REE_MG_FEAM_EMPA.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2014.

MIGUEZ, E.C. Logística Reversa de Produtos Eletrônicos: Benefícios Ambientais e Financeiros, Rio de Janeiro, UFRJ, 2007. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - , Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <[http://teses2.ufrj.br/Teses/COPPE\\_M/EduardoCorreiaMiguez.pdf](http://teses2.ufrj.br/Teses/COPPE_M/EduardoCorreiaMiguez.pdf)> Acesso em: 2 julh. 2012.

MORAES, E. A.; SANTALIESTRA, R. Modelo de Decisão com Múltiplos Critérios para Escolha de Software de Código Aberto e Software de Código Fechado. Anais XXXI Encontro da ANPAD, Rio de Janeiro, RJ, 2007.

NATARAJA, N. R.; JOHNSON, A. L. Guidelines for using variable selection techniques in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, Vol. 215, n. 3, p. 662-669, 2011.

NNOROM, I.C.; OSIBANJO, O. Overview of electronic waste (e-waste) management practices and legislations, and their poor applications in the developing countries. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.i.], v. 52, n. 6, p.843-858, abr. 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344908000165>>. Acesso em: 09 maio 2014.

PUCKETT, J. (Seattle). The Basel Action Network. **Exporting harm: the high-tech trashing of Asia**. Seattle: The Basel Action Network, 2002. 54 p. Disponível em: <<http://www.ban.org/E-waste/technotrashfinalcomp.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2014.

QUEIRUGA, D. et al. Evaluation of sites for the location of WEEE recycling plants in Spain. **Waste Management**, [s.i.], v. 8, n. 1, p.181-190, outubro 2008. Mensal. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X06003266>>. Acesso em: 16 dez. 2013.



RICARDO MOURA (Fortaleza). Universidade Estadual do Ceará (Org.). **Mapa da Criminalidade e da Violência em Fortaleza: Regional I**. 2011. Uma publicação do Laboratório de Direitos Humanos, Cidadania e Ética da Universidade Estadual do Ceará-LabVida-UECE, Laboratório de Estudos da Conflitualidade da Universidade Estadual do Ceará-COVIO-UECE, Laboratório de Estudos da Violência da Universidade Federal do Ceará-LEV-UFC. Disponível em: <[http://www.uece.br/covio/dmdocuments/regional\\_I.pdf](http://www.uece.br/covio/dmdocuments/regional_I.pdf)>. Acesso em: 23 dez. 2013.

ROBINSON, H. BRETT. E-waste: An assessment of global production and environmental impacts. **Science of the Total Environment**. 408, p. 183–191, out. 2009. Disponível em: <> Acesso em: 20 abr. 2012.

SANTOS, C. A. F. dos. **A gestão dos resíduos eletroeletrônicos e suas consequências para a sustentabilidade**: Um estudo de múltiplos casos na região metropolitana de Porto Alegre. 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Departamento de Departamento de Ciências Administrativas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/55137>>. Acesso em: 09 maio 2014.

SCHLUEP et al. **Recycling**: from e-waste to resources. Berlin: United Nation Environmental Programme, 2009. 120 p. Disponível em: <[http://www.unep.org/pdf/Recycling\\_From\\_e-waste\\_to\\_resources.pdf](http://www.unep.org/pdf/Recycling_From_e-waste_to_resources.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2014

SEPLIS, A.N.; CASTILHO, R.O.; DE ARAÚJO, J.A.B. **Logística Reversa de Resíduos Eletroeletrônicos**. *Tékhnē e Lógos*, Botucatu, SP, v.3, n.2, Julho. 2012. 18 páginas. Disponível em: <<http://www.fatecbt.edu.br/seer/index.php/tl/article/viewFile/121/119>>. Acesso em 01 out. 2012.

SENRA, L. F. A. de C. et al. Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA. **Pesquisa Operacional**, [s.i.], v. 27, n. 2, p.191-207, maio 2007. Trimestral. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0101-74382007000200001&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s0101-74382007000200001&script=sci_arttext&tlng=pt)>. Acesso em: 10 mar. 2014.

SIDDHARTH PRAKASH (Germany). Öko-institut E.v.. **Socio-economic assessment and feasibility study on sustainable e-waste management in Ghana**. Freiburg: Öko-institut E.v., 2010. 118 p. Disponível em: <<http://www.oeko.de/oekodoc/1057/2010-105-en.pdf>>. Acesso em: 09 maio 2014.

SILVA et al. Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos: Proposta para implementação de Sistema de Logística Reversa de Refrigeradores no Brasil. 3º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Resíduos.

SOARES, S. R. **Análise multicritério como instrumento de gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 2003. Disponível em: <[www.ens.ufsc.br/~soares](http://www.ens.ufsc.br/~soares)>. Acesso em: 13 nov. 2004.

TAKAMURA, Y.; TONE, K.. A comparative site evaluation study for relocating Japanese government agencies out of Tokyo. **Socio-economic Planning Sciences**, [s.i.], v. 37, n. 2,

p.85-102, jun. 2003. Trimestral. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038012102000496>>. Acesso em: 06 mar. 2014.

THANASSOULIS, E. **Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis**. Binningham: Springer Science, 2003. 296 p.

TSYDENOVA, O.; BENGTTSSON, M. Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment. **Waste Management**, Kanagawa, v. 31, n. 1, p.45-58, 2011. Mensal. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X10004393>>. Acesso em: 09 maio 2014.

UNIÃO EUROPEIA. Directive 2002/96/EC of the European Parliament and the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Official Journal of the European Union, Luxemburg, v.46, p.24-39, 2003.

VILAS BOAS, C. L. Análise da Aplicação de Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão (MMAD) na Gestão de Recursos Hídricos. Companhia de Recursos e Pesquisa Mineral CPRM. Goiânia, GO. 2005. 119 p. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/rehi/simposio/go/Analise%20da%20Aplicacao%20de%20Metodos%20Multicriterios%20de%20Apoio%20a%20Decisao%20na%20Gestao%20de%20Recursos%20Hidricos.pdf>>. Acesso em 09 dez. 2013.

VILAS-BOAS, C. de L. **Modelo Multicritérios de Apoio à Decisão Aplicado ao Uso Múltiplo de Reservatórios**: estudo da barragem do Ribeirão João Leite. 2006. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia, Departamento de Departamento de Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/vilas\\_boas.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/vilas_boas.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2014.

VISUAL PROMETHEE 1.4 Manual: September 5, 2013. [s.i.]: Vp Solutions, 2013. 192 p. Disponível em: <<http://www.promethee-gaia.net/files/VPManual.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2013.

WATH, S. B. et al. A roadmap for development of sustainable E-waste management system in India. **Journal of Tot. Environm.**, 409 , p. 19–32, out. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969710009915>>. Acesso em: 9 agos. 2012.

WIDMER, R., OSWALD-KRAPF, H., SINHA-KHETRIWAL, D. et al. Global perspectives on e-waste. **Environmental Impact Assessment Review**, 25, p. 436– 458, 2005. Disponível em: <[ewasteguide.info/files/Widmer\\_2005\\_EIAR.pdf](http://ewasteguide.info/files/Widmer_2005_EIAR.pdf)>. Acesso em: 15 fev. 2012.

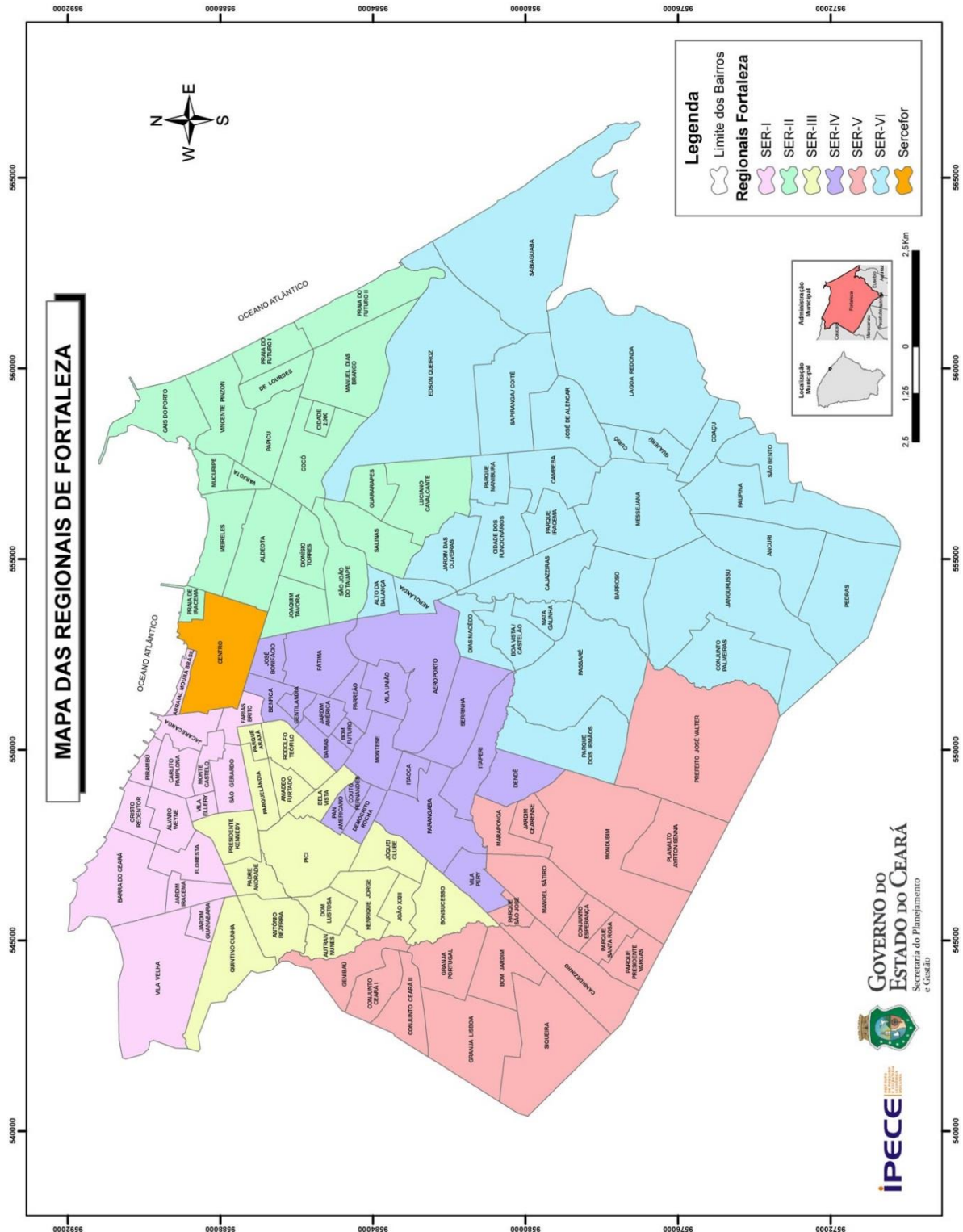
ZHOU, P.; ANG, B.W.; POH, K.L.. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. **European Journal of Operational Research**, [s.i.], v. 189, p.1-18, 16 ago. 2008. Mensal. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221707004651>>. Acesso em: 06 mar. 2014.

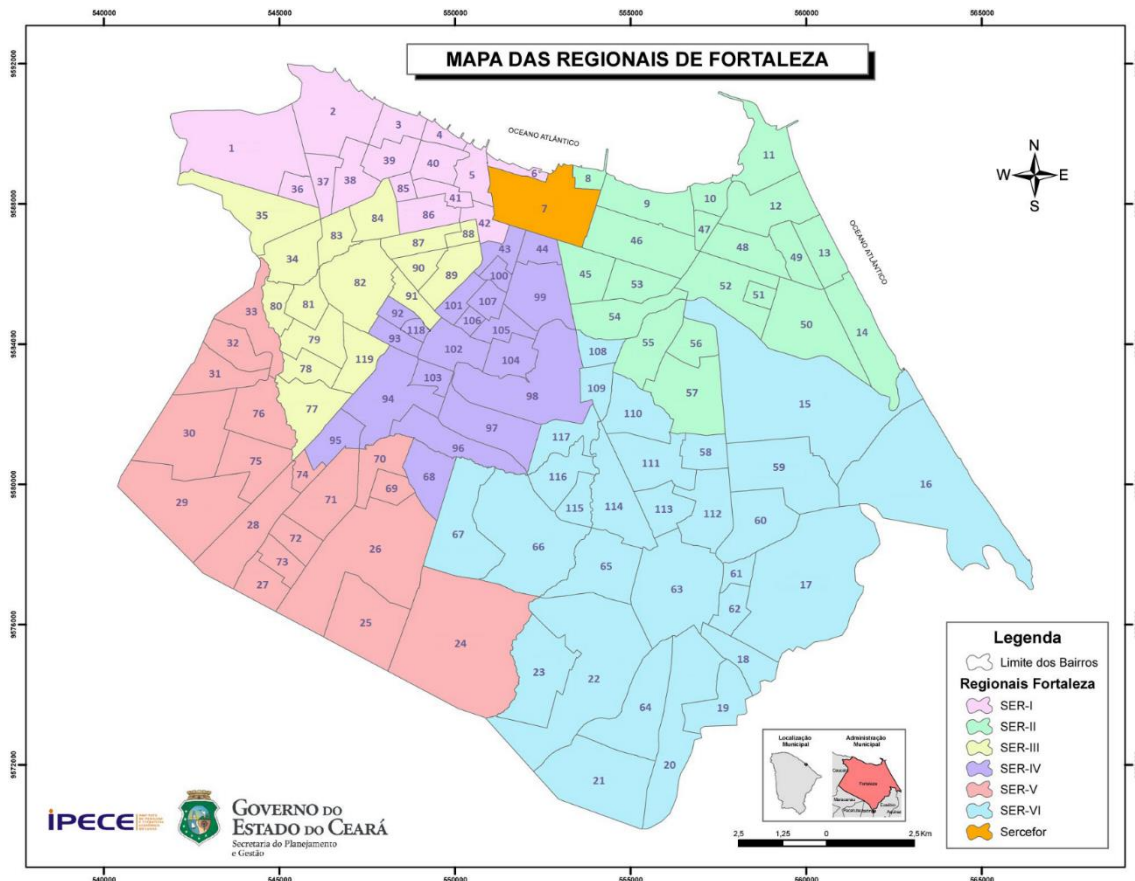
ZIGLIO, L. A. I. **A Convenção de Basileia e o Destino dos Resíduos Industriais no Brasil**. 2005. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Programa de Pós-graduação em Geografia Humana, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-17032006-171602/publico/tese.pdf>>. Acesso em: 09 maio 2014.

## APÊNDICE A - SET COVERING PROBLEM

A ideia por trás desse problema consiste em se selecionar um número mínimo [de qualquer tamanho] destes conjuntos de forma que os conjuntos selecionados contém todos os elementos estão contidos em qualquer destes conjuntos de entrada (Wikipédia).

A primeira etapa consiste em se mapear o município de Fortaleza:





Em seguida, são montadas as equações para correspondentes ao Problema de Cobertura (Set Covering Problem):

$\min \sum_{i=1}^n x_i$  indica a seleção do menor número de locais necessários para atender todos os bairros de Fortaleza. Cada equação / desigualdade abaixo afirma que cada bairro  $B_i$  deve ser atendido pelo menos por um local ( $\geq 1$ ).

!bairros de fortaleza;

$\min x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} + x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35} + x_{36} + x_{37} + x_{38} + x_{39} + x_{40} + x_{41} + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} + x_{47} + x_{48} + x_{49} + x_{50} + x_{51} + x_{52} + x_{53} + x_{54} + x_{55} + x_{56} + x_{57} + x_{58} + x_{59} + x_{60} + x_{61} + x_{62} + x_{63} + x_{64} + x_{65} + x_{66} + x_{67} + x_{68} + x_{69} + x_{70} + x_{71} + x_{72} + x_{73} + x_{74} + x_{75} + x_{76} + x_{77} + x_{78} + x_{79} + x_{80} + x_{81} + x_{82} + x_{83} + x_{84} + x_{85} + x_{86} + x_{87} + x_{88} + x_{89} + x_{90} + x_{91} + x_{92} + x_{93} + x_{94} + x_{95} + x_{96} + x_{97} + x_{98} + x_{99} + x_{100} + x_{101} + x_{102} + x_{103} + x_{104} + x_{105} + x_{106} + x_{107} + x_{108} + x_{109} + x_{110} + x_{111} + x_{112} + x_{113} + x_{114} + x_{115} + x_{116} + x_{117} + x_{118} + x_{119}$

st

B1)  $x_1 + x_2 + x_{37} + x_{36} + x_{35} \geq 1$

B2)  $x_2 + x_3 + x_{39} + x_{38} + x_{37} + x_1 \geq 1$

B3)  $x_3 + x_2 + x_4 + x_{39} + x_{40} + x_{38} \geq 1$

B4)  $x_4 + x_5 + x_{40} + x_{39} + x_3 \geq 1$

B5)  $x_5 + x_4 + x_6 + x_7 + x_{40} + x_{41} + x_{42} \geq 1$

B6)  $x_6 + x_5 + x_7 \geq 1$

B7)  $x_7 + x_6 + x_5 + x_8 + x_9 + x_{42} + x_{43} + x_{44} + x_{45} + x_{46} \geq 1$

B8)  $x_8 + x_7 + x_9 \geq 1$

B9)  $x_9 + x_8 + x_7 + x_{46} + x_{47} + x_{10} \geq 1$

B10)  $x_{10} + x_9 + x_{47} + x_{11} + x_{12} \geq 1$

B11)  $x_{11} + x_{12} + x_{10} \geq 1$

B12) $x_{12}+x_{11}+x_{10}+x_{47}+x_{48}+x_{49}+x_{13} \geq 1$   
 B13) $x_{13}+x_{12}+x_{14}+x_{49}+x_{50} \geq 1$   
 B14) $x_{14}+x_{15}+x_{13}+x_{49}+x_{50} \geq 1$   
 B15) $x_{15}+x_{14}+x_{50}+x_{52}+x_{54}+x_{55}+x_{56}+x_{57}+x_{58}+x_{59}+x_{16} \geq 1$   
 B16) $x_{17}+x_{16}+x_{15}+x_{59} \geq 1$   
 B17) $x_{17}+x_{16}+x_{59}+x_{60}+x_{61}+x_{62}+x_{18} \geq 1$   
 B18) $x_{17}+x_{18}+x_{19}+x_{62}+x_{63}+x_{20} \geq 1$   
 B19) $x_{19}+x_{18}+x_{20} \geq 1$   
 B20) $x_{18}+x_{19}+x_{20}+x_{63}+x_{64}+x_{21} \geq 1$   
 B21) $x_{21}+x_{20}+x_{64}+x_{22} \geq 1$   
 B22) $x_{23}+x_{22}+x_{21}+x_{64}+x_{63}+x_{65}+x_{66}+x_{24} \geq 1$   
 B23) $x_{23}+x_{22}+x_{24} \geq 1$   
 B24) $x_{24}+x_{23}+x_{22}+x_{65}+x_{66}+x_{67}+x_{25}+x_{26} \geq 1$   
 B25) $x_{25}+x_{24}+x_{26} \geq 1$   
 B26) $x_{26}+x_{25}+x_{24}+x_{67}+x_{68}+x_{69}+x_{70}+x_{71}+x_{72}+x_{73}+x_{27} \geq 1$   
 B27) $x_{27}+x_{26}+x_{73}+x_{28} \geq 1$   
 B28) $x_{28}+x_{27}+x_{73}+x_{72}+x_{71}+x_{74}+x_{75}+x_{29} \geq 1$   
 B29) $x_{29}+x_{28}+x_{75}+x_{30} \geq 1$   
 B30) $x_{30}+x_{29}+x_{75}+x_{76}+x_{31} \geq 1$   
 B31) $x_{31}+x_{30}+x_{76}+x_{33}+x_{32} \geq 1$   
 B32) $x_{31}+x_{32}+x_{33} \geq 1$   
 B33) $x_{31}+x_{32}+x_{33}+x_{34}+x_{80}+x_{79}+x_{78}+x_{77}+x_{76} \geq 1$   
 B34) $x_{33}+x_{34}+x_{35}+x_{80}+x_{81}+x_{82}+x_{83}+x_{37} \geq 1$   
 B35) $x_{35}+x_{34}+x_{37}+x_{36}+x_{83}+x_1 \geq 1$   
 B36) $x_{36}+x_{35}+x_1+x_{37} \geq 1$   
 B37) $x_{37}+x_{36}+x_1+x_2+x_{38}+x_{83}+x_{34}+x_{35} \geq 1$   
 B38) $x_{38}+x_{37}+x_{39}+x_{83}+x_{84}+x_2+x_3 \geq 1$   
 B39) $x_{39}+x_{38}+x_{40}+x_2+x_3+x_4+x_{85}+x_{84} \geq 1$   
 B40) $x_{40}+x_{39}+x_{41}+x_3+x_4+x_5+x_{85} \geq 1$   
 B41) $x_{40}+x_{41}+x_{42}+x_5+x_{85}+x_{86} \geq 1$   
 B42) $x_{41}+x_{42}+x_{43}+x_5+x_7+x_{86}+x_{87}+x_{88}+x_{89} \geq 1$   
 B43) $x_{42}+x_{43}+x_{44}+x_7+x_{99}+x_{100}+x_{101}+x_{89} \geq 1$   
 B44) $x_{43}+x_{44}+x_{45}+x_{99}+x_7 \geq 1$   
 B45) $x_7+x_{44}+x_{45}+x_{46}+x_{53}+x_{54}+x_{99} \geq 1$   
 B46) $x_{45}+x_{46}+x_{47}+x_{48}+x_7+x_9+x_{52}+x_{53} \geq 1$   
 B47) $x_9+x_{10}+x_{12}+x_{46}+x_{47}+x_{48}+x_{52} \geq 1$   
 B48) $x_{46}+x_{47}+x_{48}+x_{49}+x_{50}+x_{52}+x_{12} \geq 1$   
 B49) $x_{48}+x_{49}+x_{50}+x_{12}+x_{13}+x_{14} \geq 1$   
 B50) $x_{48}+x_{49}+x_{50}+x_{51}+x_{52}+x_{13}+x_{14}+x_{15} \geq 1$   
 B51) $x_{50}+x_{51}+x_{52} \geq 1$   
 B52) $x_{46}+x_{47}+x_{48}+x_{50}+x_{51}+x_{52}+x_{53}+x_{54}+x_{55}+x_{15} \geq 1$   
 B53) $x_{45}+x_{46}+x_{52}+x_{53}+x_{54} \geq 1$   
 B54) $x_{52}+x_{53}+x_{54}+x_{55}+x_{45}+x_{99}+x_{98}+x_{108}+x_{15} \geq 1$   
 B55) $x_{52}+x_{54}+x_{55}+x_{56}+x_{15}+x_{57}+x_{108}+x_{109}+x_{110} \geq 1$   
 B56) $x_{55}+x_{56}+x_{57}+x_{15} \geq 1$   
 B57) $x_{55}+x_{56}+x_{57}+x_{58}+x_{15}+x_{110}+x_{111} \geq 1$   
 B58) $x_{57}+x_{58}+x_{59}+x_{111}+x_{112}+x_{113}+x_{15} \geq 1$   
 B59) $x_{58}+x_{59}+x_{60}+x_{15}+x_{16}+x_{17}+x_{112} \geq 1$   
 B60) $x_{59}+x_{60}+x_{61}+x_{63}+x_{17}+x_{112} \geq 1$   
 B61) $x_{60}+x_{61}+x_{62}+x_{63}+x_{17} \geq 1$   
 B62) $x_{61}+x_{62}+x_{63}+x_{17}+x_{18} \geq 1$   
 B63) $x_{60}+x_{61}+x_{62}+x_{63}+x_{64}+x_{65}+x_{18}+x_{20}+x_{22}+x_{112}+x_{113}+x_{114} \geq 1$   
 B64) $x_{63}+x_{64}+x_{20}+x_{21}+x_{22} \geq 1$   
 B65) $x_{63}+x_{65}+x_{66}+x_{22}+x_{114}+x_{115} \geq 1$   
 B66) $x_{65}+x_{66}+x_{67}+x_{24}+x_{114}+x_{115}+x_{116}+x_{117}+x_{96}+x_{97} \geq 1$   
 B67) $x_{66}+x_{67}+x_{68}+x_{24}+x_{26}+x_{96} \geq 1$   
 B68) $x_{67}+x_{68}+x_{69}+x_{70}+x_{26}+x_{96} \geq 1$

B69) $x_{68}+x_{69}+x_{70}+x_{26} \geq 1$   
 B70) $x_{68}+x_{69}+x_{70}+x_{71}+x_{94}+x_{95}+x_{96}+x_{26} \geq 1$   
 B71) $x_{70}+x_{71}+x_{72}+x_{26}+x_{28}+x_{74}+x_{95}+x_{94} \geq 1$   
 B72) $x_{71}+x_{72}+x_{73}+x_{26}+x_{28} \geq 1$   
 B73) $x_{72}+x_{73}+x_{26}+x_{27}+x_{28} \geq 1$   
 B74) $x_{71}+x_{74}+x_{75}+x_{28}+x_{77}+x_{95} \geq 1$   
 B75) $x_{74}+x_{75}+x_{76}+x_{77}+x_{28}+x_{29}+x_{30} \geq 1$   
 B76) $x_{75}+x_{76}+x_{77}+x_{30}+x_{31}+x_{33} \geq 1$   
 B77) $x_{74}+x_{75}+x_{76}+x_{77}+x_{28}+x_{33}+x_{78}+x_{119}+x_{94}+x_{95} \geq 1$   
 B78) $x_{77}+x_{78}+x_{79}+x_{119}+x_{33} \geq 1$   
 B79) $x_{78}+x_{79}+x_{80}+x_{81}+x_{82}+x_{119}+x_{33} \geq 1$   
 B80) $x_{33}+x_{34}+x_{80}+x_{81}+x_{79} \geq 1$   
 B81) $x_{79}+x_{80}+x_{81}+x_{82}+x_{83}+x_{34} \geq 1$   
 B82) $x_{79}+x_{81}+x_{82}+x_{83}+x_{84}+x_{87}+x_{90}+x_{91}+x_{92}+x_{93}+x_{119}+x_{34} \geq 1$   
 B83) $x_{81}+x_{82}+x_{83}+x_{84}+x_{34}+x_{35}+x_{37}+x_{38} \geq 1$   
 B84) $x_{82}+x_{83}+x_{84}+x_{85}+x_{86}+x_{87}+x_{38}+x_{39} \geq 1$   
 B85) $x_{84}+x_{85}+x_{86}+x_{42}+x_{39}+x_{40}+x_{41} \geq 1$   
 B86) $x_{84}+x_{85}+x_{86}+x_{87}+x_{88}+x_{41}+x_{42} \geq 1$   
 B87) $x_{82}+x_{84}+x_{86}+x_{87}+x_{88}+x_{89}+x_{90}+x_{42} \geq 1$   
 B88) $x_{86}+x_{87}+x_{88}+x_{89}+x_{90}+x_{42} \geq 1$   
 B89) $x_{87}+x_{88}+x_{89}+x_{90}+x_{91}+x_{42}+x_{43}+x_{101} \geq 1$   
 B90) $x_{87}+x_{88}+x_{89}+x_{90}+x_{91}+x_{82} \geq 1$   
 B91) $x_{89}+x_{90}+x_{91}+x_{82}+x_{92}+x_{118}+x_{101}+x_{102} \geq 1$   
 B92) $x_{82}+x_{91}+x_{92}+x_{93}+x_{118} \geq 1$   
 B93) $x_{82}+x_{92}+x_{119}+x_{93}+x_{94}+x_{103}+x_{118}+x_{102} \geq 1$   
 B94) $x_{93}+x_{94}+x_{95}+x_{96}+x_{97}+x_{102}+x_{103}+x_{119}+x_{77}+x_{70}+x_{71} \geq 1$   
 B95) $x_{94}+x_{95}+x_{70}+x_{71}+x_{74}+x_{77} \geq 1$   
 B96) $x_{94}+x_{96}+x_{97}+x_{68}+x_{70}+x_{66}+x_{67}+x_{116}+x_{117} \geq 1$   
 B97) $x_{94}+x_{96}+x_{97}+x_{116}+x_{117}+x_{103}+x_{98}+x_{102} \geq 1$   
 B98) $x_{97}+x_{98}+x_{117}+x_{109}+x_{108}+x_{54}+x_{99}+x_{104}+x_{105}+x_{102}+x_{103} \geq 1$   
 B99) $x_{98}+x_{99}+x_{45}+x_{54}+x_{43}+x_{44}+x_{100}+x_{107}+x_{105}+x_{108} \geq 1$   
 B100) $x_{99}+x_{100}+x_{101}+x_{43}+x_{107} \geq 1$   
 B101) $x_{89}+x_{91}+x_{102}+x_{106}+x_{107}+x_{43}+x_{100} \geq 1$   
 B102) $x_{102}+x_{103}+x_{104}+x_{98}+x_{101}+x_{105}+x_{106}+x_{91}+x_{93}+x_{118}+x_{94} \geq 1$   
 B103) $x_{102}+x_{103}+x_{93}+x_{94}+x_{97}+x_{98} \geq 1$   
 B104) $x_{98}+x_{102}+x_{104}+x_{105} \geq 1$   
 B105) $x_{104}+x_{105}+x_{106}+x_{107}+x_{98}+x_{99}+x_{102} \geq 1$   
 B106) $x_{105}+x_{106}+x_{107}+x_{101}+x_{102} \geq 1$   
 B107) $x_{99}+x_{100}+x_{101}+x_{105}+x_{106}+x_{107} \geq 1$   
 B108) $x_{98}+x_{99}+x_{54}+x_{55}+x_{108}+x_{109} \geq 1$   
 B109) $x_{109}+x_{108}+x_{110}+x_{55}+x_{117}+x_{98} \geq 1$   
 B110) $x_{109}+x_{110}+x_{111}+x_{55}+x_{57}+x_{117}+x_{114} \geq 1$   
 B111) $x_{110}+x_{111}+x_{112}+x_{113}+x_{114}+x_{57}+x_{58} \geq 1$   
 B112) $x_{58}+x_{59}+x_{60}+x_{63}+x_{111}+x_{112}+x_{113} \geq 1$   
 B113) $x_{111}+x_{112}+x_{113}+x_{114}+x_{63} \geq 1$   
 B114) $x_{109}+x_{110}+x_{111}+x_{113}+x_{114}+x_{115}+x_{116}+x_{117}+x_{63}+x_{65} \geq 1$   
 B115) $x_{114}+x_{115}+x_{116}+x_{65}+x_{66} \geq 1$   
 B116) $x_{114}+x_{115}+x_{116}+x_{117}+x_{66}+x_{96}+x_{97} \geq 1$   
 B117) $x_{116}+x_{117}+x_{114}+x_{109}+x_{110}+x_{96}+x_{97}+x_{98}+x_{66} \geq 1$   
 B118) $x_{118}+x_{91}+x_{92}+x_{93}+x_{102} \geq 1$   
 B119) $x_{119}+x_{77}+x_{78}+x_{79}+x_{82}+x_{93}+x_{94} \geq 1$

end

int 119

A equação linear foi resolvida pelo programa Lingo 11.0 e segue abaixo a solução:

Global optimal solution found.

Objective value: 19.00000

19 representa o número mínimo de locais necessários para atender todos os bairros de Fortaleza, de modo que nenhum bairro deixe de ser atendido.

Objective bound: 19.00000

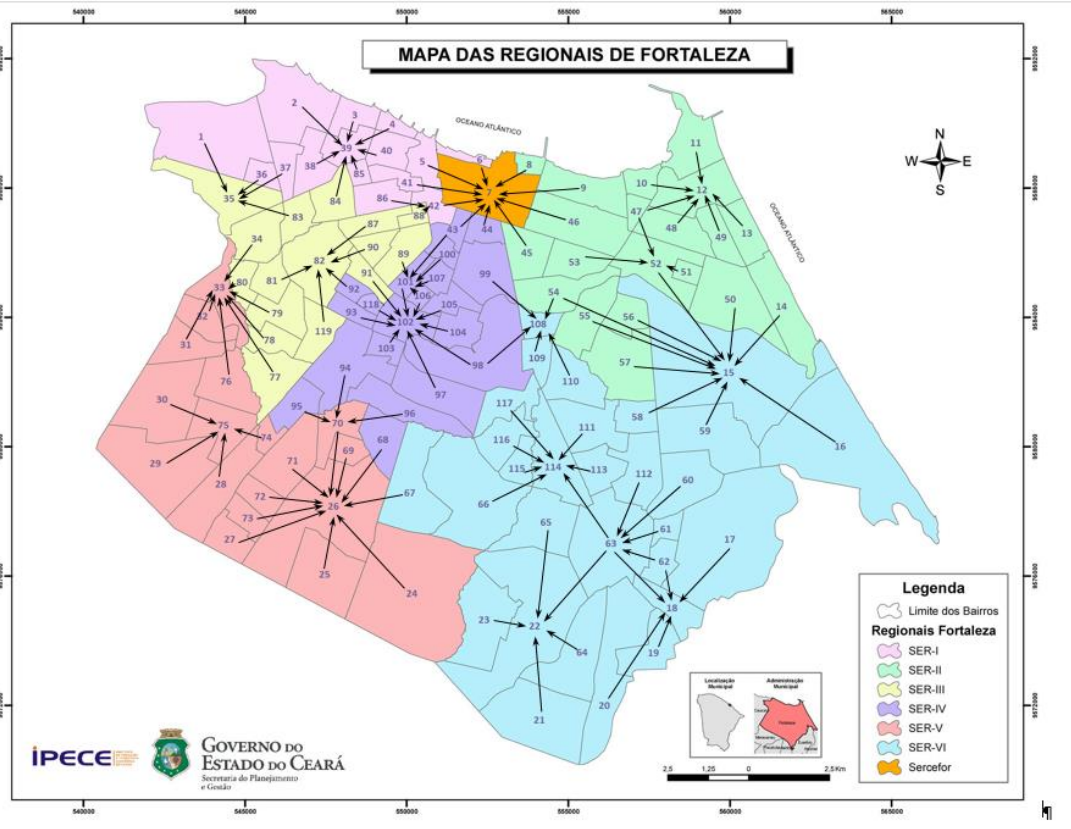
Infeasibilities: 0.000000

Extended solver steps: 0

Total solver iterations: 665

| Variable | Value    | Reduced Cost |
|----------|----------|--------------|
| X7       | 1.000000 | 1.000000     |
| X12      | 1.000000 | 1.000000     |
| X15      | 1.000000 | 1.000000     |
| X18      | 1.000000 | 1.000000     |
| X22      | 1.000000 | 1.000000     |
| X26      | 1.000000 | 1.000000     |
| X33      | 1.000000 | 1.000000     |
| X35      | 1.000000 | 1.000000     |
| X39      | 1.000000 | 1.000000     |
| X42      | 1.000000 | 1.000000     |
| X52      | 1.000000 | 1.000000     |
| X63      | 1.000000 | 1.000000     |
| X70      | 1.000000 | 1.000000     |
| X75      | 1.000000 | 1.000000     |
| X82      | 1.000000 | 1.000000     |
| X101     | 1.000000 | 1.000000     |
| X102     | 1.000000 | 1.000000     |
| X108     | 1.000000 | 1.000000     |
| X114     | 1.000000 | 1.000000     |

O mapa com todos os bairros contemplados pelos 19 locais apontados pelo modelo segue abaixo:





## APÊNDICE B – ESTIMATIVA DA PROJEÇÃO DO NÚMERO DE ELETROELETRÔNICOS DE 2007 A 2025

O cálculo da projeção é feito por meio da curva de crescimento logístico, pois esta foi considerada a curva mais adequada de acordo com o gráfico de tendência obtido dos dados. De acordo com as fórmulas abaixo, obtém-se os números de projeção (material extraído de <www.feg.unesp.br/~caec/antigo/quarto/aula6.doc>):

Taxa de crescimento

$$\frac{dP}{dt} = K_1 \cdot P \cdot \frac{(P_s - P)}{P} \quad (1)$$

Taxa de projeção

$$P_t = \frac{P_s}{1 + c \cdot e^{K_1 \cdot (t - t_0)}} \quad (2)$$

Coefficientes necessários ao cálculo, supondo que não haverá cálculo de regressão:

$$P_s = \frac{2 \cdot P_0 \cdot P_1 \cdot P_2 - P_1^2 \cdot (P_0 + P_2)}{P_0 \cdot P_2 - P_1^2} \quad (3)$$

$$c = (P_s - P_0) / P_0 \quad (4)$$

$$K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \left[ \frac{P_0 \cdot (P_s - P_1)}{P_1 \cdot (P_s - P_0)} \right] \quad (5)$$

| Condições: | Computador | Celular  | Geladeira | Televisão | Maquina  | Rádio    |
|------------|------------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| <b>P0</b>  | 184        | 447      | 832       | 922       | 173      | 820      |
| <b>P1</b>  | 276        | 566      | 945       | 993       | 267      | 870      |
| <b>P2</b>  | 380        | 675      | 1048      | 1083      | 377      | 922      |
| <b>Ps=</b> | 698,12     | 960,05   | 1.466,54  | 484,44    | 721,97   | 3.500,23 |
| <b>c=</b>  | 2,794118   | 1,147768 | 0,762674  | -0,47457  | 3,173258 | 3,268576 |
| <b>K1=</b> | -0,301317  | -0,24996 | -0,16173  | 0,038092  | -0,31088 | -0,03901 |

|             | 2007 | 184 | 447  | 832  | 922 | 173  | 820 |
|-------------|------|-----|------|------|-----|------|-----|
| <b>2009</b> | 276  | 566 | 945  | 993  | 267 | 870  |     |
| <b>2011</b> | 380  | 675 | 1048 | 1083 | 377 | 922  |     |
| <b>2012</b> | 431  | 722 | 1095 | 1138 | 432 | 949  |     |
| <b>2013</b> | 479  | 764 | 1138 | 1200 | 484 | 976  |     |
| <b>2014</b> | 521  | 800 | 1177 | 1273 | 531 | 1004 |     |
| <b>2015</b> | 558  | 831 | 1213 | 1359 | 571 | 1032 |     |
| <b>2016</b> | 589  | 856 | 1245 | 1462 | 605 | 1060 |     |
| <b>2017</b> | 614  | 877 | 1274 | 1586 | 632 | 1089 |     |
| <b>2018</b> | 634  | 894 | 1299 | 1740 | 654 | 1119 |     |

|             |     |     |      |      |     |      |
|-------------|-----|-----|------|------|-----|------|
| <b>2019</b> | 649 | 908 | 1322 | 1935 | 671 | 1149 |
| <b>2020</b> | 661 | 919 | 1342 | 2189 | 684 | 1179 |
| <b>2021</b> | 671 | 928 | 1359 | 2535 | 694 | 1210 |
| <b>2022</b> | 677 | 935 | 1374 | 3034 | 701 | 1241 |
| <b>2023</b> | 683 | 940 | 1387 | 3813 | 706 | 1272 |
| <b>2024</b> | 687 | 945 | 1398 | 5201 | 711 | 1304 |
| <b>2025</b> | 690 | 948 | 1408 | 8363 | 714 | 1336 |

Em seguida, aplicou-se a fórmula descrita na metodologia para o cálculo do número de eletroeletrônicos (os dados estão em toneladas):

| Ano  | Computador | Celular | Geladeira | Televisão | Maquina | Rádio   | Freezer | Total    |
|------|------------|---------|-----------|-----------|---------|---------|---------|----------|
| 2007 | 982,01     | 20,71   | 3990,83   | 2301,45   | 589,93  | 1705,60 | 320,11  | 9910,637 |
| 2009 | 1473,01    | 26,23   | 4532,85   | 2478,68   | 910,47  | 1809,60 | 320,11  | 11550,95 |
| 2011 | 2028,06    | 31,28   | 5026,91   | 2703,33   | 1285,57 | 1917,76 | 320,11  | 13313,01 |
| 2012 | 2300,82    | 33,47   | 5250,68   | 2839,56   | 1473,73 | 1973,37 | 320,11  | 14191,74 |
| 2013 | 2555,05    | 35,41   | 5457,34   | 2996,41   | 1650,78 | 2029,99 | 320,11  | 15045,09 |
| 2014 | 2782,53    | 37,09   | 5646,39   | 3178,82   | 1810,14 | 2087,59 | 320,11  | 15862,65 |
| 2015 | 2978,73    | 38,50   | 5817,83   | 3393,43   | 1947,94 | 2146,15 | 320,11  | 16642,68 |
| 2016 | 3142,67    | 39,68   | 5972,08   | 3649,36   | 2063,02 | 2205,66 | 320,11  | 17392,58 |
| 2017 | 3276,08    | 40,65   | 6109,88   | 3959,59   | 2156,38 | 2266,09 | 320,11  | 18128,78 |
| 2018 | 3382,30    | 41,44   | 6232,21   | 4343,13   | 2230,35 | 2327,42 | 320,11  | 18876,96 |
| 2019 | 3465,43    | 42,08   | 6340,20   | 4829,05   | 2287,85 | 2389,62 | 320,11  | 19674,34 |
| 2020 | 3529,61    | 42,59   | 6435,04   | 5464,14   | 2331,91 | 2452,66 | 320,11  | 20576,05 |
| 2021 | 3578,65    | 42,99   | 6517,99   | 6328,77   | 2365,29 | 2516,50 | 320,11  | 21670,3  |
| 2022 | 3615,81    | 43,31   | 6590,26   | 7573,75   | 2390,36 | 2581,12 | 320,11  | 23114,72 |
| 2023 | 3643,81    | 43,57   | 6653,00   | 9519,012  | 2409,07 | 2646,48 | 320,11  | 25235,05 |
| 2024 | 3664,81    | 43,77   | 6707,32   | 12983,11  | 2422,97 | 2712,53 | 320,11  | 28854,62 |
| 2025 | 3680,49    | 43,92   | 6754,24   | 20874,62  | 2433,26 | 2779,25 | 320,11  | 36885,89 |

## APÊNDICE C – ÍNDICE DE GINI

O procedimento geral para calcular o índice de Gini é o seguinte (extraído de Ing. Byron González <http://www.byrong.tk>):

Coluna 1 : representa o valor médio da renda por classe (linhas)

Coluna 2: representa o número de pessoas que têm como renda o valor da coluna anterior.

Coluna 3: representa a renda acumulada (ou a coluna anterior – 2 – de forma acumulada).

Coluna 4: representa a coluna 3 de forma percentual.

Coluna 5: representa o produto da coluna 1 pela coluna 2.

Coluna 6: representa o produto da coluna 1 pela coluna 3.

Coluna 7: representa a coluna 6 em termos percentuais.

Índice de Gini: Para o cálculo do índice, serão utilizadas apenas as colunas em forma de percentual (colunas 4 e 7). O índice é calculado, no numerador, por meio do somatório da diferença entre Coluna 4 e Coluna 7; no denominador por meio da soma dos termos da Coluna 4, desconsiderando-se a última linha.

Exemplo para o bairro Alagadiço:

| Bairro           | Renda                         |        |        |
|------------------|-------------------------------|--------|--------|
| <b>Alagadiço</b> | <b>Total</b>                  |        | 13.084 |
|                  | <b>Até 1/2 SM</b>             | 127,5  | 134    |
|                  | <b>Mais de 1/2 a 1 SM</b>     | 383    | 1.916  |
|                  | <b>Mais de 1 a 2 SM</b>       | 765    | 1.916  |
|                  | <b>Mais de 2 a 5 SM</b>       | 1.785  | 2.706  |
|                  | <b>Mais de 5 a 10 SM</b>      | 3.825  | 1.547  |
|                  | <b>Mais de 10 a 20 SM</b>     | 7.650  | 432    |
|                  | <b>Mais de 20 - 30 sup SM</b> | 10.200 | 93     |
|                  | <b>Zero</b>                   | 0      | 4.340  |

## Representação das colunas para o bairro Alagadiço

| <b>Ponto Med</b> | <b>ni</b>  | <b>(ni<br/>acum)</b> | <b>Pi</b>  | <b>Mii</b> | <b>Uii</b> | <b>Qi</b>  | <b>0,503328</b> |
|------------------|------------|----------------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|
| <b>(1)</b>       | <b>(2)</b> | <b>(3)</b>           | <b>(4)</b> | <b>(5)</b> | <b>(6)</b> | <b>(7)</b> |                 |
| <b>0</b>         | 4.340      | 4.340                | 33,17%     | 0          | 0          | 0,00%      |                 |
| <b>127,5</b>     | 134        | 4.474                | 34,19%     | 17085      | 17085      | 0,10%      |                 |
| <b>382,5</b>     | 1.916      | 6.390                | 48,84%     | 732870     | 749955     | 4,36%      |                 |
| <b>765</b>       | 1.916      | 8.306                | 63,48%     | 1465740    | 2215695    | 12,87%     |                 |
| <b>1785</b>      | 2.706      | 11.012               | 84,16%     | 4830210    | 7045905    | 40,93%     |                 |
| <b>3825</b>      | 1.547      | 12.559               | 95,99%     | 5917275    | 12963180   | 75,29%     |                 |
| <b>7650</b>      | 432        | 12.991               | 99,29%     | 3304800    | 16267980   | 94,49%     |                 |
| <b>10200</b>     | 93         | 13.084               | 100,00%    | 948600     | 17216580   | 100,00%    |                 |

O procedimento foi executado para as Secretarias Executivas Regionais de Fortaleza.

**ANEXO A – DADOS UTILIZADOS NA ANÁLISE COM DEA POR REGIONAIS**

| <b>DMU</b>       | <b>(I) GINI</b> | <b>(O) POPUL</b> | <b>(O) LIXO</b> |
|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| <b>SER I</b>     | 0,37402177      | 363912           | 177.802,09      |
| <b>SER II</b>    | 0,63840053      | 334868           | 168907,88       |
| <b>SER III</b>   | 0,40111882      | 360551           | 159.973,69      |
| <b>SER IV</b>    | 0,45893289      | 281645           | 154354,34       |
| <b>SER V</b>     | 0,33776078      | 541511           | 216045,48       |
| <b>SER VI</b>    | 0,45670098      | 541160           | 309311,98       |
| <b>SERCENTRO</b> | 0,46297383      | 28538            | 36463,545       |

## ANEXO B – DADOS UTILIZADOS NA ANÁLISE COM DEA POR BAIRROS

| DMU                              | (I)<br>POPUL | (O)<br>RENDA | (O)<br>ÁGUA | (O) IDH  | (I)<br>TERRENO | (I)<br>RESTR. | (I)<br>LOCAL | (O)<br>ENERGIA |
|----------------------------------|--------------|--------------|-------------|----------|----------------|---------------|--------------|----------------|
| (Arr.) Moura Brasil              | 3765         | 444,89       | 12.013      | 0,284686 | 1521,00        | 1             | 0            | 169,09         |
| (Lag.) Sapiranga                 | 32158        | 893,65       | 88.485      | 0,33782  | 611,11         | 1             | 0            | 369,37         |
| Aerolândia                       | 11360        | 482,28       | 39.311      | 0,310938 | 997,58         | 1             | 0            | 201,50         |
| Aeroporto                        | 8618         | 398,13       | 36.813      | 0,176845 | 350,00         | 1             | 0            | 154,14         |
| Aldeota                          | 42361        | 2901,57      | 288.894     | 0,866535 | 1600,00        | 0             | 0            | 832,86         |
| Alto da Balança                  | 12814        | 500,72       | 53.351      | 0,347135 | 269,83         | 1             | 1            | 1539,10        |
| Álvaro Weyne                     | 23690        | 562,49       | 59.616      | 0,364625 | 548,28         | 1             | 1            | 867,71         |
| Amadeu Furtado                   | 11703        | 1065,93      | 41.617      | 0,587662 | 658,91         | 1             | 0            | 250,06         |
| Ancuri                           | 20070        | 413,44       | 88.009      | 0,204302 | 168,93         | 1             | 0            | 533,56         |
| Antônio Bezerra                  | 25846        | 556,87       | 87.335      | 0,348285 | 427,46         | 1             | 0            | 183,88         |
| Autran Nunes                     | 21208        | 349,74       | 59.691      | 0,182121 | 288,47         | 1             | 0            | 139,28         |
| Barra do Ceará                   | 72423        | 398,61       | 183.498     | 0,215708 | 454,55         | 1             | 0            | 519,08         |
| Barroso                          | 29847        | 393,71       | 144.201     | 0,186869 | 141,51         | 1             | 0            | 371,77         |
| Bela Vista                       | 16754        | 636,82       | 66.676      | 0,375256 | 871,18         | 1             | 0            | 182,19         |
| Benfica                          | 8970         | 1088,35      | 80.648      | 0,574173 | 2000,00        | 0             | 0            | 267,66         |
| Bom Futuro                       | 6405         | 789,45       | 30.373      | 0,505353 | 589,83         | 1             | 0            | 191,76         |
| Bom Jardim                       | 37758        | 349,75       | 105.410     | 0,194887 | 314,28         | 1             | 1            | 208,61         |
| Bom Sucesso                      | 41198        | 434,41       | 147.840     | 0,262133 | 696,97         | 1             | 0            | 476,18         |
| Cajazeiras                       | 14478        | 768,93       | 61.649      | 0,30455  | 1499,12        | 1             | 1            | 241,07         |
| Cambeba                          | 7625         | 1628,07      | 47.393      | 0,517592 | 458,33         | 1             | 0            | 337,52         |
| Canindezinho                     | 41202        | 325,47       | 105.633     | 0,136277 | 305,00         | 1             | 0            | 619,69         |
| Carlito Pamplona                 | 29076        | 500,01       | 81.490      | 0,299736 | 500,00         | 1             | 0            | 148,54         |
| Castelão                         | 5974         | 510,25       | 26.212      | 0,255031 | 394,34         | 1             | 0            | 224,64         |
| Centro                           | 28538        | 1062,93      | 233.742     | 0,556689 | 1500,00        | 0             | 1            | 406,30         |
| Cidade 2000                      | 8272         | 1017,12      | 39.997      | 0,561947 | 903,03         | 1             | 0            | 205,15         |
| Cidade dos<br>Funcionários       | 18256        | 1549,05      | 113.853     | 0,571863 | 525,00         | 1             | 0            | 344,23         |
| Coaçu                            | 7188         | 562,66       | 29.758      | 0,255321 | 163,25         | 1             | 1            | 184,63         |
| Cocó                             | 20492        | 3295,32      | 58.235      | 0,762266 | 1412,43        | 0             | 1            | 396,42         |
| Conjunto<br>Esperança            | 16405        | 514,66       | 64.261      | 0,287966 | 203,12         | 1             | 0            | 174,83         |
| Couto Fernandes                  | 5260         | 622,4        | 16.507      | 0,361193 | 350,00         | 1             | 0            | 165,01         |
| Cristo Redentor                  | 26717        | 377,42       | 94.037      | 0,253842 | 116,88         | 1             | 0            | 163,78         |
| Curió                            | 7636         | 488,71       | 31.043      | 0,188162 | 610,44         | 1             | 0            | 201,95         |
| Damas                            | 10719        | 1026,95      | 24.647      | 0,510647 | 836,51         | 1             | 1            | 209,55         |
| Demócrito Rocha                  | 10994        | 572,76       | 44.914      | 0,369402 | 1048,69        | 1             | 0            | 155,28         |
| Dias Macedo                      | 12111        | 447,66       | 64.202      | 0,270952 | 281,94         | 1             | 0            | 311,05         |
| Dionísio Torres                  | 15634        | 2707,35      | 107.514     | 0,85969  | 2334,00        | 0             | 0            | 408,16         |
| Dom Lustosa                      | 13147        | 547,8        | 51.473      | 0,320092 | 266,67         | 1             | 0            | 181,68         |
| Edson Queiroz                    | 22210        | 919,55       | 180.461     | 0,350301 | 1331,00        | 1             | 1            | 351,41         |
| Ellery                           | 7863         | 696,07       | 24.260      | 0,415741 | 1153,00        | 1             | 0            | 157,19         |
| Engenheiro<br>Luciano Cavalcante | 15543        | 1524,32      | 94.027      | 0,522377 | 761,93         | 1             | 0            | 819,16         |
| Farias Brito                     | 12063        | 890,48       | 53.397      | 0,499777 | 1448,05        | 1             | 1            | 198,38         |

|                             |       |         |         |          |         |   |   |         |
|-----------------------------|-------|---------|---------|----------|---------|---|---|---------|
| <b>Fátima</b>               | 23309 | 1756,11 | 168.981 | 0,694796 | 1665,29 | 0 | 0 | 294,98  |
| <b>Floresta</b>             | 28896 | 380,81  | 51.842  | 0,223829 | 607,75  | 1 | 0 | 130,14  |
| <b>Genibaú</b>              | 40336 | 329,98  | 107.102 | 0,136277 | 200,00  | 1 | 1 | 112,42  |
| <b>Granja Lisboa</b>        | 52042 | 341,36  | 170.068 | 0,169987 | 137,09  | 1 | 0 | 133,67  |
| <b>Granja Portugal</b>      | 39651 | 334,83  | 244.012 | 0,190185 | 164,14  | 1 | 0 | 154,61  |
| <b>Guararapes</b>           | 5266  | 3488,25 | 33.284  | 0,767801 | 2624,07 | 1 | 0 | 426,14  |
| <b>Henrique Jorge</b>       | 26994 | 551,52  | 94.314  | 0,34081  | 259,74  | 1 | 0 | 182,18  |
| <b>Itaóca</b>               | 12477 | 606,65  | 42.668  | 0,373493 | 384,42  | 1 | 0 | 145,26  |
| <b>Itaperi</b>              | 22563 | 798,25  | 72.285  | 0,368394 | 422,47  | 1 | 0 | 192,10  |
| <b>Jacarecanga</b>          | 14204 | 745,24  | 53.631  | 0,448188 | 485,80  | 1 | 0 | 183,03  |
| <b>Jangurussu</b>           | 50479 | 416,9   | 229.644 | 0,172087 | 233,33  | 1 | 1 | 443,66  |
| <b>Jardim América</b>       | 12264 | 715,56  | 59.611  | 0,443688 | 500,00  | 1 | 0 | 181,43  |
| <b>Jardim Cearense</b>      | 10103 | 717,01  | 49.205  | 0,318152 | 493,18  | 1 | 0 | 177,68  |
| <b>Jardim das Oliveiras</b> | 29571 | 474,77  | 94.805  | 0,270017 | 717,95  | 1 | 0 | 164,25  |
| <b>Jardim Guanabara</b>     | 14919 | 508,03  | 27.354  | 0,325108 | 510,44  | 1 | 0 | 226,53  |
| <b>Jardim Iracema</b>       | 23184 | 448,19  | 76.459  | 0,290124 | 658,39  | 1 | 0 | 675,50  |
| <b>João XXIII</b>           | 18398 | 449,97  | 68.431  | 0,283709 | 467,95  | 1 | 0 | 159,94  |
| <b>Joaquim Távora</b>       | 23450 | 1446,03 | 113.826 | 0,66252  | 1800,00 | 0 | 0 | 1528,57 |
| <b>Jóquei Clube</b>         | 19331 | 708,67  | 67.991  | 0,406362 | 750,00  | 1 | 0 | 184,47  |
| <b>José Bonifácio</b>       | 8848  | 1159,2  | 48.724  | 0,643759 | 1741,32 | 0 | 0 | 264,95  |
| <b>José de Alencar</b>      | 16003 | 1290,87 | 51.871  | 0,376979 | 781,43  | 1 | 0 | 262,43  |
| <b>Lagoa Redonda</b>        | 27949 | 544,16  | 84.635  | 0,252679 | 353,95  | 1 | 0 | 378,07  |
| <b>Manuel Dias Branco</b>   | 1447  | 1239,43 | 4.682   | 0,337197 | 660,76  | 1 | 0 | 179,25  |
| <b>Manuel Sátiro</b>        | 37952 | 527,94  | 144.288 | 0,292159 | 429,89  | 1 | 0 | 145,03  |
| <b>Maraponga</b>            | 10155 | 916,44  | 47.189  | 0,390383 | 552,70  | 1 | 1 | 939,58  |
| <b>Mata Galinha</b>         | 6273  | 682,85  | 23.118  | 0,31313  | 666,67  | 1 | 0 | 125,35  |
| <b>Meireles</b>             | 36982 | 3659,54 | 355.257 | 0,953077 | 2506,27 | 0 | 0 | 426,34  |
| <b>Messejana</b>            | 41689 | 648,89  | 198.574 | 0,375702 | 578,06  | 1 | 1 | 231,37  |
| <b>Mondubim</b>             | 76044 | 500,06  | 215.331 | 0,232791 | 526,83  | 1 | 1 | 668,22  |
| <b>Monte Castelo</b>        | 13215 | 688,29  | 44.009  | 0,434517 | 1673,31 | 1 | 0 | 193,55  |
| <b>Montese</b>              | 25970 | 822,59  | 107.867 | 0,472814 | 822,83  | 1 | 1 | 218,23  |
| <b>Mucuripe</b>             | 13747 | 2742,25 | 76.061  | 0,793082 | 3783,00 | 0 | 0 | 243,84  |
| <b>Padre Andrade</b>        | 12936 | 622,59  | 42.730  | 0,361177 | 733,33  | 1 | 0 | 140,32  |
| <b>Panamericano</b>         | 8815  | 564,22  | 33.524  | 0,373493 | 333,33  | 1 | 0 | 161,13  |
| <b>Papicu</b>               | 18370 | 1476,65 | 147.679 | 0,529635 | 1000,00 | 0 | 0 | 306,61  |
| <b>Parangaba</b>            | 30947 | 787,91  | 130.013 | 0,418919 | 983,34  | 1 | 0 | 225,90  |
| <b>Parque Araxá</b>         | 6715  | 984,94  | 23.166  | 0,587355 | 1212,12 | 1 | 0 | 211,73  |
| <b>Parque Dois Irmãos</b>   | 27236 | 557,84  | 68.840  | 0,251057 | 331,04  | 1 | 0 | 167,08  |
| <b>Parque Iracema</b>       | 8409  | 1610,86 | 29.083  | 0,504954 | 1024,69 | 0 | 0 | 222,01  |
| <b>Parque Manibura</b>      | 7529  | 1591,49 | 43.133  | 0,578018 | 850,00  | 1 | 0 | 370,42  |
| <b>Parque Santa Rosa</b>    | 12790 | 433,82  | 51.639  | 0,243126 | 200,00  | 1 | 0 | 151,38  |
| <b>Parque São José</b>      | 10486 | 419,79  | 36.022  | 0,284065 | 303,03  | 1 | 0 | 153,24  |
| <b>Parquelândia</b>         | 14432 | 1170,29 | 70.672  | 0,628401 | 1172,25 | 1 | 0 | 251,13  |
| <b>Parreão</b>              | 11072 | 1202,45 | 35.707  | 0,57195  | 200,00  | 1 | 0 | 213,24  |
| <b>Passaré</b>              | 50940 | 619,47  | 210.983 | 0,224673 | 716,67  | 1 | 0 | 700,85  |

|                              |       |         |         |          |         |   |   |         |
|------------------------------|-------|---------|---------|----------|---------|---|---|---------|
| <b>Paupina</b>               | 14665 | 486,79  | 82.990  | 0,246111 | 277,20  | 1 | 0 | 250,57  |
| <b>Pedras</b>                | 1342  | 425,73  | 1.034   | 0,263773 | 187,50  | 1 | 0 | 190,70  |
| <b>Pici</b>                  | 42494 | 424,62  | 146.309 | 0,218649 | 328,28  | 1 | 1 | 137,02  |
| <b>Pirambu</b>               | 17775 | 340,36  | 44.504  | 0,229829 | 300,00  | 1 | 0 | 113,15  |
| <b>Planalto Ayrton Senna</b> | 39446 | 360,67  | 177.137 | 0,168312 | 403,67  | 1 | 0 | 132,67  |
| <b>Praia de Iracema</b>      | 3130  | 1903,17 | 31.105  | 0,720062 | 2092,08 | 1 | 0 | 276,88  |
| <b>Prefeito José Walter</b>  | 33427 | 610,67  | 132.604 | 0,39527  | 280,51  | 1 | 0 | 159,95  |
| <b>Presidente Kennedy</b>    | 23004 | 778,11  | 92.445  | 0,428988 | 1135,07 | 1 | 0 | 153,56  |
| <b>Presidente Vargas</b>     | 7192  | 287,92  | 29.534  | 0,135189 | 194,81  | 1 | 0 | 2072,52 |
| <b>Quintino Cunha</b>        | 47277 | 427,43  | 113.686 | 0,222537 | 253,33  | 1 | 1 | 162,16  |
| <b>Rodolfo Teófilo</b>       | 19114 | 818,26  | 106.562 | 0,481883 | 890,94  | 1 | 0 | 192,90  |
| <b>Sabiaguaba</b>            | 2117  | 549,83  | 8.490   | 0,267302 | 208,89  | 1 | 0 | 171,31  |
| <b>Salinas</b>               | 4298  | 1749,91 | 31.081  | 0,491269 | 287,03  | 1 | 0 | 401,89  |
| <b>São Gerardo</b>           | 14505 | 1347,59 | 67.478  | 0,594208 | 2650,00 | 1 | 0 | 339,01  |
| <b>São João do Tauape</b>    | 27598 | 890,75  | 119.682 | 0,491537 | 638,45  | 0 | 0 | 252,06  |
| <b>Serrinha</b>              | 28770 | 519,27  | 131.523 | 0,282916 | 436,97  | 1 | 0 | 171,95  |
| <b>Siqueira</b>              | 33628 | 326,8   | 90.798  | 0,148675 | 318,75  | 1 | 0 | 195,95  |
| <b>Varjota</b>               | 8421  | 2153,8  | 45.750  | 0,71761  | 2043,42 | 0 | 0 | 267,55  |
| <b>Vicente Pinzón</b>        | 45518 | 684,18  | 129.057 | 0,331472 | 260,35  | 1 | 1 | 129,58  |
| <b>Vila Pery</b>             | 20645 | 527,34  | 81.765  | 0,341744 | 275,00  | 1 | 0 | 158,36  |
| <b>Vila União</b>            | 15378 | 908,56  | 75.998  | 0,467079 | 500,00  | 1 | 0 | 216,21  |
| <b>Vila Velha</b>            | 61617 | 486,95  | 146.615 | 0,271652 | 629,57  | 1 | 0 | 156,70  |



## ANEXO C – RANQUEAMENTO DADO PELO PROMETHEE

| <b>Multicriteria flows</b>           | <b>Phi</b> |
|--------------------------------------|------------|
| <b>Prefeito José Walter</b>          | 0,4538     |
| <b>Cidade dos Funcionários</b>       | 0,4181     |
| <b>Barroso</b>                       | 0,3986     |
| <b>Vicente Pinzón</b>                | 0,3802     |
| <b>Passaré</b>                       | 0,3779     |
| <b>Jangurussu</b>                    | 0,3767     |
| <b>Itaperi</b>                       | 0,3595     |
| <b>Messejana</b>                     | 0,3412     |
| <b>Planalto Ayrton Senna</b>         | 0,2883     |
| <b>Serrinha</b>                      | 0,2816     |
| <b>(Lagoa) Sapiranga</b>             | 0,2623     |
| <b>São João do Tauape</b>            | 0,2565     |
| <b>Parque Dois Irmãos</b>            | 0,2562     |
| <b>Parreão</b>                       | 0,2554     |
| <b>Conjunto Palmeiras</b>            | 0,2544     |
| <b>Aldeota</b>                       | 0,2477     |
| <b>Cambeba</b>                       | 0,2295     |
| <b>Engenheiro Luciano Cavalcante</b> | 0,2281     |
| <b>Salinas</b>                       | 0,2169     |
| <b>Ancuri</b>                        | 0,2079     |
| <b>Mondubim</b>                      | 0,2026     |
| <b>Manuel Sátiro</b>                 | 0,2018     |
| <b>José de Alencar</b>               | 0,1971     |
| <b>Jacarecanga</b>                   | 0,1898     |
| <b>Lagoa Redonda</b>                 | 0,1654     |
| <b>Montese</b>                       | 0,1577     |
| <b>Meireles</b>                      | 0,1532     |
| <b>Fátima</b>                        | 0,1524     |
| <b>Vila União</b>                    | 0,1454     |
| <b>Henrique Jorge</b>                | 0,1437     |
| <b>Cocó</b>                          | 0,143      |
| <b>Granja Portugal</b>               | 0,1392     |
| <b>Jardim das Oliveiras</b>          | 0,1342     |
| <b>Alto da Balança</b>               | 0,134      |
| <b>Granja Lisboa</b>                 | 0,1167     |
| <b>Itaóca</b>                        | 0,1103     |
| <b>Parque Iracema</b>                | 0,1073     |
| <b>Parque Manibura</b>               | 0,0957     |
| <b>Joaquim Távora</b>                | 0,0949     |
| <b>Centro</b>                        | 0,0928     |
| <b>Conjunto Esperança</b>            | 0,0928     |

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| <b>Dias Macedo</b>        | 0,0846  |
| <b>Papicu</b>             | 0,0712  |
| <b>Parangaba</b>          | 0,0703  |
| <b>Cajazeiras</b>         | 0,07    |
| <b>Edson Queiroz</b>      | 0,0667  |
| <b>Coaçu</b>              | 0,0625  |
| <b>Genibaú</b>            | 0,0555  |
| <b>Maraponga</b>          | 0,0486  |
| <b>Dionísio Torres</b>    | 0,0468  |
| <b>Pici</b>               | 0,0405  |
| <b>Vila Pery</b>          | 0,0347  |
| <b>Jóquei Clube</b>       | 0,0331  |
| <b>Dom Lustosa</b>        | 0,031   |
| <b>Quintino Cunha</b>     | 0,0217  |
| <b>Jardim América</b>     | 0,013   |
| <b>Canindezinho</b>       | 0,0096  |
| <b>Paupina</b>            | 0,0079  |
| <b>Dende</b>              | 0,0037  |
| <b>Mata Galinha</b>       | 0,0036  |
| <b>Castelão</b>           | -0,0083 |
| <b>Bom Jardim</b>         | -0,0117 |
| <b>Gentilândia</b>        | -0,0184 |
| <b>Jardim Cearense</b>    | -0,0274 |
| <b>Rodolfo Teófilo</b>    | -0,0281 |
| <b>São Bento</b>          | -0,0319 |
| <b>Cristo Redentor</b>    | -0,0363 |
| <b>Carlito Pamplona</b>   | -0,0418 |
| <b>Panamericano</b>       | -0,0479 |
| <b>Autran Nunes</b>       | -0,0545 |
| <b>Conjunto Ceará II</b>  | -0,0604 |
| <b>Bom Sucesso</b>        | -0,0606 |
| <b>Couto Fernandes</b>    | -0,0703 |
| <b>Amadeu Furtado</b>     | -0,0801 |
| <b>Antônio Bezerra</b>    | -0,0859 |
| <b>Parque Santa Rosa</b>  | -0,0888 |
| <b>Siqueira</b>           | -0,0923 |
| <b>Damas</b>              | -0,0942 |
| <b>Bela Vista</b>         | -0,0953 |
| <b>João XXIII</b>         | -0,1007 |
| <b>Parquelândia</b>       | -0,1022 |
| <b>Bom Futuro</b>         | -0,1088 |
| <b>Barra do Ceará</b>     | -0,1145 |
| <b>Guararapes</b>         | -0,1172 |
| <b>Mucuripe</b>           | -0,1276 |
| <b>Presidente Kennedy</b> | -0,1432 |
| <b>Vila Velha</b>         | -0,1438 |

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| <b>Sabiaguaba</b>             | -0,15   |
| <b>Álvaro Weyne</b>           | -0,1517 |
| <b>Cidade 2000</b>            | -0,1577 |
| <b>Varjota</b>                | -0,1662 |
| <b>Pedras</b>                 | -0,1668 |
| <b>Aeroporto</b>              | -0,1737 |
| <b>Parque São José</b>        | -0,1757 |
| <b>José Bonifácio</b>         | -0,1774 |
| <b>(Bairro) De Lourdes</b>    | -0,1784 |
| <b>Aerolândia</b>             | -0,1802 |
| <b>Benfica</b>                | -0,1859 |
| <b>Guajeru</b>                | -0,1884 |
| <b>Farias Brito</b>           | -0,191  |
| <b>São Gerardo</b>            | -0,1953 |
| <b>Curió</b>                  | -0,2018 |
| <b>Manuel Dias Branco</b>     | -0,2117 |
| <b>Padre Andrade</b>          | -0,2156 |
| <b>Floresta</b>               | -0,2231 |
| <b>Demócrito Rocha</b>        | -0,2251 |
| <b>Jardim Guanabara</b>       | -0,2263 |
| <b>Pirambu</b>                | -0,2283 |
| <b>Parque Araxá</b>           | -0,2382 |
| <b>Praia do Futuro II</b>     | -0,2734 |
| <b>Praia de Iracema</b>       | -0,2833 |
| <b>Presidente Vargas</b>      | -0,2889 |
| <b>Monte Castelo</b>          | -0,3066 |
| <b>Conjunto Ceará I</b>       | -0,3122 |
| <b>Jardim Iracema</b>         | -0,3179 |
| <b>Praia do Futuro I</b>      | -0,3721 |
| <b>Ellery</b>                 | -0,3747 |
| <b>Cais do Porto</b>          | -0,4564 |
| <b>(Arraial) Moura Brasil</b> | -0,6499 |

## ANEXO D – RANQUEAMENTO DADO PELO DEA

| <b>Rank</b> | <b>DMU</b>              | <b>Score</b> |
|-------------|-------------------------|--------------|
| 1           | Varjota                 | 1            |
| 2           | São João do Tauape      | 1            |
| 3           | Salinas                 | 1            |
| 4           | Sabiaguaba              | 1            |
| 5           | Presidente Kennedy      | 1            |
| 6           | Aldeota                 | 1            |
| 7           | Prefeito José Walter    | 1            |
| 8           | Praia de Iracema        | 1            |
| 9           | Pedras                  | 1            |
| 10          | Parreão                 | 1            |
| 11          | Parque Santa Rosa       | 1            |
| 12          | Parque Iracema          | 1            |
| 13          | Parque Araxá            | 1            |
| 14          | Barroso                 | 1            |
| 15          | Mucuripe                | 1            |
| 16          | Meireles                | 1            |
| 17          | Bom Futuro              | 1            |
| 18          | Mata Galinha            | 1            |
| 19          | Manuel Dias Branco      | 1            |
| 20          | Itaóca                  | 1            |
| 21          | Guararapes              | 1            |
| 22          | Granja Lisboa           | 1            |
| 23          | Genibaú                 | 1            |
| 24          | Fátima                  | 1            |
| 25          | Dionísio Torres         | 1            |
| 26          | Cristo Redentor         | 1            |
| 27          | Couto Fernandes         | 1            |
| 28          | Coaçu                   | 1            |
| 29          | Cocó                    | 1            |
| 30          | Conjunto Palmeiras      | 1            |
| 31          | Autran Nunes            | 0,999878     |
| 32          | Cidade 2000             | 0,998687     |
| 33          | Ellery                  | 0,998406     |
| 34          | Panamericano            | 0,99622      |
| 35          | José Bonifácio          | 0,976264     |
| 36          | Papicu                  | 0,962642     |
| 37          | Parque Manibura         | 0,952683     |
| 38          | Cambeba                 | 0,949806     |
| 39          | Amadeu Furtado          | 0,949466     |
| 40          | Parquelândia            | 0,946753     |
| 41          | Vila Pery               | 0,941849     |
| 42          | Cidade dos Funcionários | 0,929545     |

|           |                                      |                 |
|-----------|--------------------------------------|-----------------|
| <b>43</b> | <b>Damas</b>                         | <b>0,927693</b> |
| <b>44</b> | <b>Jardim América</b>                | <b>0,911265</b> |
| <b>45</b> | <b>Jacarecanga</b>                   | <b>0,911147</b> |
| <b>46</b> | <b>Rodolfo Teófilo</b>               | <b>0,897756</b> |
| <b>47</b> | <b>Joaquim Távora</b>                | <b>0,883391</b> |
| <b>48</b> | <b>Parque São José</b>               | <b>0,882369</b> |
| <b>49</b> | <b>Farias Brito</b>                  | <b>0,874689</b> |
| <b>50</b> | <b>Demócrito Rocha</b>               | <b>0,87042</b>  |
| <b>51</b> | <b>Engenheiro Luciano Cavalcante</b> | <b>0,813105</b> |
| <b>52</b> | <b>Benfica</b>                       | <b>0,807702</b> |
| <b>53</b> | <b>Jóquei Clube</b>                  | <b>0,802098</b> |
| <b>54</b> | <b>Manuel Sátiro</b>                 | <b>0,800074</b> |
| <b>55</b> | <b>Vila União</b>                    | <b>0,790362</b> |
| <b>56</b> | <b>(Arraial) Moura Brasil</b>        | <b>0,783461</b> |
| <b>57</b> | <b>Montese</b>                       | <b>0,775841</b> |
| <b>58</b> | <b>Monte Castelo</b>                 | <b>0,775309</b> |
| <b>59</b> | <b>Carlito Pamplona</b>              | <b>0,772293</b> |
| <b>60</b> | <b>Conjunto Esperança</b>            | <b>0,759713</b> |
| <b>61</b> | <b>São Gerardo</b>                   | <b>0,750355</b> |
| <b>62</b> | <b>Bela Vista</b>                    | <b>0,744615</b> |
| <b>63</b> | <b>Pici</b>                          | <b>0,744343</b> |
| <b>64</b> | <b>Henrique Jorge</b>                | <b>0,720208</b> |
| <b>65</b> | <b>Itaperi</b>                       | <b>0,716972</b> |
| <b>66</b> | <b>Centro</b>                        | <b>0,714819</b> |
| <b>67</b> | <b>Antônio Bezerra</b>               | <b>0,707575</b> |
| <b>68</b> | <b>Jardim Cearense</b>               | <b>0,689936</b> |
| <b>69</b> | <b>Dom Lustosa</b>                   | <b>0,687143</b> |
| <b>70</b> | <b>Floresta</b>                      | <b>0,682459</b> |
| <b>71</b> | <b>Granja Portugal</b>               | <b>0,674571</b> |
| <b>72</b> | <b>José de Alencar</b>               | <b>0,674076</b> |
| <b>73</b> | <b>João XXIII</b>                    | <b>0,673355</b> |
| <b>74</b> | <b>Padre Andrade</b>                 | <b>0,670919</b> |
| <b>75</b> | <b>Parangaba</b>                     | <b>0,667418</b> |
| <b>76</b> | <b>Parque Dois Irmãos</b>            | <b>0,665082</b> |
| <b>77</b> | <b>Planalto Ayrton Senna</b>         | <b>0,660741</b> |
| <b>78</b> | <b>Maraponga</b>                     | <b>0,64731</b>  |
| <b>79</b> | <b>Aeroporto</b>                     | <b>0,634891</b> |
| <b>80</b> | <b>Serrinha</b>                      | <b>0,619815</b> |
| <b>81</b> | <b>Messejana</b>                     | <b>0,612206</b> |
| <b>82</b> | <b>Jardim das Oliveiras</b>          | <b>0,607477</b> |
| <b>83</b> | <b>Jardim Guanabara</b>              | <b>0,605615</b> |
| <b>84</b> | <b>Alto da Balança</b>               | <b>0,591731</b> |
| <b>85</b> | <b>Quintino Cunha</b>                | <b>0,583726</b> |
| <b>86</b> | <b>Álvaro Weyne</b>                  | <b>0,583242</b> |
| <b>87</b> | <b>Vicente Pinzón</b>                | <b>0,566959</b> |

|            |                   |          |
|------------|-------------------|----------|
| <b>88</b>  | Aerolândia        | 0,553411 |
| <b>89</b>  | Castelão          | 0,545821 |
| <b>90</b>  | (Lagoa) Sapiranga | 0,528498 |
| <b>91</b>  | Ancuri            | 0,515928 |
| <b>92</b>  | Edson Queiroz     | 0,463759 |
| <b>93</b>  | Dias Macedo       | 0,462195 |
| <b>94</b>  | Cajazeiras        | 0,454828 |
| <b>95</b>  | Jardim Iracema    | 0,448579 |
| <b>96</b>  | Paupina           | 0,418417 |
| <b>97</b>  | Lagoa Redonda     | 0,418104 |
| <b>98</b>  | Vila Velha        | 0,41014  |
| <b>99</b>  | Pirambu           | 0,390717 |
| <b>100</b> | Bom Sucesso       | 0,387472 |
| <b>101</b> | Curió             | 0,376582 |
| <b>102</b> | Mondubim          | 0,363326 |
| <b>103</b> | Bom Jardim        | 0,346537 |
| <b>104</b> | Barra do Ceará    | 0,34485  |
| <b>105</b> | Passaré           | 0,331943 |
| <b>106</b> | Presidente Vargas | 0,324399 |
| <b>107</b> | Jangurussu        | 0,309325 |
| <b>108</b> | Siqueira          | 0,29146  |
| <b>109</b> | Canindezinho      | 0,232892 |