



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**  
**DOUTORADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**ADRIANO RICARDO ALMEIDA ALEXANDRE**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE  
INFLUÊNCIAS LOCACIONAIS DOS ECOPONTOS DE FORTALEZA- CEARÁ**

**FORTALEZA**

**2021**

ADRIANO RICARDO ALMEIDA ALEXANDRE

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE  
INFLUÊNCIAS LOCACIONAIS DOS ECOPONTOS DE FORTALEZA-CEARÁ

Tese apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor.  
Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof.a Dr<sup>a</sup>. Marisete Dantas Aquino.

Coorientador: Prof. Dr. Antonio Clécio Fontelles Thomaz

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- 
- A369a Alexandre, Adriano Ricardo Almeida.  
Análise da eficiência operacional e definição das áreas de influências locacionais dos Ecopontos de Fortaleza no Estado do Ceará / Adriano Ricardo Almeida Alexandre. – 2021.  
173 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2021.  
Orientação: Prof.a. Dra. Marisete Dantas Aquino.  
Coorientação: Prof. Dr. Antonio Clécio Fontelles Thomaz
1. Resíduos sólidos. 2. Ecopontos. 3. Eficiência operacional. 4. Polígonos de Voronoi. I. Título.

CDD 628

---

ADRIANO RICARDO ALMEIDA ALEXANDRE

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL E DEFINIÇÃO DAS ÁREAS DE  
INFLUÊNCIA LOCACIONAIS DOS ECOPONTOS DE FORTALEZA-CEARÁ

Tese apresentada à Coordenação do Programa  
de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito  
parcial para a obtenção do título de Doutor.  
Área de concentração: Saneamento Ambiental

Aprovada em: 24/08/2021.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.a Dra. Marisete Dantas Aquino (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Antônio Clécio Fontelles Thomaz  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

---

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.a Dra. Claudia Coutinho Nóbrega  
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

---

Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

## AGRADECIMENTOS

Muitas pessoas contribuíram direta e indiretamente para a concretização deste trabalho. Gostaria de externar minha gratidão a todas elas em particular:

a Prof.a Dra. Marisete Dantas Aquino, minha orientadora, pelo conhecimento, amizade, paciência e incentivo decisivos em muitos momentos na realização deste trabalho;

ao Prof. Dr. Antônio Clécio Fontelles Thomaz, pelo ensinamento na modelagem por meio da Análise das Envoltórias de Dados, sua paciência e incentivo.

ao Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota, pela disponibilidade, atenção e amizade;

ao Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva, pela disponibilidade, atenção e amizade;

a Profa. Dra. Claudia Coutinho Nóbrega, pela disponibilidade e atenção;

ao Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva, pela disponibilidade e atenção;

a todos os colegas do Doutorado em Saneamento Ambiental que compartilharam comigo nas angústias e dificuldades do caminho, em especial a minha amiga Hozana Raquel de Medeiros Garcia por seu apoio, incentivo e parceria em muitos momentos;

aos meus pais Aloísio Alexandre (*in memoriam*) e Maria Lúcia pelo apoio e incentivo sempre presente em minhas realizações;

a minha esposa Silvânia e meus filhos André e Aline pelo companheirismo e incentivo no dia a dia da realização deste trabalho;

a bibliotecária e amiga Eliene Moura e professor Vianney, pelas correções realizadas;

aos funcionários da SCSP e ACFOR pela disponibilidade dos dados, pelo incentivo em prosseguir, permitindo maior facilidade e flexibilidade dos horários de trabalho para elaboração deste estudo;

aos professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento Ambiental em especial ao professor Raimundo Oliveira (*in memoriam*) conjuntamente com funcionários desta instituição da qual sou fruto, que nunca faltaram com o apoio quando necessário;

aos amigos do laboratório de cartografia da UECE, UFC e da engenharia ambiental da FANOR pelos conhecimentos e ajuda;

aos meus irmãos Aluisio, Anísio, Aldísio, Fátima e Eugênia, pelo apoio afetivo;

Enfim, quero agradecer a Deus, pela minha existência.

Pois o Senhor é quem dá sabedoria;  
de sua boca procedem o conhecimento e o  
discernimento. (Provérbios 2:6).

## RESUMO

A geração de resíduos sólidos é crescente no Mundo e no Brasil, esse problema existe em Fortaleza, no Estado do Ceará. A grande geração de resíduos sólidos e o descarte clandestino em vias, logradouros públicos e privados têm origem principalmente, nos entulhos da construção civil, podas, cortes de espécies vegetais, bem como volumosos que são mobílias estragadas, eletrodomésticos inutilizados e outros inservíveis de grandes dimensões. Por meio de estudos de indicadores e a constatação da crescente quantidade desses depósitos clandestinos, conhecidos como “pontos de lixo”, são propostos os ecopontos, para atenuar esses efeitos nocivos no cotidiano da cidade. Estes desenvolvem dois importantes programas de coleta incentivada: *E-carroceiro* e *Recicla Fortaleza*. Este estudo se dedica, à avaliação do desempenho operacional de 49 ecopontos pelo modelo *DEA* (*Data Envelopment Analysis*), recorrendo ao método *SBM* (*Slacks-Based Measure*) orientado a *outputs* (produtos) com escalas variáveis (*SBM- O- V*). As eficiências encontradas pelo modelo *SBM- O- V* das fronteiras clássicas e invertidas são transformadas em eficiências compostas e essas em normalizadas. As eficiências normalizadas são escalonadas das menos eficientes a mais eficientes, considerando quatro grupos, classificados em muito crítico, crítico, regular e ótimo, para auxiliar os gestores nas tomadas de decisões. Outra análise proposta dos ecopontos é quanto a sua localização por meio da divisão do espaço geográfico da cidade, mediante o modelo dos Polígonos de Voronoi, com o uso da plataforma computacional QGIS 2.18, onde são definidas as suas áreas de influências locais sem e com obstáculos físicos. Os obstáculos físicos são constituídos de rios, lagoas, riachos, linhas férreas, linhas de metrô e vias de grande fluxo de veículos que produzem impedimentos do acesso aos ecopontos pelos usuários. Sem obstáculos físicos, a média das áreas calculadas é de 6,75 Km<sup>2</sup> (quilômetros quadrados) e, com obstáculos físicos, a média decresce para 5,13 Km<sup>2</sup>. Mapas temáticos são gerados para representações gráficas das áreas de influência. Na utilização de obstáculos físicos, descobrem-se áreas na cidade sem nenhuma influência. Conclui-se que o estudo das análises operacionais e das áreas de influências locais são ferramentas que se complementam no auxílio da tomada de decisão pelos gestores sobre os ecopontos da cidade de Fortaleza.

**Palavras-chave:** resíduos sólidos; ecopontos; eficiência operacional; polígonos de Voronoi.

## ABSTRACT

The generation of solid waste is growing in the World and in Brazil, this problem exists in Fortaleza, in the State of Ceará. The large generation of solid waste and the clandestine disposal in roads, public and private places originates mainly from civil construction debris, prunings, cuttings of plant species, as well as bulky items that are spoiled furniture, unused appliances and other large unusable items. Through studies of indicators and the observation of the growing number of these clandestine deposits, known as “garbage points”, ecopoints are proposed to mitigate these harmful effects on the daily life of the city. These develop two important incentive collection programs: *E-carroceiro* and *Recicla Fortaleza*. This study is dedicated to evaluating the operational performance of 49 ecopoints using the DEA (Data Envelopment Analysis) model, using the SBM (Slacks-Based Measure) method oriented to outputs (products) with variable scales (SBM-O-V). The efficiencies found by the SBM-O-V model of classical and inverted boundaries are transformed into compound efficiencies and these into normalized ones. The normalized efficiencies are scaled from the least efficient to the most efficient, considering four groups, classified as very critical, critical, regular and excellent, to assist managers in decision making. Another proposed analysis of the ecopoints is their location through the division of the city's geographic space, using the Voronoi Polygons model, using the computer platform QGIS 2.18 too, where their areas of locational influences are defined without and with obstacles physicists. The physical obstacles are made up of rivers, lakes, streams, railways, subway lines and roads with a large flow of vehicles that impede users access to ecopoints. Without physical obstacles, the average of the calculated areas is 6.75 km<sup>2</sup> (square kilometers) and, with physical obstacles, the average decreases to 5.13 km<sup>2</sup>. Thematic maps are generated for graphical representations of areas of influence. By using physical obstacles, areas in the city without any influence are discovered. It is concluded that the study of operational analyzes and areas of locational influence are tools that complement each other in aiding decision-making by managers about the ecopoints in the city of Fortaleza.

**Keywords:** solid waste; ecopoints; operational efficiency; Voronoi polygon.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração de resíduos sólidos, conforme a região do Mundo, em milhões de toneladas, ano 2016 .....	25
Figura 2 – Projeção da geração mundial de resíduos de 2016 a 2050.....	25
Figura 3 – Taxas de coberturas da coleta dos resíduos sólidos dos países, 2016 .....	26
Figura 4 – Percentuais médios das despesas dos serviços de limpeza pública das cidades sobre os orçamentos municipais nos países. 2016 .....	26
Figura 5 – Porcentagem de destinos finais, por países, 2016 .....	27
Figura 6 – Geração total e <i>per capita</i> de RSU nos anos de 2017 e 2018 .....	28
Figura 7 – Geração total e <i>per capita</i> de RSU no Nordeste entre anos 2017 a 2018 .....	33
Figura 8 – Áreas das Zonas Geradores de Lixo (ZGL) .....	37
Figura 9 – Demonstrativo de obtenção do comprimento das vias por intermédio de rotina em Autolisp em planta georreferenciada.....	41
Figura 10 – Etapas para agregação das informações na definição do indicador .....	53
Figura 11 – Maquete eletrônica Ecoponto sede de ZGL, de alvenaria.....	62
Figura 12 – Maquete eletrônica Ecoponto sede de ZGL de contêineres .....	63
Figura 13 – Maquete eletrônica ecoponto tipo apoio de contêineres .....	63
Figura 14 – Composição dos resíduos domiciliares de Fortaleza em percentual .....	67
Figura 15 – Programa Planeta Limpo com apreensão de carrinho de carroceiro.....	70
Figura 16 – Requalificação de espaços públicos antes e depois na erradicação de “pontos de lixo” .....	71
Figura 17 – Processo de transformação nas DMU’s .....	72
Figura 18 – Fronteira DEA CCR orientação a <i>input</i> .....	77
Figura 19 – Fronteira DEA CCR orientação a <i>output</i> .....	79
Figura 20 – Fronteira DEA BBC com sua fronteira de eficiência orientação a <i>output</i> .....	81
Figura 21 – Estrutura e relações entre componentes de um <i>SIG</i> .....	87
Figura 22 – Fase exploratória de dados e modelo <i>DEA</i> (fase I). .....	92
Figura 23 – Fase da modelagem dos dados pelo <i>DEA SBM</i> orientado a <i>output</i> (fase II). ....	93
Figura 24 – Fase do escalonamento das eficiências para tomada de decisão (faseIII). ....	93
Figura 25 – Diferença das fronteiras de eficiência entre modelos DEA CCR (rendimentos constantes) e DEA BCC (rendimentos variáveis) .....	103
Figura 26 – Fronteira clássica (otimista) e invertida (pessimista).....	105
Figura 27 – Fase inicial de levantamento dos dados de campo (fase I). .....	108

Figura 28 – Fase da criação dos mapas temáticos primários (fase II).....	108
Figura 29 – Fase da elaboração dos mapas pelos polígonos de Voronoi (fase III).....	109
Figura 30 – Escala Gráfica de Mapas na escala 1/10.000 .....	111
Figura 31 – Relação entre as superfícies elipsoide e geoide .....	113
Figura 32 – A latitude e a longitude de um ponto no Globo Terrestre .....	115
Figura 33 – Projeções e Deformações nos Mapas .....	115
Figura 34 – Representação do polígono de Voronoi.....	118
Figura 35 – Representação do Algoritmo de Fortune.....	119
Figura 36 – Localização dos Ecopontos nos bairros da cidade de Fortaleza.....	123
Figura 37 – Representação gráfica da tabela de ativação do algoritmo dos polígonos de Voronoi .....	124
Figura 38 – O quadro de recorte final dos Polígonos de Voronoi gerados .....	125
Figura 39 – Escalonamento das eficiências operacionais dos ecopontos em 2019 .....	144
Figura 40 – Polígonos de Voronoi gerados desde os 49 ecopontos na cidade Fortaleza (CE).....	147
Figura 41 – Mapa das densidades demográficas dos bairros de Fortaleza (CE) .....	149
Figura 42 – Mapa do IDH-B dos bairros de Fortaleza (CE).....	150
Figura 43 – Áreas de Influências dos Ecopontos pelos Polígonos de Voronoi com obstáculos físicos.....	151
Figura 44 – Recorte das áreas de influências dos ecopontos pelos polígonos de Voronoi com obstáculos físicos.....	153

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das metodologias do <i>benchmarking</i> métrico .....	73
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coleta total e <i>per capita</i> de RSU, população do Brasil e regiões nos anos de 2017 e 2018 .....	29
Tabela 2 – Taxa de cobertura de RSU em relação à população total (%) .....	29
Tabela 3 – Disposição de RSU coletados, por destino final, em toneladas/ano e percentuais respectivos em relação ao total nos anos de 2017 e 2018 .....	30
Tabela 4 – Quantidade de unidades de destino final de RSU, conforme a região do Brasil no ano de 2018, e no País, em 2017 e 2018 .....	30
Tabela 5 – Quantidade de municípios, número de habitantes urbanos e no País, percentagem relativa da população urbana e total do Brasil da amostra da pesquisa em 2017 e 2018 .....	31
Tabela 6 – Quantitativo de municípios, população urbana e <i>per capita</i> de coleta de RSU por regiões do Brasil em 2017 e 2018 .....	32
Tabela 7 – Quantitativos de unidades de processamento de RSU, conforme região geográfica em 2018 .....	32
Tabela 8 – Divisão das ZGL, por Secretaria Regional (SR) .....	38
Tabela 9 – Quantitativos de equipamentos da coleta domiciliar de 2014 a 2018 .....	43
Tabela 10 – Quantitativos dos equipamentos da coleta dos resíduos públicos de 2014 a 2018 .....	44
Tabela 11 – Quantitativos de equipamentos da coleta dos resíduos dos grandes geradores de 2014 a 2018 .....	45
Tabela 12 – Quantitativos dos equipamentos das unidades de destino final de 2014 a 2018 .....	46
Tabela 13 – Os quantitativos de trabalhadores próprios de 2014 a 2018 .....	48
Tabela 14 – Os quantitativos de trabalhadores terceirizados de 2014 a 2018 .....	49
Tabela 15 – Quantitativos de RSU coletados em Fortaleza de 2014 a 2018 .....	50
Tabela 16 – Evolução dos indicadores IN006 e IN024 das cidades de Fortaleza, Salvador, Natal, Rio de Janeiro e São Paulo no período de 2014 a 2018 .....	55
Tabela 17 – Evolução dos indicadores IN021 e IN022 das cidades de Fortaleza, Salvador, Natal, Rio de Janeiro, São Paulo no período de 2014 a 2018 .....	57
Tabela 18 – A evolução do quantitativo de “pontos de lixo” na cidade de Fortaleza no período de 2014 a 2018 .....	59
Tabela 19 – Quantidade de toneladas coletadas por caçambas abertas por SR antes da	

triagem.....	66
Tabela 20 – Dados de produção do Ecoponto Fátima, de janeiro a junho de 2019.....	99
Tabela 21 – Classificação dos objetos, por tipo de resíduos recicláveis, com os seus respectivos preços em 2019.....	100
Tabela 22 – Densidade demográfica dos bairros de Fortaleza em 2010.....	127
Tabela 23 – VMD (volume médio diário) de veículos das principais vias de Fortaleza em 2019.....	132
Tabela 24 – Quantitativos de resíduos coletados em todos os ecopontos em Fortaleza (CE) em 2019.....	135
Tabela 25 – As DMUs e valores das variáveis da modelagem, por DEA SBM- O-V.....	136
Tabela 26 – Média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) das variáveis das DMUs.....	138
Tabela 27 – Coeficientes de correlação das variáveis das <i>DMUs</i> .....	138
Tabela 28 – Eficiência dos Ecopontos pelo DEA SBM- O –V clássico ou otimista.....	140
Tabela 29 – Eficiência dos ecopontos pelo DEA SBM- O –V invertido ou pessimista.....	141
Tabela 30 – Eficiência composta e normalizada dos ecopontos da pesquisa em 2019.....	142
Tabela 31 – Dimensões das áreas de influências locais dos Ecopontos pelos Polígonos de Voronoi sem obstáculos físicos em Km <sup>2</sup> .....	148
Tabela 32 – Dimensões das áreas de influências locais dos ecopontos pelos polígonos de Voronoi com obstáculos físicos em Km <sup>2</sup> .....	152

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABLP	Associação Brasileira de Limpeza Pública
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACFOR	Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental
AGEFIS	Agência de Fiscalização de Fortaleza
AIDS	<i>Acquired Immunodeficiency Disease Syndrome</i>
AMC	Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania
ANCAT	Associação Nacional de Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis
ASMOC	Aterro Metropolitano Oeste de Caucaia
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAF	<i>Corporación Andina del Fomento</i>
CAPS	Centros de Atenção Psicossocial
CEGÁS	Companhia Estadual de Gás
CEMPRE	Compromisso Empresarial com Reciclagem
COLS	<i>Corrected Ordinary Least Squares</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CRS	<i>Constant Returns to Scale</i>
CTAFOR	Controle de Trânsito de Fortaleza
CTRP	Centro de Tratamento de Resíduos Perigosos
CV	Coefficiente de variação
DEA SBM–O–V	<i>DEA SBM</i> orientado a <i>output</i> com taxas variáveis
DEA	<i>Data Enveloped Analysis</i>
DEAOS	<i>Data Envelopment Analysis On Line</i>
DLU	Departamento de Limpeza Urbana
DMU	<i>Decision Making Unit</i>
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DRENURB	Drenagem Urbana de Fortaleza
EMLURB	Empresa Municipal de Limpeza e Urbanização
EMQC	<i>Economic Measurement Quality Corporation</i>
EMS	<i>Efficiency Measure System</i>

EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPI	Equipamento de proteção individual
ESAR	Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos
EUA	Estados Unidos da América
FANOR	Faculdades do Nordeste
FJP	Fundação João Pinheiro
FOSS	<i>Free and open source software</i>
FUNLIMP	Fundo Municipal De Limpeza
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GMF	Guarda Municipal de Fortaleza
GNR	Gás Natural Renovável
GPS	<i>Global Position System</i>
GRS80	<i>Geodetic Reference System de1980</i>
GRSU	Gestão de resíduos sólidos urbanos
IAG	<i>International Association of Geodesy</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de desenvolvimento humano
IDO	Indicadores de desempenho operacional
INPC	Índice nacional de preços ao consumidor
IPAT	I- impacto ambiental, P- população, A- poder aquisitivo e T- tecnologia
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IPLANFOR	Instituto de Planejamento de Fortaleza
ITRS	<i>International Terrestrial Reference System</i>
JPEG	<i>Joint Photographic Expert Group</i>
LCRR	Lei de Conservação e Recuperação de Recursos
MC	Meridiano central
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
Mobit	Mobilidade, Iluminação e Tecnologia
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
MQOC	Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
MTR	Manifesto de Transporte de Resíduos
NBR	Normas Brasileiras
NR	Normas Regulamentadoras

NUTEC	Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará.
OGR	Óleos e gorduras residuais
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OLS	<i>Ordinary Least Squares</i>
ONU	Organizações das Nações Unidas
OSGeo	<i>Open Source Geospatial Foundation</i>
PEVs	Pontos de Entrega Voluntária
PGM	Procuradoria Geral do Município
PGRCC	Planos de Resíduos da Construção Civil
PGRS	Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PIB	Produto Interno Bruto
PIs	Planos de informações
PMF	Prefeitura Municipal de Fortaleza
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos
PNG	<i>Portable Network Graphics</i>
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PPL	Problema de Programação Linear
PPRA	Plano de Proteção de Riscos Ambientais
QGIS	<i>Quantum GIS</i>
RBBC	Rede Brasileira de Bancos Comunitários do Brasil
RCC	Resíduos da construção civil
RDO	Resíduos domiciliares
RPU	Resíduos públicos
RSS	Resíduos dos serviços de saúde
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SAD69	<i>South American Datum</i> de 1969
SAGA	Sistema de Análise Geoambiental
SBM	<i>Slacks-Based Measure</i>
SCSP	Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos
SEINF	Secretaria Municipal de Infraestrutura
SEMACE	Superintendência do Meio Ambiente do Ceará
SFA	<i>Stochastic Frontier Analysis</i>



SIAD	Sistema de Apoio à Tomada de Decisão
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SINDIÔNIBUS	Sindicato das Empresas de Transporte de Passageiros do Estado do Ceará
SIRGAS 2000	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul do ano 2000
SIT	Subsecretaria de Inspeção do Trabalho
SMDE	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRs	Secretarias Regionais
SVG	<i>Scalable Vector Graphics</i>
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i>
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
VMD	Volume médio diário
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i>
WGS84	<i>World Geodetic System de 1984</i>
ZGL	Zonas Geradora de lixo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>1.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	23
<b>1.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	23
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	24
<b>2.1</b>	<b>Os problemas da geração do RSU no Mundo</b> .....	24
<b>2.1.1</b>	<i>A geração de resíduos sólidos no Brasil</i> .....	28
<b>2.1.1.1</b>	<i>A geração de resíduos sólidos na região Nordeste</i> .....	33
<b>2.2</b>	<b>O Município de Fortaleza</b> .....	33
<b>2.2.1</b>	<i>Características físicas, demográficas e socioeconômicas</i> .....	34
<b>2.2.2</b>	<i>A organização da gestão de resíduos sólidos</i> .....	34
<b>2.2.3</b>	<i>Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos (PMGIRS)</i> .....	36
<b>2.2.4</b>	<i>Zonas Geradoras de Resíduos Sólidos (ZGL)</i> .....	37
<b>2.2.5</b>	<i>Sistemas de monitoramento das atividades de limpeza dos RSU</i> .....	38
<b>2.2.5.1</b>	<i>Sistemas de monitoramento da coleta domiciliar</i> .....	38
<b>2.2.5.2</b>	<i>Sistemas de monitoramento das unidades de destino final</i> .....	39
<b>2.2.5.3</b>	<i>Sistemas de monitoramento da coleta particular do grande gerador</i> .....	40
<b>2.2.5.4</b>	<i>Sistemas de monitoramento da coleta especial</i> .....	41
<b>2.2.5.5</b>	<i>Outros sistemas de monitoramento</i> .....	41
<b>2.2.6</b>	<i>Legislação municipal pertinente aos RSU</i> .....	42
<b>2.2.7</b>	<i>A frota de veículos, equipamentos e pessoal envolvido na limpeza pública</i> .....	43
<b>2.2.7.1</b>	<i>Frota de veículos e equipamentos em Fortaleza</i> .....	43
<b>2.2.7.3</b>	<i>Pessoal envolvido na limpeza pública</i> .....	46
<b>2.2.8</b>	<i>A produção de resíduos sólidos urbanos</i> .....	49
<b>2.3</b>	<b>Os indicadores como ferramenta de análise dos RSU</b> .....	50
<b>2.3.1</b>	<i>Estudos sobre indicadores</i> .....	51
<b>2.3.2</b>	<i>Indicadores do SNIS</i> .....	54
<b>2.3.3</b>	<i>Os “pontos de lixo” em Fortaleza</i> .....	58
<b>2.4</b>	<b>Os ecopontos em Fortaleza</b> .....	59
<b>2.4.1</b>	<i>A história dos ecopontos em Fortaleza</i> .....	60
<b>2.4.2</b>	<i>Aspectos construtivos dos ecopontos em Fortaleza</i> .....	61
<b>2.4.3</b>	<i>A coleta seletiva dos resíduos</i> .....	64
<b>2.4.3.1</b>	<i>A análise gravimétrica dos resíduos em Fortaleza</i> .....	65

2.4.4	<i>Programas desenvolvidos nos ecopontos</i> .....	68
2.5	<b>Análises das eficiências dos ecopontos</b> .....	71
2.5.1	<i>A análise da eficiência pelo DEA</i> .....	73
2.5.2	<i>Modelo CCR</i> .....	74
2.5.2.1	<i>Modelo CCR orientado a input (CCR-I)</i> .....	74
2.5.2.2	<i>Modelo CCR orientado a output (CCR-O)</i> .....	77
2.5.3	<i>Modelo BCC</i> .....	79
2.5.3	<b>Pesquisas sobre DEA</b> .....	81
2.6	<b>Análises das influências locais dos ecopontos</b> .....	86
2.6.1	<i>Descrição dos SIG</i> .....	86
2.6.2	<i>Pesquisas sobre polígonos de Voronoi</i> .....	88
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	92
3.1	<b>Fluxograma da metodologia da análise do desempenho operacional dos ecopontos</b> .....	92
3.2	<b>A análise do desempenho pelo DEA</b> .....	94
3.2.1	<i>Modelo SBM</i> .....	94
3.2.2	<i>Características do DEA</i> .....	95
3.2.3	<i>A área do estudo</i> .....	96
3.2.4	<i>A escolha do modelo DEA</i> .....	97
3.2.4.1	<i>As variáveis escolhidas</i> .....	97
3.2.4.2	<i>O modelo DEA escolhido</i> .....	101
3.2.4.3	<i>A plataforma computacional utilizada</i> .....	103
3.2.4.4	<i>A escolha das variáveis input e output do modelo</i> .....	103
3.2.5	<i>A Fronteira inversa, eficiência composta e normalizada</i> .....	104
3.2.6	<i>O escalonamento para a tomada de decisão</i> .....	106
3.3	<b>Fluxograma da metodologia da análise da influência local pelos polígonos de Voronoi</b> .....	107
3.4	<b>A análise das influências locais pelos polígonos de Voronoi</b> .....	109
3.4.1	<i>Os mapas temáticos</i> .....	110
3.4.2	<i>A escala dos mapas</i> .....	111
3.4.2.1	<i>A escala numérica</i> .....	111
3.4.2.2	<i>A escala gráfica</i> .....	111
3.4.2.3	<i>A escala equivalente ou nominal</i> .....	112
3.4.3	<i>O sistema de referência de coordenadas cartográficas</i> .....	112

3.4.3.1	<i>Datum Sul Americano de 1969 (South American Datum - SAD 69)</i> .....	113
3.4.3.2	<i>Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul - SIRGAS</i> .....	114
3.4.5	<b>O sistema de projeção das coordenadas</b> .....	114
3.4.5.1	<i>Sistema de Coordenadas Geográficas</i> .....	114
3.4.5.2	<i>Sistema Universal Transversa Mercator (UTM)</i> .....	116
3.4.6	<b>Definição dos polígonos de Voronoi</b> .....	116
3.4.7	<b>O algoritmo de Fortune</b> .....	118
3.4.8	<b>O uso dos polígonos de Voronoi na divisão do espaço geográfico</b> .....	120
3.4.9	<b>A plataforma computacional QGIS</b> .....	121
3.4.9.1	<i>Os materiais utilizados</i> .....	122
3.4.9.2	<i>A área de estudo</i> .....	122
3.4.10	<b>A Geração dos polígonos de Voronoi</b> .....	123
3.4.10.1	<i>O cálculo das áreas dos polígonos</i> .....	126
3.4.11	<b>A densidade demográfica nos bairros de Fortaleza</b> .....	126
3.4.12	<b>O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), por bairros, em Fortaleza</b> .....	129
3.4.13	<b>Os obstáculos físicos</b> .....	130
3.4.13.1	<i>O volume médio diário (VMD)</i> .....	131
3.4.14	<b>As saídas gráficas</b> .....	133
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	134
4.1	<b>A análise do desempenho operacional</b> .....	134
4.1.1	<i>A análise exploratória de dados</i> .....	138
4.1.2	<i>Os resultados do DEA normal ou otimista</i> .....	139
4.1.3	<i>Os resultados do DEA invertido ou pessimista</i> .....	140
4.1.4	<i>A eficiência composta e normalizada dos ecopontos</i> .....	141
4.1.5	<i>O escalonamento e os intervalos das eficiências</i> .....	144
4.2	<b>A análise das influências locais</b> .....	146
4.2.1	<i>Os resultados das áreas de influências pelos polígonos de Voronoi</i> .....	147
4.2.2	<i>Os mapas das densidades demográficas e o IDH-B</i> .....	149
4.2.3	<i>Os polígonos de Voronoi com obstáculos físico</i> .....	151
5	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	155
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	158
	<b>ANEXO A – ENDEREÇO DOS 49 ECOPONTOS DA PESQUISA EM FORTALEZA</b> .....	172

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional, aliado ao crescimento da expectativa de vida com crescença da urbanização e a adoção de novas práticas de consumo por perfilhamento de novas tecnologias, provocam um aumento na produção de resíduos sólidos em todo o Mundo.

A produção de resíduos sólidos nas cidades crescerá de 2,01 bilhões de toneladas em 2016 para aproximadamente 3,40 bilhões de toneladas em 2050, permanecendo o panorama econômico como o atual. A geração *per capita* em 2016 estava em torno de 0,74 kg/dia e a taxa de geração *per capita* dos países varia de 0,11 kg/ dia a 4,54 kg/ dia, segundo pesquisa do Banco Mundial, organismo das Organizações das Nações Unidas (ONU) (KAZA *et al.*, 2018).

A mesma pesquisa aponta que a previsão desta geração de 2016 para 2050 triplicará na África Subsaariana e dobrará no Norte da África, Oriente Médio e Sul da Ásia, onde o percentual médio de coleta de resíduos é de 48% (quarenta e oito por cento) nas cidades, decrescendo para 22% (vinte e dois por cento) nas zonas rurais (KAZA *et al.*, 2018).

O destino final dos resíduos sólidos nas cidades nos cinco continentes possui percentuais diferentes, de acordo com o nível de desenvolvimento econômico dos países, segundo pesquisa do Banco Mundial de 2018, sendo que 93% (noventa e três por cento) depositam os resíduos sem nenhum tratamento nos países subdesenvolvidos, sendo este índice de somente 2% (dois por cento) nos países desenvolvidos. Nos países em desenvolvimento, prevalecem em 54% (cinquenta e quatro por cento) depósitos em aterros, taxa que diminui para 39% (trinta e nove por cento) para os países desenvolvidos que complementam a sua disposição com 35% (trinta e cinco por cento) com reciclagem e compostagem e 22%(vinte e dois) com incineração. Do total de aterros sanitários das cidades de todos os países, somente 8% (oito por cento) possuem sistema de coleta e aproveitamento de gases (KAZA *et al.*, 2018).

A modernidade advinda de novas tecnologias impôs mudanças nos padrões de consumo e produção em todas as cidades, o que, associado à falta de boas práticas de gerenciamentos dos resíduos sólidos, principalmente nos países mais pobres, enseja danos consideráveis ao meio ambiente e à saúde de seus habitantes.

Os países mais desenvolvidos, apesar de serem os maiores geradores de resíduos, possuem, porém, melhores sistemas de gestão de resíduos sólidos que, associados a maior conscientização ambiental dos seus habitantes, mais recursos financeiros e tecnológicos compensam dessa maneira com a efetiva minimização dos efeitos nocivos de sua produção

Por outro lado, países subdesenvolvidos e em desenvolvimento não possuem gestões adequadas, sendo detentores de menos recursos financeiros e tecnológicos, têm agravados os seus problemas ambientais e de saúde em decorrência dos resíduos sólidos. Países subdesenvolvidos fazem com que se adotem medidas locais mais baratas para melhorar as suas gestões, entre elas o consumo e produção sustentáveis dos produtos associados a soluções tecnológicas mais econômicas para o descarte dos resíduos sólidos (HOORNERG; FREIRE, 2013).

O Brasil é o quarto maior país em geração de resíduos por ano (em torno de 78 milhões de toneladas), atrás apenas de China, Estados Unidos e Índia (DA SILVA; FUGII; SANTOYO, 2017). Em 2018 foram gerados 79 milhões, com um aumento um pouco menor do que 1% (um por cento) em relação ao ano anterior, sendo que, deste montante, 40,5% (quarenta e cinco por cento) foram depositados em condições inadequadas, conforme a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2019).

A geração total de resíduos sólidos urbanos (RSU) diária, segundo a ABRELPE(2019), teve um crescimento de 0,82%, aumentado de 214.868 toneladas por dia (t/dia) em 2017 para 216.629 t/dia em 2018, um pouco maior do que a população, que aumentou 0,40% em 2017 à 2018 conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A geração *per capita* cresceu 0,39, de 1,35 Kg/ habitante/ dia para 1,39 Kg/habitante/dia (ABRELPE, 2019; IBGE, 2017, 2018a).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) promovido pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) do Governo Federal do Brasil obteve os números de coleta de RSU nos anos de 2017 e 2018 do Brasil dos municípios participantes da análise. Para explicitar a representatividade da amostra obtida pelo estudo, o diagnóstico em 2018 contou com a participação de 81,4 % da população total do Brasil e 85,6% do seu contingente populacional urbano. A coleta de RSU cresceu de aproximadamente 170 mil t/dia em 2017 para 172 mil t/dia em 2018, um aumento de 1,18%. A coleta *per capita* aumentou de 0,95 Kg/habitante/dia para 0,96 Kg/habitante/dia, com acréscimo de 1,05 % (SNIS, 2017, 2018).

Um dado preocupante nas duas pesquisas é o destino final dos resíduos sólidos no Brasil. De acordo com a ABRELPE (2019), 80680 t/dia ou 40,50% do total de resíduos foram depositadas em lixões a céu aberto ou aterros controlados em 2018. Na pesquisa do SNIS em 2018, 10,5 milhões de toneladas ou 22,11% do total de resíduos depositados em lixões, aterros controlados e aterros sanitários dos municípios brasileiros participantes da pesquisa. Isto

demonstra a situação precária do Brasil, onde a operação inadequada contamina o meio ambiente pelo descarte diretamente no solo sem nenhum ou pouco tratamento, problema agravado com as pessoas a “catar” lixo como meio de sobrevivência e a viver nas proximidades (RAMOS *et al.*, 2017).

A região Nordeste, entre as demais do Brasil, possui o maior número de lixões, com 844 unidades (ABRELPE, 2019) ou 588 locais (SNIS, 2018) e é responsável pela geração de 43.763 t/dia de resíduos sólidos urbanos ou 22 % da produção brasileira (ABRELPE, 2019).

A cidade de Fortaleza, capital do Estado do Ceará (CE), situado na região Nordeste, é geradora de uma grande quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU), com a produção de 1.527.411,60 toneladas por ano, ou seja, 4184,69 t/dia (FORTALEZA, 2019). A sua população, em 2018, foi estimada em 2.643.247 habitantes, vivendo numa área de 313,8 km<sup>2</sup>, resultando uma densidade demográfica de 8.423,35 habitantes/km<sup>2</sup>, a mais densa das capitais de todos os Estados do Brasil (IBGE, 2018a).

Isto provoca muitos problemas, como sobrecarga no sistema de abastecimento de água e esgotamento sanitário, dificuldade no controle urbanístico e outros impactos na vida cotidiana deste centro urbano. Um dos grandes impactos, porém, neste município refere-se à geração de resíduos sólidos com incremento ano após ano, tornando-se um dos mais relevantes nesta cidade. Associado a essa crescente produtividade, têm-se, principalmente, o descarte clandestino e inapropriado em vias, logradouros públicos e particulares, vazios e desocupados, os denominados pela população como “pontos de lixo”. Estes são constituídos, majoritariamente de resíduos de origem da construção civil, de podas e cortes de espécies vegetais. Apesar do crescente esforço demandado pelas instituições municipais responsáveis pelo gerenciamento das operações de coleta e destino final dos resíduos sólidos, foram pouco eficazes no intuito de debelar estes depósitos clandestinos (“pontos de lixo”).

Vários esboços foram realizados e baseando-se nas propostas de análises dos aspectos técnicos, ambientais, econômicos e sociais, na implementação de novas tecnologias assentadas em estudos e indicadores, encontrou-se uma solução de localização de unidades de Transbordo para recebimentos por entrega voluntária de pequenas quantidades de resíduos oriundos da construção civil, da poda e corte de espécies vegetais, volumosas (inservíveis, como mobílias velhas, geladeiras e outros) e os resíduos recicláveis, surgindo assim os ecopontos, em 2016. Eles conformam ações governamentais da gestão de resíduos sólidos no Governo Municipal de Fortaleza (CE) para atenuar o problema. Experiências incipientes de ecopontos existiram, porém, antes em 2012.

A tese sob relatório desenvolve uma linha de pesquisa que realiza a análise da eficiência operacional e define as áreas de influência locais dos ecopontos na cidade de Fortaleza.

O trabalho serve de meio no auxílio aos gestores da cidade na busca por um aperfeiçoamento da eficiência das operações produtivas realizadas nos ecopontos por meio do modelo *DEA (Data Envelopment Analysis)* ou Análise de Envoltória de Dados com a utilização do método *SBM (SBM - Slacks-Based Measure)*, com o intuito de otimizar os seus desempenhos destes postos de entrega voluntária.

O trabalho adita, ainda, o estudo das áreas de influências locais por intermédio da modelagem dos polígonos de Voronoi em plataformas de geoprocessamento, com vistas a determinar o alcance das intervenções em cada ecoponto.

A tese ora relatada é estruturada em cinco capítulos, consoante está descrito na sequência.

O primeiro descreve, resumidamente, o problema dos resíduos sólidos no Mundo e no Brasil. Revela a existência do impacto danoso do descarte clandestino de resíduos sólidos em Fortaleza e a busca da solução pela implantação dos ecopontos. Aborda, ainda, a linha de pesquisa adotada, mediante programas computacionais sobre a eficiência produtiva dos ecopontos e suas áreas de influências locais. Compreende, também, os objetivos geral e específicos da pesquisa.

O segundo módulo é dividido em seis subcapítulos. Começa comentando sobre os resíduos sólidos, com explicitação da geração no Mundo, Brasil e região Nordeste. Em seguida, descreve a cidade de Fortaleza com suas características físicas, demográficas e econômicas, a organização da sua gestão de RSU, legislação pertinente, a frota, equipamentos, pessoal envolvido na limpeza pública, despesas e produção de resíduos na cidade. Outro tópico tratado é o uso de indicadores para análise da gestão em Fortaleza, os estudos com o uso deles na análise do RSU, os indicadores do SNIS e os “*pontos de lixo*”.

À continuação, trata acerca dos ecopontos em Fortaleza, com sua história, aspectos construtivos, a coleta seletiva e os programas desenvolvidos nestes equipamentos. Por fim, são explicitadas as pesquisas relacionadas à análise da sua eficiência operacional pelo modelo *DEA (Data Enveloped Analysis)* ou Análise das Envoltórias de Dados e os relacionados à definição das áreas de influências locais pelos polígonos de Voronoi. Este capítulo consta de revisão de literatura relacionada aos temas dos seis subtítulos, compreendendo definições, levantamentos de dados em órgãos públicos e privados, histórico



e aspectos construtivos dos ecopontos, pesquisas e normas técnicas pertinentes aos seus conteúdos.

O terceiro segmento discute a metodologia empregada para estratégia de solução dos modelos de *DEA (Data Enveloped Analysis)* e polígonos de Voronoi.

O quarto, por sua vez, reporta-se aos resultados obtidos das análises das eficiências operacionais e definição das influências locais dos ecopontos nas situações, mediante os modelos propostos por esta investigação. Os resultados são descritos e comentados.

O quinto módulo oferece as conclusões da pesquisa e adita sugestões para mais estudos acerca da matéria. Após este capítulo, é referenciada a lista de trabalhos científicos que serviram de acervo teórico e prático com vistas a validar o produto deste experimento acadêmico *stricto sensu*.

## **1.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desta obra é analisar as eficiências operacionais e definir as áreas de influências locais dos ecopontos da cidade de Fortaleza, utilizando programas computacionais baseados nos modelos *Data Enveloped Analysis (DEA)* ou Análise das Envoltórias de Dados e no modelo polígonos de Voronoi.

## **1.2 Objetivos específicos**

De modo específico a pesquisa visa a:

- a) utilizar rotinas computacionais para analisar e determinar as eficiências operacionais dos programas desenvolvidos nos ecopontos, utilizando o modelo *DEA (Data Enveloped Analysis)* ou Análise das Envoltórias de Dados;
- b) empregar programas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) ou em inglês *Geographic Information System (GIS)* para definir, representar e analisar no espaço territorial através do modelo Polígonos de Voronoi, as áreas de influências locais dos Ecopontos; e
- c) propor ações a serem adotadas nos ecopontos, visando a alcançar melhor aproveitamento dessas unidades de recebimento de resíduos sólidos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, abordam-se cenários, definições e estudos relativos à problemática dos RSU no Mundo e Brasil, o uso de indicadores, os ecopontos em Fortaleza, noções de *DEA* (*Data Enveloped Analysis*) e descrição de sistemas SIG e pesquisas relacionadas à análise da sua eficiência operacional pelo modelo *DEA* e a análise das áreas das suas influências locais pelos polígonos de Voronoi. Aqui são demonstradas as definições, características e estudos sobre a geração do RSU; os ecopontos em Fortaleza, com sua história, aspectos construtivos, operações e programas existentes; o uso de indicadores na análise da gestão local dos resíduos sólidos apontado para mudanças com a utilização dos ecopontos para minimizar os efeitos danosos. Expõem-se noções de *DEA* e descrição de sistemas SIG, assim como trabalhos de autores diversos que contribuíram para o desenvolvimento de modelos de análise de eficiência por meio do método *DEA* e modelos de definição de áreas de influências locais.

### 2.1 Os problemas da geração do RSU no Mundo

A geração dos resíduos sólidos está afetando as pessoas em todo o Mundo. Os resíduos produzem enchentes, pela obstrução dos sistemas de drenagem; espalham doenças com o aumento de vetores (ratos, baratas e outros); contaminam os lençóis freáticos, diminuindo a oferta de água potável; poluem os oceanos e rios, afetando seus ecossistemas e a sobrevivência dos animais silvestres; resultam em prejuízos econômicos, principalmente no turismo, e a queima dos resíduos provoca doenças respiratórias. Portanto, fazem-se necessários estudos que induzam melhoras nesse impacto ambiental negativo na vida das pessoas.

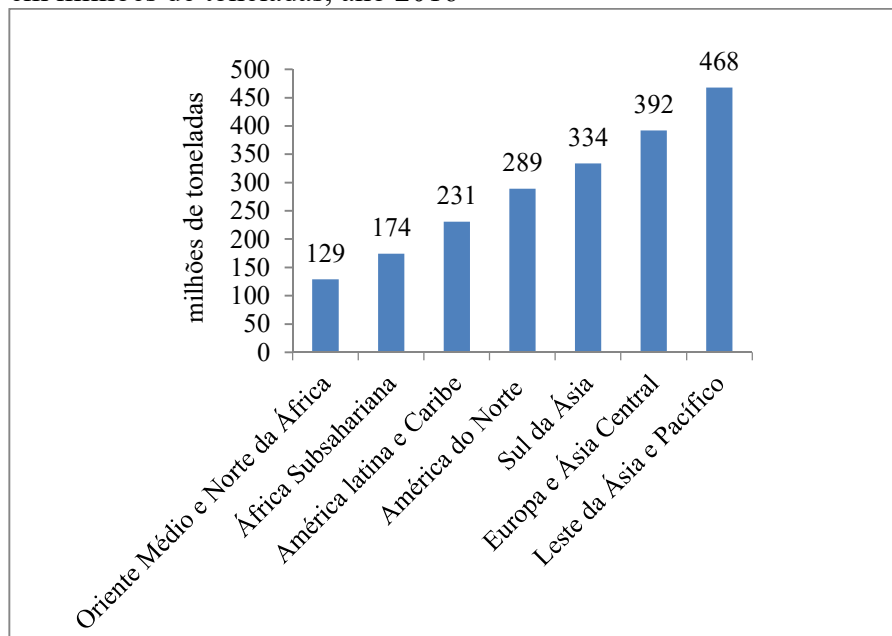
A geração de resíduos sólidos no Mundo foi estimada em 2,01 bilhões de toneladas de resíduos em 2016, com a expectativa de crescer para acima de 3,4 bilhões de toneladas nos próximos 30 anos, conforme estudo do Banco Mundial (2018). Somente 16% da população mundial vivendo em países desenvolvidos responderam por 34% da produção mundial de resíduos, mas, em compensação, os 9% da população residente em países pobres geram somente 5% deste total. Em relação às taxas médias de cobertura de coleta destes resíduos, estas se invertem, sendo 96% em países desenvolvidos e em 39% nos países pobres. Os custos dos sistemas de gerenciamento dos resíduos sobre as receitas nas administrações

locais variam de 4% nos países ricos, de 11% em países subdesenvolvidos e 19% em países pobres (KAZA *et al.*, 2018).

Isso cria um contraste de extrema enorme desigualdade econômica, uma vez que os países mais desenvolvidos produzem mais resíduos sólidos e gastam menos percentualmente com suas coletas e tratamentos, por serem detentores de mais recursos financeiros do que os países pobres, onde, a seu turno, não se consegue coletar e tratar a totalidade dos resíduos gerados, por falta de recursos monetários.

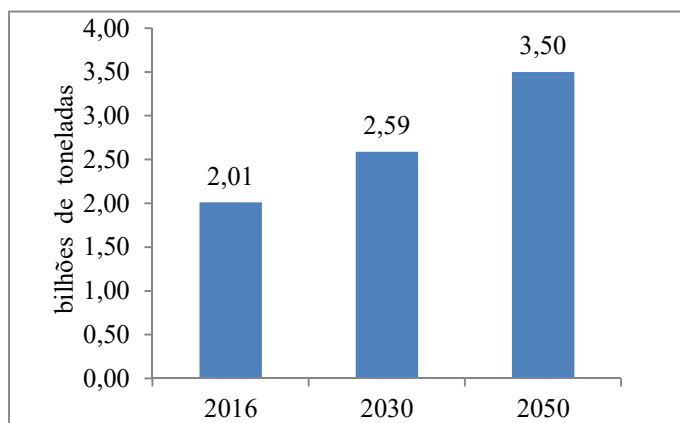
As Figuras 1 e 2 demonstram a geração, conforme a região do Mundo e o crescimento da produção de resíduos até 2050.

Figura 1 – Geração de resíduos sólidos, conforme a região do Mundo, em milhões de toneladas, ano 2016



Fonte: Adaptado de Kaza *et al.* (2018, p. 20).

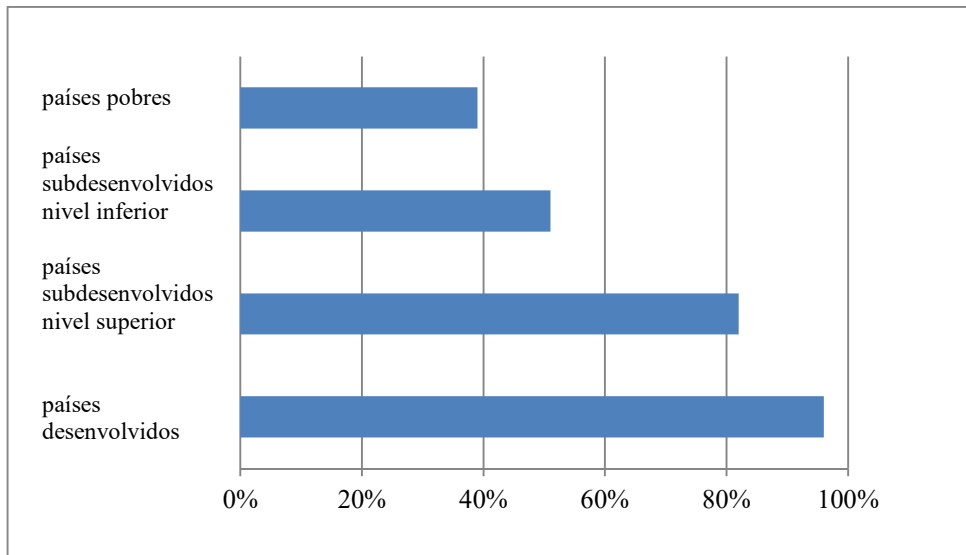
Figura 2 – Projeção da geração mundial de resíduos de 2016 a 2050



Fonte: Adaptado Kaza *et al.* (2018, p. 25).

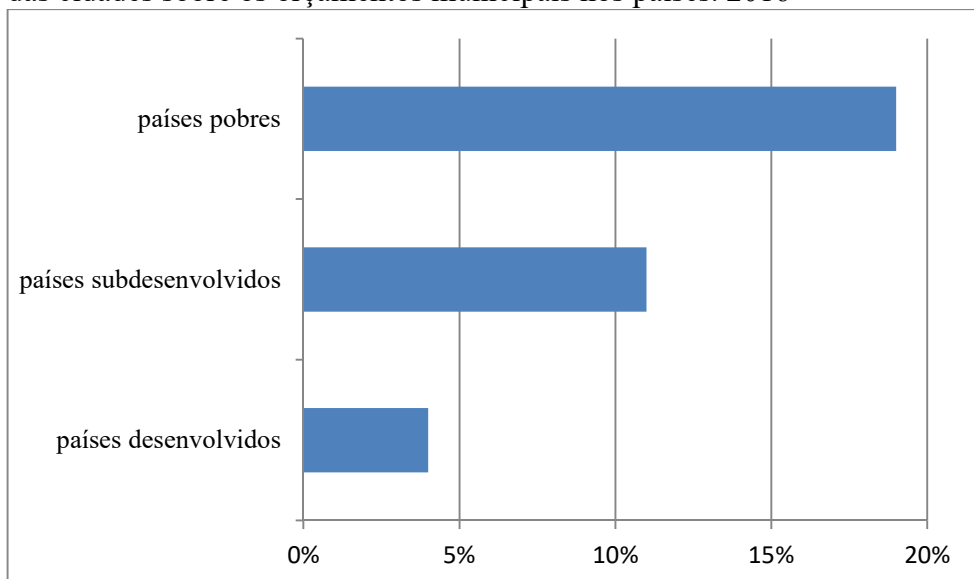
A Figura 3 expressa as taxas de cobertura da coleta dos resíduos sólidos e a Figura 4 os valores percentuais médios das despesas com os serviços de limpeza pública sobre os orçamentos municipais nos países desenvolvidos, subdesenvolvidos nível superior, subdesenvolvidos nível inferior e países pobres.

Figura 3 – Taxas de coberturas da coleta dos resíduos sólidos dos países, 2016



Fonte: Adaptado Kaza *et al.* (2018, p. 32).

Figura 4 – Percentuais médios das despesas dos serviços de limpeza pública das cidades sobre os orçamentos municipais nos países. 2016

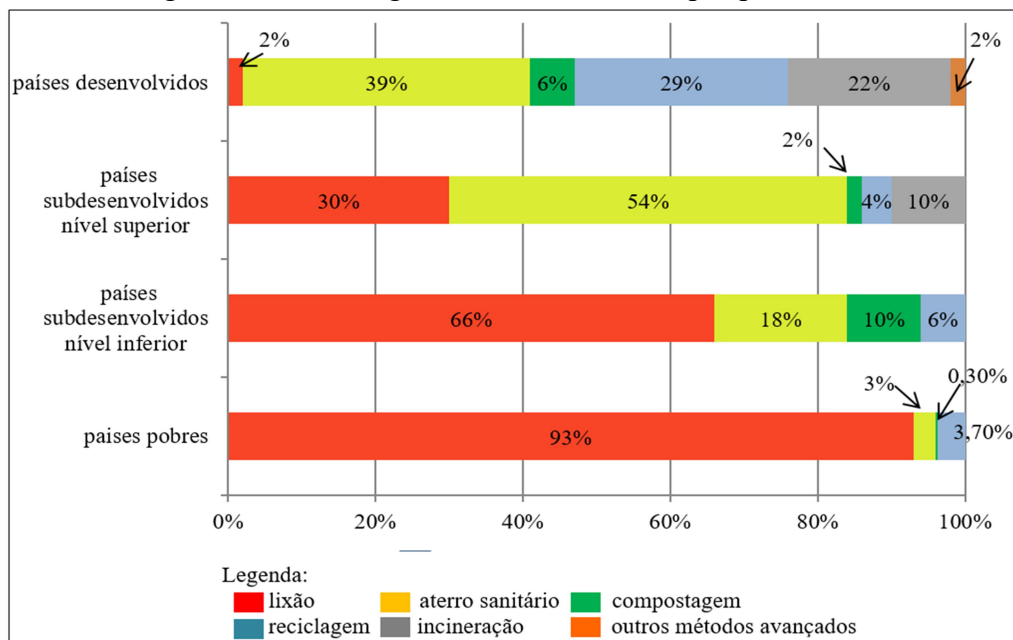


Fonte: Adaptado Kaza *et al.* (2018, p. 102).

Essa estratificação definida pelo Banco Mundial baseia-se nas rendas *per capita* com os respectivos interstícios: países desenvolvidos de U\$12.476,00 (doze mil e quatrocentos e setenta seis dólares) ou mais, países subdesenvolvidos nível superior de U\$4.036,00 (quatro mil e trinta e seis dólares) a U\$12.475,00 (doze mil e quatrocentos e setenta cinco dólares), países subdesenvolvidos nível inferior de U\$1.026,00 (um mil e vinte e seis dólares) à U\$ 4.035,00 (quatro mil e trinta e cinco dólares), países pobres de U\$0,00 (sem renda formal) à U\$1.025,00 (um mil e vinte e cinco dólares) (WORLD BANK, 2016).

O destino final dos resíduos sólidos nos diversos países se modifica de acordo com as suas condições econômicas. A Figura 5 mostra os variados percentuais de destino final. Nos países desenvolvidos prevalecem as condições mais adequadas ambientalmente, ao passo que, nos países pobres, ao contrário, prevalecem condições não adequadas.

Figura 5 – Porcentagem de destinos finais, por países, 2016



Fonte: Adaptado Kaza *et al.* (2018, p. 35).

Dois consideráveis problemas em áreas metropolitanas densamente povoadas constituem-se na inexistência de áreas e na falta de locais apropriados para depositar seus resíduos adequadamente. Isso decorre do fato de haver áreas ambientalmente protegidas e dos impactos de vizinhança das áreas da disposição. Isso ocasiona aumento na geração dos resíduos, provocada por mudanças nos padrões de consumo, excessivo e supérfluo, exigindo comprometimento maior de todos para o desenvolvimento sustentável (JACOBI; BESEN, 2011).

Um conjunto de metas do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estabelecidos em setembro de 2015 pela Cúpula das Nações Unidas criou uma plataforma chamada Agenda 2030, com 17 objetivos de desenvolvimento sustentável que propõem uma ação global para acabar com a pobreza mediante a promoção da prosperidade e do bem-estar para todos, proteger o meio ambiente e enfrentar as mudanças climáticas. O Objetivo 12 tem o título “Assegurar Padrões de Produção e Consumo Sustentáveis” e no item 12.5 determina: “até 2030, reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reúso.” (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

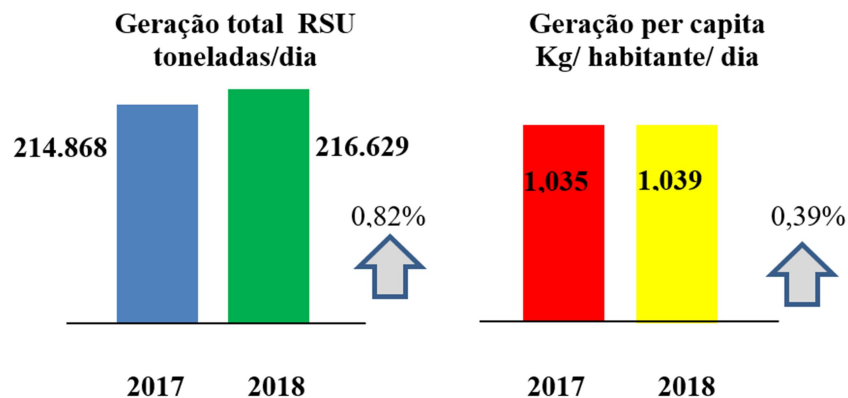
### 2.1.1 A geração de resíduos sólidos no Brasil

A geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil cresceu nos últimos anos em decorrência de vários fatores, mencionando-se como principais as condições econômicas, o aumento demográfico e a cultura do consumismo e descarte. Assim, pontos econômicos e culturais se associaram aos aspectos demográficos, influenciando na quantidade de resíduos sólidos produzidos pelas populações, que não dependem somente do nível de riqueza e sua capacidade econômica para consumir, mas também dos preceitos e práticas de vida, resultando no nível de disposição de utilizar os produtos e descartá-los (GODECKE; NAIME, FIGUEIREDO, 2012).

Os RSU no Brasil produzidos em 2018 tiveram um aumento de quase 1% em relação a 2017, chegando a 216.629 t/dia. A população cresceu um pouco mais de 0,40% em 2017 e 2018 e a geração *per capita* aumentou 0,39%.

A Figura 6 os dados foram retirados da ABRELPE (2017, 2018) e IBGE (2017, 2018a).

Figura 6 – Geração total e *per capita* de RSU nos anos de 2017 e 2018



Fonte: Modificado de ABRELPE (2017, 2018) e IBGE (2017, 2018a).

A quantidade de RSU coletados foi menor, pois as taxas de cobertura relativas à população total não representam 100%. Em 2017, o valor foi de 196.050 t/dia e, em 2018, de 199.311 t/dia. A Tabela 1 explicita esses valores e agrega outros, como população, coleta total de RSU e seu número *per capita* do País, conforme a região geográfica nos anos de 2017 e 2018.

Tabela 1 – Coleta total e *per capita* de RSU, população do Brasil e regiões nos anos de 2017 e 2018

<b>Regiões do Brasil</b>	<b>RSU Total 2017</b> t/ dia	<b>População 2017</b> habitantes	<b>População 2018</b> habitantes	<b>RSU Total 2018</b> t/ dia	<b>Geração per capita 2017</b> kg/habitante / dia	<b>Geração per capita 2018</b> kg/habitante / dia
Norte	12.705	17.936.201	18.182.253	13.069	0,71	0,72
Nordeste	43.871	57.254.159	56.760.780	43.763	0,77	0,77
Centro-Oeste	14.406	15.875.907	16.085.885	14.941	0,91	0,93
Sudeste	103.741	86.949.714	87.711.946	105.977	1,19	1,21
Sul	21.327	29.644.948	29.754.036	21.561	0,72	0,72
<b>Brasil</b>	<b>196.050</b>	<b>207.660.929</b>	<b>208.494.900</b>	<b>199.311</b>	<b>0,94</b>	<b>0,96</b>

Fonte: Modificado de ABRELPE (2017, 2018) e IBGE (2017, 2018a).

A Tabela 2 define os índices percentuais de cobertura da coleta do RSU, conforme a região do Brasil, nos anos de 2017 e 2018. Esse índice define o percentual da população atingida pela coleta regular dos RSU.

Tabela 2 – Taxa de cobertura de RSU em relação à população total (%)

<b>Regiões do Brasil</b>	<b>Taxa de cobertura de RSU em relação à população total(%)</b>	
	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Norte	81,27	81,31
Nordeste	79,06	81,08
Sudeste	98,06	98,07
Sul	98,06	98,07
Centro-Oeste	92,03	93,78
<b>Brasil</b>	<b>91,24</b>	<b>92,01</b>

Fonte: Modificado de ABRELPE (2019, p. 16).

A destinação final dos RSU coletados é classificada pela Tabela 3 em lixões, aterros controlados e aterros sanitários; e seu armazenamento em toneladas/ano, conforme a região do Brasil nos anos de 2017 e 2018.

Tabela 3 – Disposição de RSU coletados, por destino final, em toneladas/ano e percentuais respectivos em relação ao total nos anos de 2017 e 2018

<b>Destino final</b>	<b>toneladas/ ano 2017</b>	<b>% do total 2017</b>	<b>toneladas/ ano 2018</b>	<b>% do total 2018</b>
Aterro sanitário	42.267.365	59,00	43.300.315	59,52
Aterro controlado	16.381.565	23,00	16.727.950	22,99
Lixão	12.909.320	18,00	12.720.250	17,49
<b>Total</b>	<b>71.558.250</b>	<b>100,00</b>	<b>72.748.515</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Modificado de ABRELPE (2019, p. 18).

Na Tabela 3, visualiza-se a elevada quantidade de resíduos coletados do RSU em 2017 (41%) e 2018 (40,48%) depositados inadequadamente em aterros controlados e lixões.

Os lixões produzem danos ao solo, ao ar e aos recursos hídricos, pois ensejam ambientes inadequados de destinação final dos resíduos sólidos onde são descartados sem qualquer cuidado, proporcionando um grave problema para a saúde pública e para o meio ambiente (CORREIA *et al.*, 2018).

A quantidade de unidades de destino final do RSU, conforme região e no Brasil como um todo, nos anos de 2018 e em 2017, é vista na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de unidades de destino final de RSU, conforme a região do Brasil no ano de 2018, e no País, em 2017 e 2018

<b>Disposição final</b>	<b>Brasil 2017</b>	<b>Regiões e Brasil - 2018</b>				
		<b>Norte</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Centro Oeste</b>	<b>Sul</b>	<b>Brasil</b>
Aterro sanitário	2.218	93	454	162	1.040	2.569
Aterro controlado	1.742	110	496	152	109	1.508
Lixão	1.610	247	844	153	42	1.493
<b>Brasil</b>	<b>5.570</b>	<b>450</b>	<b>1.794</b>	<b>467</b>	<b>1.191</b>	<b>5.570</b>

Fonte: ABRELPE (2019, p. 19).

Sobra evidente com a Tabela 4 é a pequena melhora nos destinos finais ambientalmente corretos (aterro sanitário) em 2017 e 2018. A região Nordeste possui a maior parcela de lixões e aterros controlados, sem condições ambientais e também legais, como preconiza a Lei 12.305/2010 da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Existem outras pesquisas nacionais sobre resíduos sólidos, destacando-se o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), uma ferramenta criada em 2002



pelo Ministério das Cidades, hoje Ministério do Desenvolvimento Regional, para auxiliar os municípios no planejamento e gestão dos resíduos sólidos. Elabora diagnósticos anuais sobre sistemas de água, esgotos, resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais, abrangendo aspectos operacionais, administrativos, econômico-financeiros, contábeis e de qualidade dos serviços.

Os envios das informações são realizados, voluntariamente, pelos municípios, porém, caso o município não envie as informações, ele será punido, pois não poderá pleitear recursos junto à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério do Desenvolvimento Regional no ano subsequente correspondente ao não envio na área de resíduos sólidos (SNIS, 2018).

A Tabela 5 define o número de municípios participantes, quantitativo de habitantes urbanos e total do País, bem como o percentual relativo de população urbana e da população total do Brasil da amostra da pesquisa, em 2017 e 2018, realizados pelo SNIS (SNIS, 2017, 2018).

Tabela 5 – Quantidade de municípios, número de habitantes urbanos e no País, percentagem relativa da população urbana e total do Brasil da amostra da pesquisa em 2017 e 2018

<b>Anos</b>	<b>Municípios da amostra</b>	<b>% população urbana</b>	<b>População urbana habitantes</b>	<b>População total Habitantes</b>	<b>% população total do Brasil habitantes</b>
2017	3556	63,8	147.279.158	166.412.041	80,1
2018	3468	62,3	151.107.398	169.841.367	81,5

Fonte: Modificado de SNIS (2018, p. 35).

A coleta de RSU pela pesquisa do SNIS (2017, 2018) difere da investigação ABRELPE (2017, 2018), Tabela 1, no quesito coleta de RSU em toneladas/ ano, embora os percentuais do Brasil equivalham a 0,96 Kg/habitantes/dia em ambas as pesquisas no ano 2018.

A Tabela 6 mostra os dados do quantitativo de municípios, população urbana conforme região do Brasil e *per capita* médio de coleta de RSU em 2017 e 2018.

Tabela 6 – Quantitativo de municípios, população urbana e *per capita* de coleta de RSU por regiões do Brasil em 2017 e 2018

<b>Regiões do Brasil</b>	<b>Municípios unidades</b>	<b>Pop. urbana habitantes</b>	<b><i>Per capita médio kg/ habitante/ dia</i></b>
Norte	450	13.414.859	1,05
Nordeste	1.794	41.719.390	1,13
Sudeste	1.668	81.647.759	0,92
Sul	1.191	25.434.272	0,81
Centro-Oeste	467	14.323.439	1,05
<b>Brasil 2018</b>	<b>5700</b>	<b>176.539.719</b>	<b>0,96</b>
<b>Brasil 2017</b>	<b>5700</b>	<b>175.588.503</b>	<b>0,95</b>

Fonte: Adaptado de SNIS (2018, p. 112).

A pesquisa do SNIS, além de muitos dados sobre geração, coleta, *per capita* e percentual de cobertura da área de coleta, discrimina os diversos tipos de estabelecimentos conforme região geográfica do Brasil em 2018. A Tabela 7, de maneira sucinta, revela o quantitativo de alguns tipos de unidades de processamento do RSU consoante a região geográfica em 2018.

Tabela 7 – Quantitativos de unidades de processamento de RSU, conforme região geográfica em 2018

<b>Unidades de processamento tipo</b>	<b>Quantidade de unidades conf. Região no Brasil</b>					<b>total da amostra</b>
	<b>Norte</b>	<b>Nordeste</b>	<b>Sudeste</b>	<b>Sul</b>	<b>Centro Oeste</b>	
Lixão	154	588	85	33	177	1037
Aterro controlado	39	61	362	39	39	540
Aterro sanitário	16	56	311	189	35	607
Unidade de tratamento por incineração	1	5	5	3	0	14
Outros	3	59	162	17	10	251

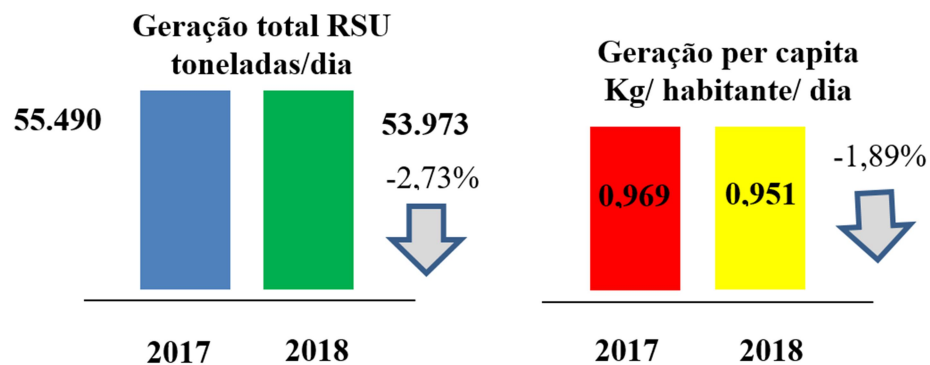
Fonte: Modificado de SNIS (2018, p. 162).

A Tabela 7 (SNIS, 2018b), assim como a Tabela 4 (ABRELPE, 2019), mostra um grande quantitativo de disposição imprópria de resíduos sem condições legais e ambientais. Destaca-se, na Tabela 7, o campo Outros, onde são informados os quantitativos dos locais de recebimentos de pequenos volumes, como os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) e os ecopontos, sendo esse último o objeto desta investigação.

### 2.1.1.1 A geração de resíduos sólidos na região Nordeste

A geração de resíduos sólidos na região Nordeste correspondeu a 22% do total de RSU do Brasil. Foram gerados 55.490 t/dia em 2017 e reduzidas para 53.973 t/ dia em 2018, diminuição de 2,73%. A geração *per capita* de RSU diminuiu de 0,969 t/ dia para 0,951 t/ dia em 2018, diminuição de 1,89% (ABRELPE, 2017, 2019). O contingente humano da região, onde a cidade da pesquisa está inserida, teve um decréscimo populacional de 493.379 habitantes em 2017 e 2018 (IBGE 2017, 2018a). A Figura 7 demonstra a mencionada redução.

Figura 7 – Geração total e *per capita* de RSU no Nordeste entre anos 2017 a 2018



Fonte: Modificado de ABRELPE (2017, 2018) e IBGE (2017, 2018a).

O Nordeste, embora tenha a segunda geração de RSU, conforme a Tabela 1 e a Tabela 2, registra, porém, a pior cobertura de coleta dos descartes, fato que reflete realidades bastante prejudiciais ao meio ambiente, apesar de uma pequena melhora no percentual de cobertura de coleta de RSU da população (ABRELPE, 2017, 2019). Estes dados de geração e déficit são comprovados em ambas as pesquisas - ABRELPE e SNIS.

Um dos piores indicadores da região Nordeste é a disposição final dos seus resíduos de maneira precária e ambientalmente errada, conforme Tabelas 6 e 4. A cidade da pesquisa, o Município de Fortaleza, particularizado no próximo módulo, está inserido nesta região onde lixões e aterros controlados predominam, representando assim o *locus* geográfico com maior disposição irregular entre todos do País.

## 2.2 O Município de Fortaleza

A cidade (Município sem distritos) de Fortaleza (CE) é o local onde a pesquisa se desenvolveu, sendo, portanto, necessário demonstrar suas características físicas, demográficas

e socioeconômicas. Relacionados ao tema, são também expostos a organização da gestão dos resíduos sólidos; o Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos (PMGIRS) aprovado; as Zonas Geradoras de Lixo (ZGL); sistemas de controle e monitoramento dos seus resíduos; legislação municipal pertinente ao RSU; sua frota de veículos, equipamentos e pessoal envolvido na limpeza pública; o valor das despesas dos serviços de limpeza pública e sua produção de RSU.

### ***2.2.1 Características físicas, demográficas e socioeconômicas***

A cidade de Fortaleza é a capital do Estado do Ceará, situado na região Nordeste do Brasil. O Município é assim limitado: ao norte, com o oceano Atlântico e o Município de Caucaia; ao sul, com os Municípios de Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga e Eusébio; ao leste, com o oceano Atlântico e os Municípios de Eusébio e Aquiraz; e ao oeste, com os municípios de Maracanaú e Caucaia. As coordenadas geográficas são Universal Transversa de Mercator (UTM) de 632,632E e 9.507.801N conforme Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2019) e Instituto de Planejamento de Fortaleza (IPLANFOR, 2019).

A área do Município é de 314,9 Km<sup>2</sup> (quilômetros quadrados) com clima tropical úmido e subúmido, pluviometria histórica de 1.378 mm/ano e período chuvoso dos meses de janeiro a maio. O relevo é composto de planície litorânea, sertões e tabuleiros costeiros e vegetação com Cerrado, Complexo Vegetacional da Zona Litorânea e Floresta Perenifólia Paludosa Marítima (IBGE, 2010b; IPECE, 2019).

A limpeza pública ou o sistema da gestão de resíduos sólidos é gerida pela Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos (SCSP), órgão da administração direta da Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF), com apoio da Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (ACFOR), e as sete Secretarias Regionais (SRs). Este tema está pormenorizado no próximo item.

### ***2.2.2 A organização da gestão de resíduos sólidos***

O sistema da gestão dos resíduos sólidos de Fortaleza é administrado pela Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos (SCSP), de acordo com a Lei Municipal Complementar nº 0137 de 08 de janeiro de 2013 (FORTALEZA, 2013b). O Decreto Municipal nº 13.151, de 06 de maio de 2013 (FORTALEZA, 2013a), regulamentou o Fundo Municipal de Limpeza (FUNLIMP) sob o comando da SCSP, o órgão gestor do

sistema de limpeza da cidade de Fortaleza. Portanto, as atribuições e recursos financeiros ficam sob a tutela da SCSP.

São atribuições da SCSP, órgão da administração direta da Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF), de acordo com a Lei Complementar nº 0137, de 08 de janeiro de 2013, art. 15:

[...] planejar, coordenar, disciplinar, executar e orientar as políticas públicas de trânsito, transporte público urbano, **limpeza urbana**, iluminação pública, regular as concessões de serviços públicos, coordenar a execução das atividades pertinentes ao Sistema Nacional de Metrologia; planejar, coordenar, controlar e monitorar as atividades de serviços urbanos do Município, zelando pelas áreas municipais; apoiar tecnicamente e orientar as ações de serviços urbanos do Município e exercer todas as atribuições que lhe forem delegadas pelo Prefeito Municipal de Fortaleza. (FORTALEZA, 2013b, p. 1).

Os serviços concedidos ficaram, entretanto, vinculados à ACFOR, órgão vinculado à Procuradoria Geral do Município (PGM). Entre esses serviços estão os de limpeza públicos concedidos à concessionária Ecofor, pertencente ao grupo Marquise Ambiental S/A. O contrato de concessão tem o tempo de validade de 20 anos, passível de prorrogação por mais vinte, conforme concorrência pública nº 01/2002 (ACFOR, 2012).

A Ecofor Ambiental S/A é a empresa que realiza a coleta domiciliar sistemática; a coleta dos resíduos extraordinários colocados clandestinamente em logradouros públicos e privados (“*pontos de lixo*”), a operação do aterro sanitário e estação de Transbordo; varrição do centro comercial de Fortaleza e zona costeira da Beira-Mar entre Praia de Iracema e o Mercado dos Peixes e a operacionalização dos ecopontos (ACFOR, 2019).

A cidade de Fortaleza possui, ainda, um contrato com a SCSP para realização de limpeza e coleta de resíduos públicos consoante a Concorrência Pública nº08/2018. A empresa vencedora foi o Consórcio Fortaleza Limpa, formado pela Construtora Marquise S/A, Construtora Samaria Ltda e Maciel Construções e Terraplanagens Ltda. O objeto do contrato é a execução dos serviços de capinação e raspagem com pintura de meio fio; varrição; limpeza de canais; riachos; lagoas, bocas de lobo e terrenos baldios, coleta e transporte à destinação final dos resíduos sólidos gerados no perímetro urbano de Fortaleza (FORTALEZA, 2018).

As operações de incineração e *inertização* dos patógenos dos resíduos sépticos originadas das unidades de saúde (postos de saúde, hospitais, clínicas e outros) e resíduos industriais (principalmente medicamentos quimioterápicos) ficam conforme Concorrência Pública nº 011/2017, adjudicado e homologado o contrato entre a SCSP e a Marquise Serviços Ambientais S/A. Essas operações são realizadas no Centro de Tratamento de Resíduos

Perigosos (CTRP), onde estão incinerador e autoclave para esta operação (FORTALEZA, 2017).

O Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos (PMGIRS) explicita as diversas atribuições e relacionamentos dos órgãos gestores, havendo sido elaborado e aprovado em 2012 para obedecer às diretrizes da lei federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que estabeleceu as diretrizes para o saneamento básico do Brasil e sua universalização, surgindo, assim, a Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB) (BRASIL, 2007). Concatenada a essas diretrizes, surgiu à Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, instituinte da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010). Esse Plano Municipal veio aglutinar essas diretrizes dos dois planos nacionais.

### ***2.2.3 Plano Municipal de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos (PMGIRS)***

O PMGIRS de Fortaleza, elaborado em 2012, baseou-se na Lei federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007 (PNSB), bem como na Lei federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (PNRS), mas não somente nestas. O Decreto-lei nº 7.217, de 21 de junho de 2010, regulamentador da PNSB, e o Decreto-lei nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, regulamentador da PNRS, foram também balizadores do Plano. Outras legislações associaram as anteriores citadas, como a Lei dos Consórcios Públicos nº 11.107/2005 e seu decreto regulamentador Nº 6.017/2007, a Lei federal da Política Nacional de Recursos Hídricos nº 9.433/1997 e outras normas pertinentes ao tema (ACFOR, 2012).

O PMGIRS é composto dos seguintes conteúdos: objetivo geral e específicos; metodologia adotada; diagnóstico do sistema; definições das prioridades e classificações de cenários entre desejáveis, previsíveis e normativos, bem como as definições das metas e ações para concretizar esses cenários (ACFOR, 2012).

Entre os diversos temas, análises e proposições definidas, destacam-se as definições das prioridades por um sistema de pontos, para determiná-las, com base em relevâncias e incertezas. Quatro eixos foram definidos na análise: a gestão dos resíduos, a produção de resíduos, disposição final e educação ambiental. Foram definidas as ameaças, ações prioritárias e metas para cenários de 20 anos, ou seja, até o ano 2031. Destacam-se as implantações de Postos de Entrega Voluntária (PEVs) ou ecopontos, objetos desta pesquisa como uma das proposituras do PMGIRS (ACFOR, 2012).

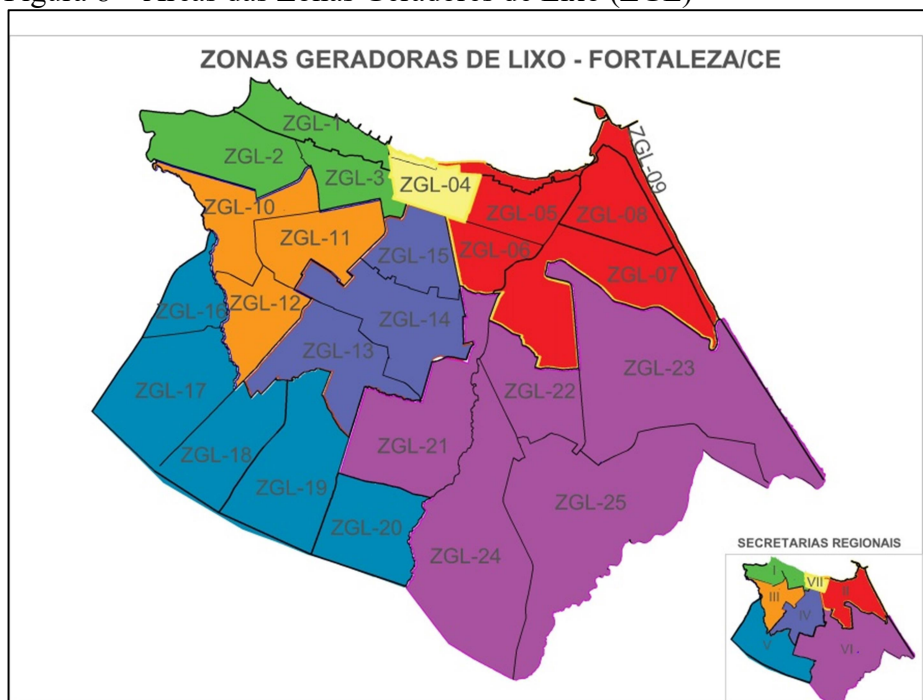
Um dado importante e explicitado no PMGIRS foi a definição das Zonas Geradoras de Lixo ou ZGL na gestão dos resíduos.

### 2.2.4 Zonas Geradoras de Resíduos Sólidos (ZGL)

A delimitação do Município de Fortaleza em Zonas Geradoras de Lixo foi feita pelo antigo Departamento de Limpeza Urbana (DLU), pertencente, à época, à extinta Empresa Municipal de Limpeza e Urbanização (EMLURB). Hoje essa estrutura está subordinada à SCSP. As ZGL estão distribuídas nas sete Secretarias Regionais (SR). A finalidade dessa demarcação foi descentralizar os serviços, dar maior agilidade às demandas e facilitar a fiscalização e controle do transporte dos resíduos. As ZGL, juntamente com as bacias hidrográficas, as áreas das Secretarias Regionais e os setores da coleta domiciliar foram as unidades de planejamento do PMGIRS (ACFOR, 2012).

As ZGL são os distritos de fiscalização dos serviços de limpeza pública, onde se encontra uma gerência com funcionários próprios de varrição, e ficam localizadas em alguns dos ecopontos distribuídos pela cidade. São 25 gerências estabelecidas em Fortaleza. A Figura 8 revela os seus limites no Município de Fortaleza.

Figura 8 – Áreas das Zonas Geradoras de Lixo (ZGL)



Fonte: Adaptado do programa Fortaleza 2040, Diagnóstico Preliminar, Anexo III – Resíduos Sólidos (IPLANFOR, 2015, p. 8).

A Tabela 8 define as 25 ZGL e em qual Secretaria Regional (SR) está situada, sendo, portanto, a divisão obediente aos limites de cada SR.

Tabela 8 – Divisão das ZGL, por Secretaria Regional (SR)

<b>SR</b>	<b>Zonas Geradores de Lixo (ZGL)</b>
I	1, 2 e 3
II	5, 6, 7, 8 e 9
III	10, 11 e 12
IV	13, 14 e 15
V	16, 17, 18, 19 e 20
VI	21, 22, 23, 24 e 25
Centro	4

Fonte: Adaptado (ACFOR, 2012, p. 95).

Para facilitar e ajudar na fiscalização, foram incorporados, também, vários sistemas de monitoramento do gerenciamento das atividades de limpeza dos RSU, por meio de programas e rotinas computacionais.

### ***2.2.5 Sistemas de monitoramento das atividades de limpeza dos RSU***

Os sistemas de monitoramento das atividades de limpeza dos RSU são meios implantados no intuito de favorecer e assessorar a fiscalização dos serviços de limpeza dos RSU em Fortaleza. Esses sistemas são divididos em quatro controles: controle e monitoramento da coleta domiciliar, das unidades de destinação final, da coleta particular do grande gerador e da coleta da especial urbana. Também existem outros sistemas de monitoramento, descritos no item 2.2.5.4.

Os sistemas de monitoramento demonstram a abertura, por parte da Prefeitura de Fortaleza, de adotar novas tecnologias que refletem na implantação dos ecopontos com monitoramento das suas ações diárias.

#### ***2.2.5.1 Sistemas de monitoramento da coleta domiciliar***

O recolhimento domiciliar regular ou sistemática é a coleta realizada pelo Ente público, sem ônus para o gerador dos resíduos classe II, não perigosos, definidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004a) de estabelecimentos comerciais, industriais e de serviços que não produzam mais de 100 litros/ dia ou inferior a 50 litros/dia dos resíduos inclusive ,da construção civil definidos na resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº307, de 05 de julho de 2002, incluindo os gerados pelas unidades familiares e os condomínios de residências (Lei municipal nº10. 340, de 28 de abril de 2015).



A coleta domiciliar ou sistemática foi a primeira operação do sistema da gestão dos resíduos sólidos a ser implantada por força do contrato de concessão da Concorrência Pública nº 01/2002 e seus aditivos celebrados entre Ecofor Ambiental S/A e o Município de Fortaleza. Por mencionado pretexto, a coleta domiciliar no contrato de concessão da Ecofor é paga pelo Município à concessionária por circuitos realizados, sendo, assim, necessário um meio para aferição, por parte da ACFOR e da SCSP, das suas operações (ACFOR, 2019).

#### *2.2.5.2 Sistemas de monitoramento das unidades de destino final*

As unidades de destinação final do RSU de Fortaleza são o Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC), a Estação de Transbordo no Jangurussu, o Centro de Tratamento de Resíduos Perigosos (CTRP) e os ecopontos.

O ASMOC recebe os resíduos sólidos urbanos (RSU) de Fortaleza e do Município vizinho – Caucaia, sendo efetivado em 1998, com a desativação do lixão do Jangurussu e sua remediação pelo projeto Sanear, do Governo do Estado do Ceará, com o apoio do Banco Mundial. Possui 123,9 ha (hectares) de área, sendo 78,49 ha destinados ao depósito de resíduos e previsão de vida útil de 30 anos (ACFOR, 2012).

A área do aterro pertence ao Governo do Estado e a operação é de responsabilidade do Município de Fortaleza. O Município de Caucaia se beneficia pela disposição gratuita de seus resíduos no aterro, como compensação pelo passivo ambiental instalado em seu território (ACFOR, 2012).

Atualmente, o ASMOC prolongou a sua vida útil, por orientação dos técnicos da PMF com aval da operadora, a concessionária Ecofor, e SEMACE (Superintendência do Meio Ambiente do Ceará) com a ocupação das vias internas entre as trincheiras (ACFOR, 2019).

Um projeto de expansão do ASMOC foi elaborado e está atualmente em funcionamento em área contígua ao existente, de 101,70 ha, sendo utilizados dessa área somente 73,56 ha para disposição dos resíduos, incluindo adequação e ampliação da estação de tratamento do chorume, vias de acesso, terraplenagem da área e instalações para administração (ACFOR, 2019).

Concomitantemente à expansão, o aterro da ASMOC tornou-se energético, com captação e tratamento do gás metano e distribuição na rede da Companhia Estadual de Gás (CEGÁS), através de ramal de 23 km, fornecimento de Gás Natural Renovável (GNR) de 70.000 m<sup>3</sup>/dia conforme CEGÁS (2018) e Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará (NUTEC, 2018).

A Estação de Transbordo fica situada ao lado do antigo lixão do Jangurussu, remediado e fechado. Destina-se a receber resíduos das áreas das Secretarias Regionais (SR) II, IV, VI, Centro e alguns setores da SRV. A Estação de Transbordo recebe resíduos da coleta domiciliar e dele são transportados em carretas para a ASMOC (ACFOR, 2012).

O Centro de Tratamento de Resíduos Perigosos (CTRP) é local onde existem um incinerador industrial e um autoclave para destruição dos patógenos dos resíduos sépticos oriundos, majoritariamente, das unidades de saúde (FORTALEZA, 2019).

Os destinos finais em Fortaleza são pesados em balanças rodoviárias eletrônicas de grande capacidade com sistemas de visualização da produção *on line* ou em tempo real na ASMOC e Estação de Transbordo. O CTRP tem o sistema eletrônico de pesagem e armazenamento de dados, porém não está ainda conectado para visualizar em tempo real (FORTALEZA, 2019).

Os ecopontos possuem sistemas de monitoramento das pesagens, porém isso será mais bem explanado no item 2.4 deste trabalho (Os ecopontos em Fortaleza).

#### *2.2.5.3 Sistemas de monitoramento da coleta particular do grande gerador*

A Lei municipal nº10.340, de 28 de abril de 2015 (FORTALEZA, 2015d), e seu Decreto regulamentador nº 13.577, de 30 de maio de 2015 (FORTALEZA, 2015b), definem o grande gerador onde a coleta e a destinação final de seus resíduos serão procedidas mediante o recolhimento contratado ou particular com ônus para o gerador, no Município de Fortaleza. Define a mencionada Lei, também, a necessidade de credenciamento das empresas da coleta particular, o monitoramento da sua frota de veículos por GPS, bem como o preenchimento e envio do manifesto de transporte (MTR) por meio eletrônico em plataforma digital (FORTALEZA, 2015b, 2015e).

A plataforma foi concebida pela SCSP e disponibilizada a todas as empresas de transporte de resíduos da coleta contratada. Possibilita a localização em tempo real de todos os contêineres colocados nas obras particulares. Monitora, também, todos os veículos coletores dos transportadores, armazena dados dos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), dos Planos de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) dos grandes geradores e outras informações pertinentes (FORTALEZA, 2017).

#### 2.2.5.4 Sistemas de monitoramento da coleta especial

A coleta especial urbana foi estabelecida pelo Terceiro Aditivo ao Contrato de Concessão nº 01/2002, em 03 de outubro de 2005, com definição da coleta dos resíduos de origem domiciliar, entulhos, podas e cortes de vegetação colocados de forma clandestina (não se sabe quem é o gerador) em terrenos baldios e vias públicas, os “*pontos de lixo*” (ACFOR, 2020).

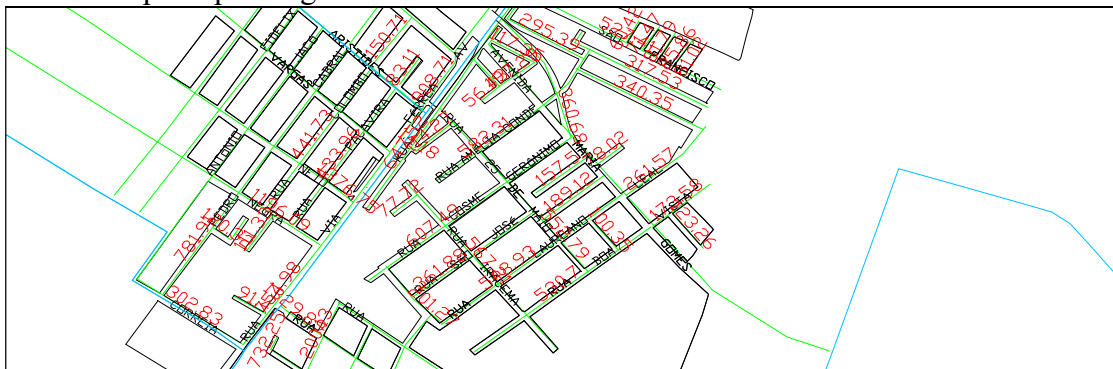
A necessidade de rastreabilidade dos veículos responsáveis pela coleta destes resíduos deve-se ao Décimo Terceiro Aditivo, de 30 de julho de 2013, no qual é determinado que todos possuam *Global Position System* (GPS), possibilitando, assim, a localização e a fiscalização eletrônica em tempo real. A falta de uma plataforma para receber os dados e criar intercâmbio de informações entre os equipamentos e usuários, no entanto, impediu que isso fosse consumado (ACFOR, 2020).

#### 2.2.5.5 Outros sistemas de monitoramento

Existem outros sistemas de monitoramento de serviços, como os ligados ao Consórcio Fortaleza Limpa. O controle dos serviços de capina e varrição dá-se em plantas georreferenciadas em programa *AutoCad* da empresa *Autodesk*, que são elaborados em linguagem *Autolisp*. Nele são inseridas rotinas computacionais em linguagem *Autolisp*, que permitem medir as avenidas, ruas e logradouros varridos ou capinados (FORTALEZA, 2014a).

A Figura 9 pode-se observar essa rotina, utilizada para auferir os serviços, principalmente, de capina e varrição, do Consórcio Fortaleza Limpa.

Figura 9 – Demonstrativo de obtenção do comprimento das vias por intermédio de rotina em *Autolisp* em planta georreferenciada



Fonte: Elaboração própria (2021).

Outros sistemas foram adotados, como o aplicativo “Central 156”, instalável no aparelho celular, recebendo solicitações, sugestões e críticas para os serviços da SCSP, entre eles a limpeza pública (FORTALEZA, 2017).

O uso de algumas outras plataformas gráficas, como os programas *Qgis e ArcGis*, que trabalham com dados georreferenciados, auxiliam no monitoramento e controle das atividades de limpeza pública em Fortaleza (FORTALEZA, 2019).

### ***2.2.6 Legislação municipal pertinente aos RSU***

O Município de Fortaleza possui um arcabouço legal com diversas leis e decretos e outros dispositivos que versam sobre os resíduos sólidos. O mais significativo desses dispostos legais é a já citada Lei nº 10.340, de 28 de abril de 2015, que define o grande gerador de resíduos, suas obrigações e penalidades legais. O Decreto nº 13.577, de 05 de maio de 2015 (FORTALEZA, 2015b), regulamenta essa lei com as normas para os transportadores de resíduos sólidos no Município.

Outras leis e dispostos de ordem legal reforçam e disciplinam condutas e estabelecem regras, buscando a sustentabilidade ambiental no que é pertinente aos resíduos sólidos. Os próximos parágrafos explicitam alguns deles.

A Lei nº 9942, de 13 de dezembro de 2012 (FORTALEZA, 2012) institui o Programa Municipal de Tratamento e Reciclagem de Óleos e Gorduras de Origem Vegetal ou Animal e Uso Culinário, por impactar este descarte irregular no sistema de esgotamento sanitário de Fortaleza.

A Lei Complementar nº 0200, de 01 de abril de 2015 (FORTALEZA, 2015c), cria a Taxa de Credenciamento e Vistoria para Transporte de Resíduos Sólidos, que tem como fato gerador a atividade municipal de autorização e fiscalização do cumprimento da legislação sobre a prestação dos serviços de coleta e transporte de resíduos sólidos no território do Município, e sobre a vistoria das condições técnicas dos veículos coletores.

O Decreto nº 13.732, de 28 de dezembro de 2015 estabeleceu os requisitos e regras para elaboração, as modalidades, o conteúdo mínimo e o prazo de validade do plano de gerenciamento de resíduos sólidos elaborados pelos grandes geradores no Município de Fortaleza.

Por fim, se menciona o Decreto nº 13.919, de 02 de dezembro de 2016 que dispõe sobre a obrigatoriedade de credenciamento dos transportadores de resíduos sólidos recicláveis e de produtos e embalagens objetos da logística reversa e o decreto nº 13.920, de 02 de

dezembro de 2016, que estabelece os prazos de suspensão para os transportadores de resíduos sólidos, além de regulamentar os documentos necessários ao controle e fiscalização da atividade.

### **2.2.7 A frota de veículos, equipamentos e pessoal envolvido na limpeza pública**

A descrição da frota de veículos, equipamentos e pessoal envolvido na limpeza pública serve para explicitar as características desses componentes da limpeza pública, cujas operações são interdependentes. Os conhecimentos das características desses componentes auxiliam também no embasamento para a elaboração dos projetos dos ecopontos, descritos no item 2.4.2 desta tese.

#### *2.2.7.1 Frota de veículos e equipamentos em Fortaleza*

O conhecimento das características dos equipamentos de limpeza serve de base para os projetos dos ecopontos, pois o seu desenho interno deve permitir as suas operações. Atualmente, a frota de veículos e equipamentos que realizam as atividades ligadas à limpeza pública pela Prefeitura Municipal de Fortaleza é dividida por tipo de origem dos resíduos. Ela é classificada em quatro categorias: coleta domiciliar, coleta e operação com resíduos públicos, coleta particular dos grandes geradores e destino final do lixo.

Na coleta dos resíduos domiciliares ou sistemática, prevalecem os caminhões compactadores, que fazem a retirada dos resíduos no sistema porta a porta, com dispositivos para compactá-los (compactadores) e microcoletores para as áreas de acesso difícil (FORTALEZA, 2014a).

A Tabela 9 explicita o seu quantitativo de equipamentos da coleta domiciliar de 2014 a 2018.

Tabela 9 – Quantitativos de equipamentos da coleta domiciliar de 2014 a 2018

Coleta resíduos domiciliares	Quantitativos (unidades) por ano				
	2014	2015	2016	2017	2018
caminhão compactador	68	69	69	69	71
caminhão microcoletor	10	10	10	10	12

Fonte: Adaptado da SCSP (FORTALEZA, 2014a, 2015e, 2016d, 2017, 2018).

A coleta dos resíduos de origem pública é constituída na sua maior parte de resíduos da especial urbana (“*pontos de lixo*”). Realizada pela Ecofor, são utilizados, com

ampla superioridade, caminhões-caçambas basculantes. Os resíduos de poda usam caminhões de carrocerias abertas, tendo alguns com dispositivos de içamento de cargas (tipo *munck*) e pertencentes também à concessionária Ecofor. Outros resíduos públicos, originados da varrição, capina e limpeza de recursos hídricos (canais, lagoas e bocas de lobo) utilizam caminhões com caçambas basculantes para transporte da coleta, pelo consórcio Fortaleza Limpa (FORTALEZA, 2015e).

Existem equipamentos também utilizados nas operações com resíduos públicos, como caminhões-pipa para lavagem de calçadas e logradouros públicos (escolas, postos saúde, praças) tanto pela Ecofor como o consórcio Fortaleza Limpa. Na limpeza dos recursos hídricos, alguns equipamentos são associados no auxílio das operações como tratores com pás carregadeiras, retroescavadeiras hidráulicas de pneus e escavadeiras hidráulicas de esteiras, todos pertencentes ao consórcio Fortaleza Limpa. A limpeza das bocas de lobo tem caminhões com hidrojetos e sucção, esses pertencentes ao Município, entretanto são operados pelo Consórcio Fortaleza Limpa, que se responsabiliza também pela sua manutenção (FORTALEZA, 2015e).

O consórcio Fortaleza Limpa na limpeza da faixa de areia utiliza trator de pneus com reboque para coleta dos resíduos. A Ecofor emprega varredeiras mecânicas na faixa de areia assim como nos logradouros do centro comercial. Tratores com pás carregadeiras são utilizados para auxílio na eliminação de grandes “*pontos de lixo*” pela concessionária (FORTALEZA, 2018).

A Tabela 10 mostra os quantitativos dos equipamentos de coleta dos resíduos públicos.

Tabela 10 – Quantitativos dos equipamentos da coleta dos resíduos públicos de 2014 a 2018

Coleta dos Resíduos Públicos	Quantitativos (unidades) por ano				
	2014	2015	2016	2017	2018
caminhão-caçamba basculante	348	277	275	181	190
caminhão de carroceria aberta	23	17	16	17	17
escavadeira hidráulica	3	1	2	3	3
retroescavadeira hidráulica	3	1	3	2	2
trator c/ reboque	3	3	3	2	2
trator pá carregadeira	2	4	2	2	2
varredeira mecânica	2	2	2	1	1
caminhão hidrojato	2	2	2	2	2
caminhão-pipa	1	1	1	1	1
caminhão tipo <i>munck</i>	1	1	1	1	1

Fonte: Adaptado da SCSP (FORTALEZA, 2014a, 2015e, 2016d, 2017, 2018).

A coleta dos resíduos do grande gerador são aquelas definidas na Lei Municipal nº10.340, de 28 de abril de 2015, sob o encargo do gerador dos resíduos, contratando para isso as empresas credenciadas pelo poder público na forma da lei.

A frota da coleta dos resíduos do grande gerador é constituída por caminhões com compactadores, com caçambas basculantes, do tipo poliguindastes e *roll on roll off* para içamento de contêineres com resíduos da construção civil, e caminhões-baú fechados ou furgão. Possui também caminhões-caçambas abertos. Os veículos do transporte dos resíduos dos serviços de saúde (sépticos) obedecem à norma ABNT NBR 12810/2016 (ABNT, 2016) e Decreto-lei nº 13.577, de 05 de maio de 2015, e são destinados a coleta exclusiva destes resíduos (FORTALEZA, 2015a).

A Tabela 11 revela os quantitativos dos equipamentos da coleta dos resíduos dos grandes geradores de 2014 a 2018.

Tabela 11 – Quantitativos de equipamentos da coleta dos resíduos dos grandes geradores de 2014 a 2018

Coleta dos Resíduos do Grande Gerador	Quantitativos (unidades) por ano				
	2014	2015	2016	2017	2018
caminhão compactador	55	43	59	34	71
caminhão-caçamba basculante	27	12	82	54	96
caminhão com poliguindaste	41	41	85	30	90
caminhão-baú ou furgão	2	4	11	9	46
caminhão de carroceria aberta	0	0	5	2	13
caminhão tipo <i>roll on roll off</i>	21	21	43	19	46
caminhão compactador RSS	8	5	12	3	12
caminhão-baú ou furgão RSS	11	8	19	8	6

Fonte: Adaptado da SCSP (FORTALEZA, 2014a, 2015e, 2016d, 2017, 2018).

Os equipamentos dos resíduos das unidades de destino final são utilizados no aterro sanitário da ASMOC e a estação de Transbordo, todos pela concessionária Ecofor. No aterro, há tratores com rolo compactador, trator com pá carregadeira, trator de esteira, tratores retroescavadeiras de pneus, escavadeiras hidráulicas, caminhão-pipa e caminhão de abastecimento. O Transbordo tem tratores com pás carregadeiras, escavadeiras e retroescavadeiras hidráulicas. Para o transporte dos resíduos do Transbordo para a ASMOC, são empregados caminhões-caçambas basculantes de grande volume para armazenamento (FORTALEZA, 2018).

O CTRP possui caminhões compactadores para levar as cinzas do incinerador e os resíduos de saúde esterilizados pelo autoclave para o Transbordo. Todos pertencem à Marquise Ambiental S/A (FORTALEZA, 2018).

Os ecopontos como unidades de destino final empregam caminhões do tipo *roll on roll off* e poliguindastes para retiradas dos entulhos e volumosos, caminhões com içamentos hidráulicos (tipo *munk*) para os recicláveis. Todos atuam pela concessionária Ecofor (FORTALEZA, 2018).

A Tabela 12 contém os quantitativos dos equipamentos das unidades de destino final de 2014 a 2018.

Tabela 12 – Quantitativos dos equipamentos das unidades de destino final de 2014 a 2018

Coleta das Unidades de Destino Final	Quantitativos (unidades) por ano				
	2014	2015	2016	2017	2018
trator de esteira	5	5	5	5	5
escavadeira hidráulica	1	2	2	2	2
retroescavadeira hidráulica	2	1	1	1	1
trator rolo compactador	1	1	1	1	1
caminhão abastecimento	1	1	1	1	1
caminhão-pipa	1	1	1	1	1
caminhão compactador	2	2	2	2	2
caminhão do tipo <i>roll on roll off</i>	0	1	1	2	2
caminhão- caçamba basculante	19	19	19	15	19
caminhão com poliguindaste	0	1	1	2	2
<i>caminhão tipo munk</i>	1	1	1	1	1
trator-pá carregadeira	3	1	1	1	1

Fonte: Adaptado da SCSP (FORTALEZA, 2014a, 2015e, 2016d, 2017, 2018).

### 2.2.7.3 Pessoal envolvido na limpeza pública

Os trabalhadores da limpeza pública, quase sempre, são estigmatizados como manipuladores de resíduos contaminados e submetidos a uma invisibilidade sem reconhecimento como agentes que executam tarefas primordiais para manutenção das condições sanitárias e ambientais das pessoas da área onde são prestados os seus serviços. Eles estão submetidos a rotinas diárias de trabalho repetitivas, desgastantes, com irritações em relação ao ruído constante, provocando desgastes físicos e emocionais em decorrência da exposição ao perigo de contaminação aglutinado à exigência da responsabilidade na tarefa (GOMES; OLIVEIRA, 2013).



O contato frequente com agentes nocivos à saúde transforma a coleta do lixo uma das atividades profissionais mais perigosas e nocivas. Os empregos nessas atividades precisam receber redobrada atenção, com instruções necessárias relativas à saúde, proteção e segurança no trabalho sob constante supervisão quanto ao uso correto de equipamentos de proteção individual (SANTOS; SILVA, 2011).

Conforme especifica o art. 155 da Consolidação das Leis do Trabalho (Decreto-lei nº 5.452, de 1 de maio de 1943), é de competência a regulamentação em saúde e Medicina do Trabalho ao órgão de âmbito nacional (BRASIL, 1943), antigo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), hoje a Secretária do Trabalho, vinculada ao Ministério da Economia. A sua Subsecretaria de Inspeção do Trabalho (SIT) se encarrega, tanto da elaboração, como da revisão, atualização e implementação das Normas Regulamentadoras (NR) fundamentadas no que determina a Convenção nº 144 da Organização Internacional do Trabalho (OIT), que enfatiza o uso do sistema tripartite e paritário (governo, trabalhadores e empregadores) para discussão e elaboração de normas na área de segurança e saúde do trabalho (BRASIL, 2018).

A SIT adota os procedimentos e estabelece metodologia para elaboração, também, das novas normas na área da segurança e saúde no trabalho e revisão daquelas em curso (BRASIL, 2018).

A Norma Regulamentadora NR-9 define os riscos ambientais a que estão submetidos os trabalhadores no manejo dos resíduos sólidos, como os riscos físicos, químicos e biológicos (BRASIL, 2019).

Existem outras normas regulamentadoras relacionadas ao trabalho nos serviços de limpeza pública, porém uma sugestão de criação de uma norma está em estudo, conforme Portaria SIT nº 588, de 30 de janeiro de 2017. Ela indica os requisitos mínimos para a gestão da segurança, saúde e conforto nas atividades de limpeza urbana, sem prejuízo da observância das demais normas regulamentadoras (BRASIL, 2017).

Na execução dos serviços de limpeza, deve-se observar perfeito funcionamento das ferramentas, equipamentos e outros com o acondicionamento em compartimentos resistentes e isolados. Nas frentes de serviços, é necessário o fornecimento de água potável, filtrada, fresca e fornecida em recipientes portáteis hermeticamente fechados, armazenados em locais higienizados, sendo proibido o uso de copos coletivos (BRASIL, 2017).

A existência de pontos de apoio deve ser disponibilizada pelo empregador, observando-se a NR-24, em locais estratégicos para higienização, hidratação, micção, evacuação e tomadas de refeições para os trabalhadores que realizam atividades externas (BRASIL, 2019).

Os ecopontos propiciaram atendimento das normas NR-9 e NR-24, principalmente com as condições sanitárias adequadas, como pontos de apoio na cidade para consumo de água potável, espaço adequado para micção, evacuação e asseio corporal após o trabalho.

Os trabalhadores da limpeza pública de Fortaleza são classificados de acordo com a operação que realizam. De acordo com o SCSP (FORTALEZA, 2014a) e o SNIS (2014), no seu glossário de informações, são denominados varredores, motoristas, coletores, capinadores, destino final, recursos hídricos e administrativos.

Os varredores são envolvidos na varrição de ruas e logradouros públicos. Os motoristas guiam e operam veículos e equipamentos na coleta dos resíduos domiciliares (RDO) e resíduos públicos (RPU). Os coletores trabalham na coleta dos resíduos RDO e RPU. Os capinadores laboram nos serviços de capina e roçada de ruas e logradouros. O destino final são os trabalhadores que trabalham nas unidades de destino final. Os de recursos hídricos na retirada de resíduos das lagoas, canais, riachos e bocas de lobo. Por fim, há os administrativos, que auxiliam na gestão dos resíduos sólidos, com fiscalização, controle, planejamento e outras atividades administrativas e financeiras (FORTALEZA, 2014a; SNIS, 2014).

Os trabalhadores são próprios, ou seja, mantêm vínculo empregatício com o Ente público. A Tabela 13 mostra o quantitativo de trabalhadores próprios em Fortaleza de 2014 a 2018.

Tabela 13 – Os quantitativos de trabalhadores próprios de 2014 a 2018

Tipos	Quantitativos (unidades) por ano				
	2014	2015	2016	2017	2018
Varredores	626	664	664	580	576
Motoristas	5	5	0	0	0
Coletores	10	11	0	0	0
Capinadores	0	0	0	0	0
Destino final	36	36	36	36	30
Recursos Hídricos	0	0	0	0	0
Administrativos	182	125	125	77	173

Fonte: Adaptado da SCSP (FORTALEZA, 2014a, 2015e, 2016d, 2017, 2018).

Os trabalhadores também são terceirizados, quando pertencentes a empresas contratadas pelo Município para execução dos serviços de limpeza pública. A Tabela 14 explicita esse quantitativo em Fortaleza, de 2014 a 2018.

Tabela 14 – Os quantitativos de trabalhadores terceirizados de 2014 a 2018

Tipos	Quantitativos (unidades) por ano				
	2014	2015	2016	2017	2018
Varredores	246	246	254	385	290
Motoristas	521	439	441	393	235
Coletores	1127	986	1005	884	538
Capinadores	862	638	775	321	345
Destino final	109	114	114	130	129
Recursos Hídricos	144	144	114	139	132
Administrativos	196	182	184	322	304

Fonte: Adaptado da SCSP (FORTALEZA, 2014a, 2015e, 2016d, 2017, 2018).

Os quantitativos dos trabalhadores correspondem ao mês de dezembro de cada ano-referência pelo fato de haver flutuação durante cada ano. As Tabelas 13 e 14 mostram a diminuição da participação dos funcionários municipais nos serviços de limpeza pública e aumento da terceirização. Conhecimento dos quantitativos dos empregados ajuda na distribuição e localização das unidades de apoio - no caso, os ecopontos.

### ***2.2.8 A produção de resíduos sólidos urbanos***

A produção de RSU em Fortaleza, como em todas as cidades brasileiras, está condicionada a fatores econômicos e sociais. O aumento da renda e novas tendências de consumo, associados a uma ideia de descarte acelerada, produziu valores exorbitantes de resíduos nos últimos anos, quantidades exibidas neste item.

Os dados mostrados na Tabela 15 correspondem ao total de RSU gerados e coletados na cidade de Fortaleza no período de 2014 a 2018, depositados no aterro da ASMOC, incinerador do CTRP, Transbordo e ecopontos. São expressos os valores dos resíduos domiciliares (RDO), públicos (RPU), da construção civil (RCC), dos serviços de saúde (RSS), de poda e cortes de árvores, bem como os da limpeza de recursos hídricos.

Tabela 15 – Quantitativos de RSU coletados em Fortaleza de 2014 a 2018

Tipos de Resíduos	Quantitativos (toneladas) por ano				
	2014	2015	2016	2017	2018
Resíduos domiciliares (RDO)	755.091,9	768.781,6	795.478,2	803.018,5	835.992,3
Resíduos públicos (RPU)	1.276.443,8	744.679,8	582.052,5	400.990,8	414.274,8
Resíduos da Construção Civil (RCC)	343.765,4	241.398,0	204.302,0	196.150,0	224.977,6
Resíduos dos Serviços de Saúde (RSS)	4.822,0	4.828,5	5.101,3	5.172,9	5.125,9
Resíduos dos Recursos Hídricos	21.692,5	11.404,1	24.954,23	31.673,3	26.519,3
Resíduos de poda e cortes (RPO)	26.473,6	18.948,1	15.805,17	15.126,8	20.521,8

Fonte: Adaptado da SCSP (FORTALEZA, 2014a, 2015c, 2016d, 2017, 2018).

A Tabela 15 mostra os RDO na qual estão inclusos os resíduos da coleta domiciliar gratuita e dos grandes geradores (comerciais, industriais e serviços) que são coletas oneradas pelo gerador. Os RCC, recursos hídricos e de poda e cortes de árvores constituem resíduos públicos (RPU), mas estão separados para melhor compreensão das produções dos resíduos por alguns tipos de origens, por ser assim que os dados são expostos nos relatórios do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) que o Município envia para o Governo Federal.

As informações expostas anteriormente sobre os resíduos sólidos constituem fonte para elaboração de indicadores, importante modalidade de avaliação dos RSU e tema do próximo item.

### 2.3 Os indicadores como ferramenta de análise dos RSU

Os indicadores são as representações de um conjunto de informações, dados e conhecimentos de um fenômeno, com vistas a expressar de maneira simples e objetiva os seus aspectos, como magnitude, evolução, ocorrência e outros. Os estudos sobre RSU se utilizam mais de indicadores ambientais e de sustentabilidade.

Os indicadores ambientais constituem a representação simplificada de uma realidade ambiental complexa, com a facilidade de compreender os fenômenos e percepções a ela relacionadas, sintetizando informações por intermédio de dados brutos para melhor comunicar numa linguagem simples e acessível aos variados segmentos sociais. Eles respondem por três funções essenciais e complementares: função científica na avaliação do estado do meio ambiente, função política na identificação de prioridades e desempenho de

políticas ligadas a aspectos ambientais e função social, no sentido de ampliar a comunicação social e incentivar a responsabilidade social dos agentes sociais (BRASIL, 2012).

Os indicadores de sustentabilidade buscam avaliar os progressos das metas estabelecidas, detectar problemas, definir a elaboração de políticas públicas, mensuram o grau de sustentabilidade das sociedades, simplificam estudos e relatórios e comparam dados de locais e épocas distintos (POLAZ; TEIXEIRA, 2009).

O uso de indicadores é trabalho de pesquisa de muitos autores, principalmente no tocante aos RSU, sendo, portanto, de relevo ressaltar as suas definições, normas e estudos, conforme será explanado a seguir.

### ***2.3.1 Estudos sobre indicadores***

Os usos de indicadores servem para criar parâmetros a serem estudados e relacionados, com o escopo de quantificar e sintetizar informações, criando modelos empíricos da realidade, sendo exibidos em dados estatísticos ou gráficos (HAMMOND *et al.*, 1995).

A norma ABNT NBR ISO 14031 (ABNT, 2004c) relata sobre os indicadores de desempenho operacional (IDO) relacionado aos resíduos sólidos das seguintes modalidades:

- a) quantidade de resíduos por ano ou por unidade de produto;
- b) quantidade de resíduos perigosos, recicláveis ou reutilizáveis produzidos por ano;
- c) quantidade de resíduos armazenados no local;
- d) quantidade de resíduos controlados por licenças;
- e) quantidade de resíduos perigosos eliminados em decorrência da substituição do material;
- f) quantidade de resíduos convertidos em material reutilizável por ano; e
- g) quantidade de resíduos para disposição.

Martínez (2007) utilizou indicadores, classificando-os em indicadores ambientais, de sustentabilidade e de desenvolvimento sustentável, sendo os primeiros a representação do ambiente, os seguintes a mudança no tempo e os demais o progresso no desempenho do desenvolvimento e na sustentabilidade do desenvolvimento.

Com vistas a elaborar um modelo de geração futura de resíduos domiciliares para cidades, Dias *et al.* (2012), tendo como área de pesquisa as cidades de Porto Alegre e Belo Horizonte recorreram a indicadores socioeconômicos do IBGE das duas cidades e a dados de

campo, como a geração dos RSU. Obtiveram com isso novos indicadores, como a geração *per capita* de RSU e através por meio de tratamentos estatísticos dos usos de indicadores pesquisados e encontrados, formularam modelos matemáticos para projeções de geração de resíduos domiciliares

Santiago e Dias (2012) utilizaram uma matriz de indicadores de sustentabilidade onde foram organizados em seis dimensões: política, tecnológica, econômica e financeira, ecológica e ambiental, do conhecimento (educação ambiental e mobilização social) e da inclusão social. Juntamente com seus descritores, foram utilizados pesos para avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU). Após coleta dos dados e colocação de pesos nos descritores de cada indicador, foram definidos intervalos de sustentabilidade e níveis que variam da insustentabilidade baixa, média e alta.

O pesquisador Carvalho Júnior (2013) propôs os usos de diversos indicadores de sustentabilidade ambiental para geração dos RSU, como a população urbana e o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil no período 2000 a 2011 e comparou com outros indicadores como o IDH, GINI, índice nacional de preços ao consumidor (INPC), índice de preços ao consumidor amplo (IPCA), consumo de água tratada e consumo de energia elétrica para a cidade de Fortaleza neste período, criando uma equação para geração de resíduos urbanos.

Relativamente ao uso de indicadores de desempenho, Ferreira, Silva e Brás (2015) avaliaram a gestão de resíduos sólidos da Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ESAR) que, em Portugal, é a entidade responsável pela regulação dos setores de água, águas residuais e dos resíduos. Por esta entidade, a avaliação dos serviços prestados pelos gestores aos usuários divide-se em três subsistemas distintos: adequação da interface com o utilizador, sustentabilidade da gestão do serviço e sustentabilidade ambiental. Para o processo de avaliação da ESAR, escolheu como área de estudo a empresa RESINORTE S/A, responsável pela gestão do RSU de vários municípios em Portugal, definindo ao final novos indicadores e excluindo outros.

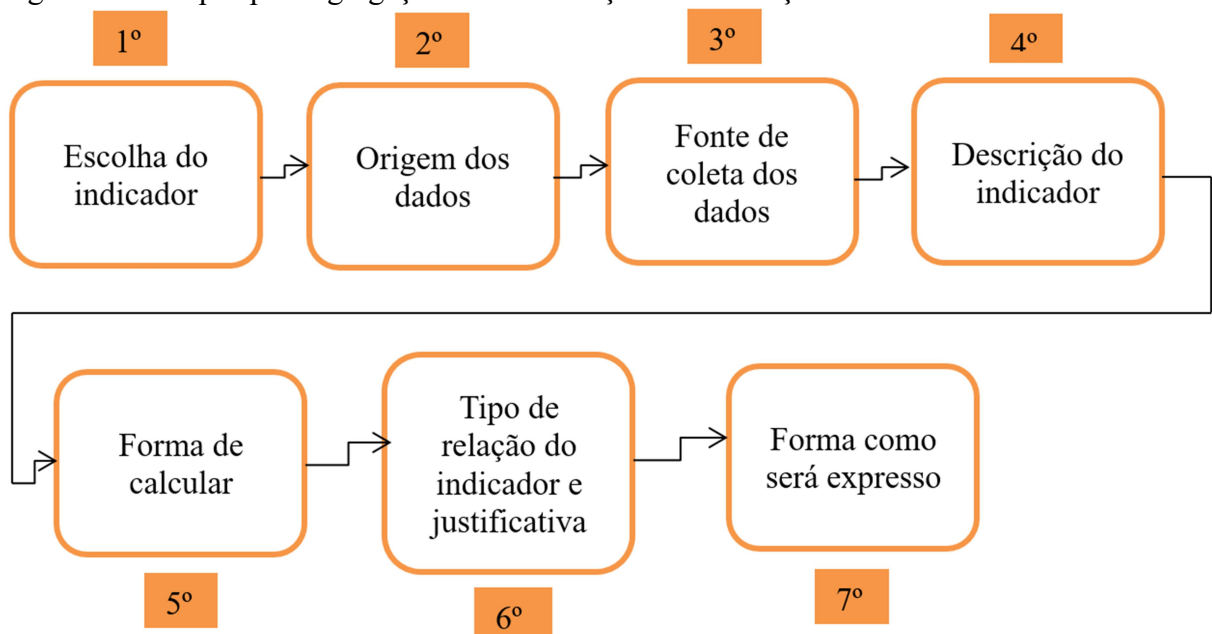
Empregando indicadores de desempenho, Teixeira *et al.* (2014), no intuito de reduzir o número de indicadores, utilizaram-se dos seguintes critérios: acessibilidade à base de dados, avaliação das variações, fácil aplicação em muitos municípios e operadores privados, sistemática mínima dos procedimentos de coleta de dados. Na análise de sistemas municipais de RSU, escolheram três indicadores: distância efetiva de coleta, tempo efetivo de coleta e consumo efetivo de combustível. O Município português do Oporto foi a área de estudo, cujos dados coletados foram submetidos a tratamento estatístico com resultados apontando para melhorias nas estratégias de coleta e planejamento integrados.

Medeiros; Da Paz e Morais Júnior (2015) investigaram a variação temporal dos resíduos sólidos domiciliares no período de 2003 a 2010 da cidade de João Pessoa e sua estimativa de evolução futura, mediante os usos de indicadores sociais, como consumo de água, energia, renda e alfabetização, com uma correlação entre a massa coletada de resíduos domiciliares *per capita* e indicadores por via do método IPAT (I- impacto ambiental, P- população, A- poder aquisitivo e T- tecnologia), tendo-se definido uma projeção da geração de resíduos domiciliares.

A avaliação das gestões de RSU para pequenas, médias e grandes cidades levou Pereira, Curi e Curi (2018) a definirem modelos baseados em indicadores divididos em quatro dimensões: ambiental, social, técnico-operacional e econômico-financeira, distribuídos em 14 categorias de análise.

A Figura 10 proposta por Pereira, Curi e Curi (2018), demonstra os passos de agregar informações para cada indicador após a sua definição. Um dos indicadores propostos pela pesquisa é a geração *per capita* de RSU e a unidade utilizada é quilograma/ habitante/ dia. A Figura 10 define também as etapas da sequência para agregação das informações até o surgimento do indicador em sete passos, terminando com a escolha da unidade na qual vai ser expresso. Atentar nessa sequência para o passo 4º na descrição do indicador, passo 5º na forma de calcular e passo 7º na forma como será expresso, pois são informações prioritárias na sua escolha para tratar os dados de acordo com a fonte de coleta.

Figura 10 – Etapas para agregação das informações na definição do indicador



Fonte: Adaptado de Pereira, Curi e Curi (2018).

Para análise do desempenho dos sistemas da gestão de RSU de cidades italianas, Bertanza, Ziliani e Menoni (2018) recorreram a indicadores técnico-econômicos, entre eles o coeficiente proveniente da divisão da quantidade coletada pelo total de habitantes da população. Foram tabulados vários indicadores fáceis de calcular, levando em consideração as características dos resíduos coletados e o desempenho econômico operacional das suas coletas. Analisados os indicadores, foram estabelecidas estratégias para melhora dos desempenhos dos sistemas com menores custos despendidos.

Os indicadores servem de parâmetro para análise das atividades de limpeza pública, resumindo a grande quantidade de dados e tornando acessível o seu entendimento. A criação de sistemas de indicadores e sua organização servem para auxiliar na tomada de decisão por meio de exames e cautelas para a definição de políticas específicas. Isso se dará através de um caminho por uma via indispensável na busca da sustentabilidade ambiental urbana.

### ***2.3.2 Indicadores do SNIS***

O Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS) possui 96 indicadores de desempenho dos municípios que preencheram o questionário. Eles são reunidos em seis grupos (SNIS, 2019d):

- indicadores sobre despesas e trabalhadores;
- indicadores sobre coleta domiciliar e pública;
- indicadores sobre coleta seletiva e triagem;
- indicadores sobre coleta de resíduos de serviços de saúde;
- indicadores sobre serviço de varrição, capina, roçada; e
- indicadores sobre serviços de construção civil.

Conforme os pesquisadores Pereira, Curi, Curi (2018), Bertanza, Ziliani e Menoni (2018), o uso de indicadores de fácil coleta e cálculo permite análises práticas e rápidas, admitindo estudos das evoluções temporais, como também comparações com outras realidades similares no mesmo período.

Seguindo essa linha de raciocínio, são escolhidos indicadores de desempenho do SNIS de dois grupos: indicadores sobre despesas e trabalhadores e sobre coletas domiciliar e pública. Do primeiro grupo, escolhe-se o indicador IN006. Do segundo, são três : IN021, IN022 e IN024.



O indicador IN006 corresponde à despesa *per capita* com manejo de RSU em relação à população urbana, dada pela fórmula

$$IN006 = \frac{FN220}{POP\_URB} \quad (1),$$

onde

FN220 - despesa total com os serviços de manejo de RSU (R\$) e

POP\_URB – estimativa da população urbana com fonte IBGE do ano e cidade pesquisada (habitantes).

O indicador IN024, que descreve a incidência do custo da coleta do (RDO+ RPU) sobre o custo total de manejo do RSU, conforme a equação:

$$IN024 = \frac{FN206+FN20}{FN218+FN21} \times 100 \quad (2),$$

onde

FN206- despesas dos agentes públicos com coleta de RDO e RPU (R\$);

FN207- despesas com agentes privados com coleta de RDO e RPU (R\$);

FN218- despesas dos agentes públicos com execução do manejo de RSU (R\$) e

FN219- despesas com agentes privados na execução do manejo de RSU (R\$).

Os dois indicadores constituem a Tabela 16, com valores das cidades de Fortaleza, Salvador, Natal, Rio de Janeiro e São Paulo, no período de 2014 a 2018. Salvador e Natal foram escolhidas por serem capitais nordestinas assemelhadas a Fortaleza, São Paulo e Rio de Janeiro por serem as duas maiores capitais do Brasil em população.

Tabela 16 – Evolução dos indicadores IN006 e IN024 das cidades de Fortaleza, Salvador, Natal, Rio de Janeiro e São Paulo no período de 2014 a 2018

Anos	Indicadores de desempenho IN006(R\$/ habitantes) e IN024 (%)									
	Fortaleza(CE)		Salvador(BA)		Natal(RN)		Rio de Janeiro(RJ)		São Paulo(SP)	
	IN006	IN024	IN006	IN024	IN006	IN024	IN006	IN024	IN006	IN024
2014	112,80	68,97	115,14	35,29	225,41	18,81	297,93	27,21	183,23	53,55
2015	105,40	69,23	106,25	32,18	187,50	21,23	285,41	27,21	199,31	47,99
2016	105,81	71,08	114,04	32,25	232,95	15,43	284,41	27,21	198,00	50,18
2017	110,03	70,15	78,47	45,01	196,46	24,28	264,59	27,21	176,01	47,29
2018	114,47	72,67	93,67	34,81	183,99	19,55	240,90	27,21	121,663	61,54

Fonte: Série Histórica SNIS (2019).

O indicador IN021 reproduz a massa coletada (RDO+RPU) *per capita* em relação a população urbana pela seguinte equação:

$$IN021 = \frac{CO116+CO117+CS048+CO142}{POP\_URB} \times \frac{1000}{365} \quad (3),$$

onde

CO116- quantidade de RDO e RPU coletada pelo agente público (t);

CO117- quantidade de RDO e RPU coletada pelos agentes privados (t);

CO142- quantidade de RDO e RPU coletada por outros agentes executores (t)

CS048- quantidade recolhida na coleta seletiva executada por associações ou cooperativas de catadores COM parceria/apoio da Prefeitura (t) e

POP\_URB – estimativa da população urbana com fonte IBGE do ano e cidade pesquisada (habitantes).

O indicador IN022 exprime a massa coletada (RDO) *per capita* em relação à população atendida com o serviço de coleta:

$$IN022 = \frac{CO108+CO109+CS048+CO140}{C0164} \times \frac{1000}{365} \quad (4),$$

onde

CO108- quantidade de RDO coletada pelo agente público (t);

CO109- quantidade de RDO coletada pelos agentes privados (t);

CO140- quantidade de RDO coletada por outros agentes executores, exceto cooperativas ou associações de catadores (t);

C0164- população total atendida no município (habitantes) e

CS048- quantidade recolhida na coleta seletiva executada por associações ou cooperativas de catadores COM parceria/apoio da Prefeitura (t).

Os RDO no SNIS incluem os resíduos dos domicílios residenciais, assim como os domicílios comerciais e industriais recolhidos pela coleta contratada. Resumindo, é a coleta executada por entes públicos e privados nos domicílios residenciais, comerciais e industriais. Em associação a esse montante, incluem os resíduos coletados por associações de catadores ou cooperativas que têm apoio do Município (SNIS, 2014).

Os RPU no SNIS constituem os resíduos públicos de origem de outras atividades da limpeza pública, como varrição de ruas, praças, faixa de praia, limpeza de feiras livres, capina e roçada de sarjetas e áreas públicas, assim como retiradas de depósitos clandestinos em terrenos baldios, públicos e outras operações de limpeza de logradouros públicos (SNIS, 2014).

Os dois indicadores, IN021 e IN022, formam a Tabela 17, com evolução nos anos de 2014 a 2018, nas cidades de Fortaleza, Salvador, Natal, Rio de Janeiro e São Paulo.

Tabela 17 – Evolução dos indicadores IN021 e IN022 das cidades de Fortaleza, Salvador, Natal, Rio de Janeiro, São Paulo no período de 2014 a 2018

Anos	Indicadores de desempenho IN021(Kg/ habitante/dia) e IN022(Kg/ habitante/dia)									
	Fortaleza(CE)		Salvador(BA)		Natal(RN)		Rio de Janeiro(RJ)		São Paulo(SP)	
	IN021	IN022	IN021	IN022	IN021	IN022	IN021	IN022	IN021	IN022
2014	1,59	0,89	0,88	-	1,14	0,84	1,26	0,88	0,87	0,85
2015	1,52	0,86	0,81	-	0,95	0,83	1,27	0,84	0,90	0,86
2016	1,72	0,86	0,83	-	0,98	0,84	1,33	0,83	0,87	0,84
2017	1,91	0,84	0,93	-	0,99	0,84	1,38	0,87	0,92	0,89
2018	2,23	0,83	0,88	-	1,04	0,82	1,41	0,93	1,24	0,90

Fonte: Série Histórica SNIS (2019).

A Tabela 17 expressa, comparativamente, o fato de que a cidade de Fortaleza detém valores mais elevados de todo o período de 2014 a 2018 do indicador IN024, definindo que o custo da coleta do RSU (RDO+RPU) percentualmente (%) em relação ao custo total do manejo RSU, de todas as cidades da amostra. Comparando com outras capitais nordestinas, como Salvador, Natal e as duas maiores cidades populacionais do Brasil, Rio de Janeiro e São Paulo, seus valores são bastante expressivos.

No que toca aos valores dos custos total do manejo do RSU em relação à população urbana, a cidade de Fortaleza encontra-se com valores abaixo da média nacional de R\$130,47/habitantes em 2018 (SNIS, 2018) e a média de 2017 com R\$121,62/habitantes (SNIS, 2017). Possui, portanto, valores razoáveis para os custos totais do manejo do RSU.

Analisando, na Tabela 17, a situação de indicador IN021 do volume da coleta do RSU (RDO+RPU) *per capita* diária, detecta-se que Fortaleza tem valores maiores do que as outras cidades capitais do Nordeste, como Salvador, Natal e até maior do que as duas maiores cidades do Brasil, Rio de Janeiro e São Paulo no período de 2014 a 2018. Comparando com a média nacional, onde IN021 foi de 0,96Kg/ habitante/dia em 2018 (SNIS, 2018a) e 0,95 Kg/

habitante/dia em 2017 (SNIS, 2017), sendo, portanto, maior do que essas duas médias nacionais.

O indicador IN022 da Tabela 18 relacionada à coleta do RDO *per capita* diária tem valores aproximados para quase todas as cidades da amostra no espaço temporal de 2014 a 2018, com exceção de Salvador, onde não podem ser calculados, sendo por isso omitido.

Conclui-se, com efeito, que essa diferença se dá pelo alto volume de RPU da cidade de Fortaleza (CE) em relação a essas capitais nordestinas e as duas maiores cidades do Brasil em população. Isso é constatado pelo volume expressivo da coleta de resíduos públicos na Tabela 16 e 17, pelo fato de os indicadores IN021 e IN024 destoarem na cidade em relação a outras urbes da amostra no mesmo período de 2014 a 2018.

Como definido anteriormente no RPU, está inclusa a coleta dos resíduos dispostos de maneira clandestina em logradouros públicos e privados, os denominados pelos operadores locais do sistema de manejo do RSU de “*pontos de lixo*”, assim como pela população de um modo geral. Esta é a matéria tratada no módulo imediatamente seguinte.

### **2.3.3 Os “*pontos de lixo*” em Fortaleza**

Os pesquisadores Mucelin e Belini (2008) afirmam que, nas cidades brasileiras, é comum observar hábitos de disposição final inadequados de lixo. Materiais sem utilidade se reúnem indistinta e desordenadamente, muitas vezes em locais impróprios, como lotes baldios, margens de estradas, fundos de vale e margens de lagos e rios. Essas práticas rotineiras são passíveis de ensejar, entre outras coisas, doenças de veiculação hídrica e por vetores (verminoses, ratos, baratas e outros), assoreamento de recursos hídricos, poluição visual, odores ruins e contaminação do ambiente. Isso descrito caracteriza os “*pontos de lixo*”.

Os “*pontos de lixo*” em Fortaleza de maneira assemelhada são os depósitos que surgem em locais públicos e privados, principalmente em frente de edificações abandonadas, terrenos baldios não cercados por muros, calçadas desses terrenos baldios e canteiros centrais de avenidas e ruas próximos a residências de submoradias (favelas, vilas) e outros de ocupações ilegais, como bordas de canais, lagoas e riachos. Os descartes clandestinos e inadequados desses resíduos, conforme Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Fortaleza (PMGIRS), são constituídos em sua maior parcela pelos resíduos da construção civil (ACFOR, 2012).

Essa realidade não se modificou desde a aprovação do PMGIRS, pois se agravou de acordo com a Tabela 18, onde se evidencia o quantitativo desses “*pontos de lixo*”,

no período de 2014 a 2018, por Secretaria Regional (SR). Em decorrência da flutuação desse número ocorrer à extensão do ano, por causa da dinâmica da cidade com ocupações e desocupações com abandono de espaços públicos e privados, escolheu-se o mês de dezembro de cada ano para balizador do quantitativo anual.

O ápice do quantitativo de pontos de lixo deu-se no ano de 2016, com quase 1800 pontos distribuídos pela cidade, criando impactos visuais, sanitários e ambientais nocivos ao cotidiano e estrutura da urbe, conforme Tabela 18.

Tabela 18 – A evolução do quantitativo de “pontos de lixo” na cidade de Fortaleza no período de 2014 a 2018

<b>Secretarias Regionais (SR)</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
SR I	142	126	203	128	103
SR II	271	300	282	131	119
SR III	100	97	136	104	81
SR IV	150	160	149	114	98
SR V	237	286	373	212	108
SR VI	359	347	648	338	322
<b>Total</b>	<b>1259</b>	<b>1316</b>	<b>1791</b>	<b>1027</b>	<b>834</b>

Fonte: Adaptados da SCSP (FORTALEZA, 2014a, 2015e, 2016d, 2017, 2018).

A Tabela 18 demonstra a evolução dos “*pontos de lixo*” no período de 2014 a 2018, verificando-se o ápice desse quantitativo em 2016. Isso demanda um esforço de recursos materiais, humanos e financeiros do Município de Fortaleza para atenuar os efeitos nocivos desses depósitos clandestinos e minimizar esses valores. A solução encontrada foram os ecopontos localizados em diversos lugares da cidade.

## 2.4 Os ecopontos em Fortaleza

A *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), agência de proteção ambiental dos Estados Unidos, elaborou um guia para tomada de decisões sobre gerenciamento de resíduos na efetivação de novos empreendimentos e dividiu-o em três fases: fase I o planejamento, fase II a escolha do local e desenho da instalação e fase III, implementação. Na fase I, é composto por identificação do problema, projetando a estratégia de localização, avaliando os impactos e estabelecendo critérios de como avaliar os locais escolhidos. Na fase II, têm os componentes: escolhas dos locais e início do projeto da instalação. Na fase III têm a operação, gerenciamento e término do projeto com previsão do uso posterior do empreendimento. As legislações ambientais pertinentes e condições

socioeconômicas locais não são esquecidas nos estudos em cada fase (O'LEARY; WASH, 1995).

Os estudos de tomadas de decisão propostos por Lima *et al.* (2013) foram no intuito de elaborar opções tecnológicas no tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) em forma de arranjos tecnológicos para a região Nordeste do Brasil, baseando-se em critérios ambientais, sociais, políticos e econômicos por meio da criação de modelos matriciais em função de sua relevância e hierarquização das opções expressas.

A gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) de Fortaleza, com alicerce nos estudos expostos anteriormente, buscou uma solução em que se viabiliza ao município uma forma de descartar seus resíduos, principalmente da construção civil, de maneira organizada, técnica e ambientalmente correta, minorando assim os efeitos danosos dos “pontos de lixo” já comentados. Fez-se uma pesquisa das possibilidades e ponderou-se por meio de critérios técnicos, ambientais, socioeconômicos e com uma janela de oportunidade, o que conduziu à opção pelos ecopontos como a solução para amenizar esse impacto negativo na vida da cidade.

Os ecopontos constituem reduzidas unidades de Transbordo destinadas a receber pequenas quantidades de resíduos da construção civil (entulhos), resíduos de poda e corte de espécies vegetais, assim como descartes volumosos (móveis velhas, eletrodomésticos imprestáveis e outros) e resíduos recicláveis. O que não é admissível neles corresponde aos restos de comida, “isopor”, resíduos industriais e comerciais, resíduos químicos e de saúde, animais mortos e lâmpadas (FORTALEZA, 2016b).

#### ***2.4.1 A história dos ecopontos em Fortaleza***

Os ecopontos foram instalados em agosto de 2013 em dois locais, na avenida Leste-Oeste e Varjota, pela concessionária Ecofor, para receber entulhos. Mediante, porém, uma compensatória ambiental do programa Drenagem Urbana de Fortaleza (DRENURB), junto ao empréstimo da *Corporación Andina del Fomento* (CAF), conhecida por Banco para Desenvolvimento da América Latina, surgiram recursos para construção dos primeiros ecopontos pelo Município. A CAF é composta por 19 países, sendo 17 países da América Latina, mais Portugal e Espanha, reunindo, também, 13 bancos privados da região.

O programa DRENURB tem por objetivo geral melhorar as condições ambientais da população de Fortaleza residente nas bacias Vertente Marítima, Maranguapinho e Cocó, por meio do aperfeiçoamento do sistema de drenagem urbana, de obras para controle de

enchentes e da recuperação e da conservação do meio ambiente, contribuindo com a melhora das condições de vida da população de Fortaleza. Entre seus objetivos específicos elencados no programa, estão a construção de ecopontos, definidos por locais reservados para a coleta de materiais recicláveis, atendimento a pequenos geradores e transportadores autônomos (FORTALEZA, 2015f).

O Plano de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas do Município de Fortaleza explicita que o programa DRENURB possui dois tipos: DRENURB I e DRENURB II. O DRENURB I constituído de investimentos oriundos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), na ordem de R\$ 93 milhões, enquanto o DRENURB II possui investimentos de US\$ 90,2 milhões (dólares dos EUA), sendo US\$ 45,1 milhões da CAF e o restante contrapartida do Município (FORTALEZA, 2015f).

O DRENURB II teve como compensatória ambiental um montante de US\$ 800 mil para construir cinco ecopontos. Com a desvalorização da moeda real em relação ao dólar dos EUA e complementação de recursos financeiros pelo Município de Fortaleza, foram construídas dez unidades pela Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEINF) com início em 2015. Adotando como política pública na área de resíduos sólidos urbanos (RSU), a gestão municipal realizou paralelamente a construção de outras dez unidades pela SCSP e ACFOR (FORTALEZA, 2015e).

Os 25 primeiros ecopontos se destinavam a sedes das Zonas Geradoras de Lixo (ZGL) para a execução e fiscalização dos serviços de limpeza dentro de suas respectivas áreas. Os construídos pela SEINF são as sedes, todas em alvenarias e telhados em cerâmica de barro, os outros construídos pela SCSP e ACFOR em contêineres. Em ambos, há espaço para a parte administrativa, almoxarifado, banheiros para os empregados e usuários (FORTALEZA, 2015e).

Alguns aspectos construtivos dos ecopontos edificados em Fortaleza são expressos no próximo item.

#### ***2.4.2 Aspectos construtivos dos ecopontos em Fortaleza***

Os ecopontos, inicialmente, tinham a função de prover um espaço onde os resíduos de origens da construção civil, podas e cortes de árvores, volumosos, todos em pequenas quantidades em volume, fossem depositados nesses locais, evitando a colocação pessoalmente ou por terceiros contratados pelos geradores (carroceiros, “carrinheiros”, veículos pequenos de fretamento e outros) cuja destinação seria inadequada em logradouros

públicos e privados. Eles, assim, destinariam para essas unidades sem ônus para o gerador (FORTALEZA, 2015e).

Os ecopontos iniciais proveram as ZGL de suas sedes, reservando espaço para a parte administrativa, almoxarifado e banheiros, obedecendo as NRs (Normas Regulamentadoras) da Secretaria de Trabalho, atual sucessora do Ministério do Trabalho. São cercados por telas aramadas no perímetro do terreno para visibilidade do interior pelo usuário externo e dotadas de rampas de acesso ao platô elevado para facilitar descarrego nos contêineres. Na Figura 11, visualiza-se um ecoponto do tipo alvenaria para sede de ZGL (FORTALEZA, 2015e).

Figura 11 – Maquete eletrônica Ecoponto sede de ZGL, de alvenaria



Fonte: Elaboração própria (2021).

O outro tipo de ecoponto é o formado por três contêineres, sendo um para administração, outro almoxarifado e outros banheiros, destinados também à sede da ZGL. Possui rampa de acesso a platô elevado em relação aos contêineres, dispositivos onde serão colocados os resíduos. São cercados por telas aramadas, como o de alvenaria, para facilitar visualização interna. A Figura 12 mostra essas peculiaridades (FORTALEZA, 2015e).

O tipo de ecoponto mostrado na Figura 12 abriu a perspectiva de construções mais rápidas e flexíveis com instalações de contêineres prontos e adequados a cada ambientação que se fizesse necessário. A velocidade de implantação de novas unidades de ecopontos foi aumentada, facilitando ao gestor público instalar mais unidades em intervalo de tempo menor (FORTALEZA, 2015e).



Figura 12 – Maquete eletrônica Ecoporto sede de ZGL de contêineres

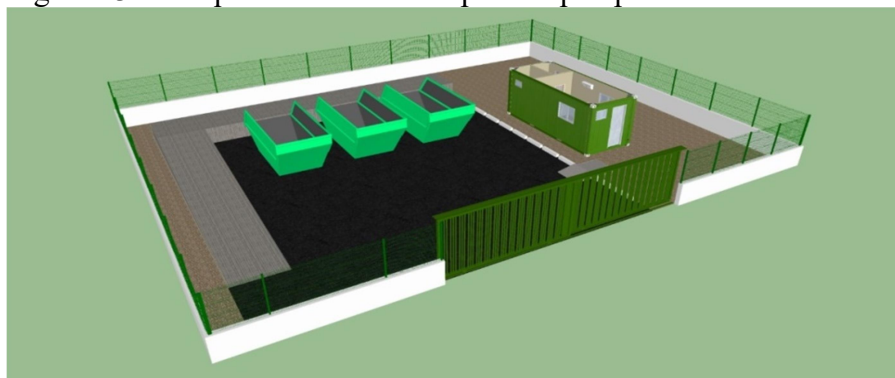


Fonte: Elaboração própria (2021).

Os ecoportos sede de ZGL, tanto o de alvenaria como o de contêineres, ocupam uma área em torno de 600 m<sup>2</sup> (metros quadrados), variando para mais ou menos, dependendo da topografia do terreno e do espaço público disponibilizado. A rampa desses ecoportos era mais larga, pois, na época de sua concepção, permitia-se o tráfego de carroças de tração animal na cidade, mas, com a Lei Municipal nº 10.540, de 09 de novembro de 2016, sendo regulamentada somente no ano seguinte, proibiu o uso destes transportes por tração animal na cidade (FORTALEZA, 2015c, 2016d).

O terceiro tipo de ecoporto é um menor do que os outros dois citados, conhecido como de apoio, pois não se destina a sede de ZGL, construído de um só contêiner, com características de cercamento do terreno com telas, piso elevado para facilitar descarrego nos contêineres, assemelhado aos dois anteriores. A Figura 13 mostra sua maquete eletrônica (FORTALEZA, 2017, 2018).

Figura 13 – Maquete eletrônica ecoporto tipo apoio de contêineres



Fonte: Elaboração própria (2021).

O ecoponto apoio possui aproximadamente 400 m<sup>2</sup> de área dependente, como os outros dois anteriores, com variação, de acordo com a topografia do terreno e medidas disponibilizadas pela área pública. Alguns ecopontos recentemente construídos, por falta de espaço físico nos terrenos cedidos para sua implantação, não possuem rampa nem platô elevado, assim como alguns estão sendo edificados com base de concreto para colocação de contêineres do tipo *roll on roll off*, evitando, assim, dano ao pavimento asfáltico nas áreas onde são colocados esses equipamentos para armazenamento dos resíduos da construção civil e demolição (FORTALEZA, 2016d, 2017, 2018, 2019).

Os ecopontos obedecem às normas técnicas para pavimentação na área de operação, às normas técnicas da ABNT ou similares para área de edificações, normas sobre acessibilidade para deficientes físicos e as NRs da Secretaria do Trabalho, principalmente aquelas que indicam o número de vasos sanitários e chuveiros proporcionais ao número de pessoas que atuam nestas unidades (FORTALEZA, 2015e, 2016d, 2017).

O custo aproximado de cada ecoponto varia de 60 a 200 mil reais, e o tempo de execução médio é de 45 dias. Essa variação de custo decorre da existência de rede pública de esgoto, que evitaria a construção de unidade de tratamento. A topografia do local onde será implantado é também indutora de maiores custos de terraplenagem e necessidade de muros de arrimo de contenção de aterros. Os ecopontos de alvenaria são os de maiores custos (FORTALEZA, 2016d, 2017, 2018, 2019).

O ambiente no ecoponto desenvolve importantes programas que auxiliam na gestão do RSU, fomentando práticas educacionais e socioambientais, com inclusão social. A coleta seletiva incentivada dos resíduos para os usuários tem no ecoponto o seu mais importante instrumento para o seu funcionamento.

### ***2.4.3 A coleta seletiva dos resíduos***

O princípio dos 5Rs (reduzir, reutilizar, reciclar, recusar e repensar) deve fazer parte de uma mudança nos hábitos do cotidiano dos cidadãos. Portanto, o sistema 5Rs propicia essas ações individuais com ganhos, para a coletividade, dos indicadores de sustentabilidade ambiental (COUTINHO *et al.*, 2016).

A coleta seletiva é um importante meio para alcançar indicadores de sustentabilidade ambiental, e é definida como um procedimento onde existe separação dos resíduos sólidos pelo gerador (população) com a posterior coleta dos materiais triados que

serão utilizados como matéria-prima de novos produtos. Entre os benefícios da coleta seletiva, mencionam-se:

- a) economia de energia e água na produção de mais produtos;
- b) preservação dos recursos naturais que seriam usados com matéria-prima;
- c) geração de empregos e renda com inclusão social;
- d) aumento da vida útil dos aterros sanitários; e
- e) surgimento de negócios ligados à reciclagem (VILHENA *et al.*, 2018).

Existem vários fatores que influenciam a coleta seletiva de resíduos urbanos. Para definir qual melhor sistema a adotar, vários elementos devem ser analisados. Galhardo *et al.* (2018), em duas etapas, os analisaram. Na primeira delas, verificaram o nível de renda econômica e a variação sazonal da coleta na área do estudo, assim como a pureza dos despejos de embalagens leves. Amostras de resíduos foram, então, coletadas em duas zonas da cidade com distintas características econômicas durante o período de um ano, na cidade espanhola de Castellón. Eles caracterizaram, na segunda etapa, as composições das amostras coletadas em quatro frações: metais, plástico, caixas de bebidas e materiais extraviados. Estes extraviados foram separados em papelão, borracha, couro, resíduos inertes, matéria orgânica, papel, resíduos perigosos, roupas, calçados, vidro e outros. Esta metodologia mostrou-se, com o estudo dos resultados, útil e importante para ser realizada em outras cidades que tencionem propor sistema de coleta seletiva e obter, assim, uma boa participação nesse programa.

Deduz-se, então, que a análise gravimétrica dos resíduos é um importante passo para definições de programas de coleta seletiva de uma cidade.

#### 2.4.3.1 A análise gravimétrica dos resíduos em Fortaleza

A análise gravimétrica é uma das características físicas dos RSU e a pesquisa da sua composição por meio de métodos gravimétricos constitui uma ferramenta de estudo de campo, determinando-se sua constituição em peso (quilos ou gramas), dos diversos componentes orgânicos e inorgânicos que os formam. No Brasil, esse método é padronizado por intermédio da norma NBR 10007 (ABNT, 2004b).

O pesquisador Firmeza (2005) caracterizou os resíduos em uma análise gravimétrica por intermédio de amostras retiradas em 792 domicílios unifamiliares em todos os bairros de Fortaleza, no período de abril a dezembro de 2004. Encontrou percentual em média de 48,47% de matéria orgânica (restos alimentares, vegetais e cocos), 13,13% de

recicláveis (plásticos, vidros, metais e papel) e 38,20% de rejeitos, ou seja, sem potencial de reciclagem.

O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Fortaleza (CE), em 2012, realizou a análise gravimétrica de 35 amostras nas sete Secretarias Regionais (SR), dando cinco amostras por SR. O resultado encontrado foram 28,7 % para rejeitos, 28,6% para recicláveis e 42,7% para orgânico. Encontrou-se nesse estudo grande quantidade de materiais inertes, como as areias, telhas quebradas, pedaços de tijolos, entre outros, que foram somados aos demais materiais considerados rejeitos, como papel higiênico, guardanapo, isopor e outros (ACFOR, 2012).

Recentemente, realizou-se pessoalmente a análise da composição gravimétrica dos resíduos com parceira da concessionária Ecofor, SCSP e ACFOR. Contou-se com o auxílio, também na pesquisa, dos alunos do curso de Engenharia Ambiental das Faculdades do Nordeste (FANOR) e estudantes de pós-graduação *stricto sensu* da Universidade Federal do Ceará - UFC. Foram realizadas 119 análises, uma para cada bairro da cidade de Fortaleza, de acordo com aqueles citados no censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010a).

A pesquisa foi realizada no período de 22/07/2019 a 30/08/2019, sendo coletadas em caçambas abertas nos diversos circuitos da coleta domiciliar que representassem os bairros, nos períodos diurnos e noturnos. Foram recolhidas 307,18 toneladas coletadas nos diversos setores dos bairros. Após o processo de dois quarteamentos, foram triados 3661,57 kg das amostras. A Tabela 19 demonstra as toneladas coletadas, por Secretaria Regional (SR).

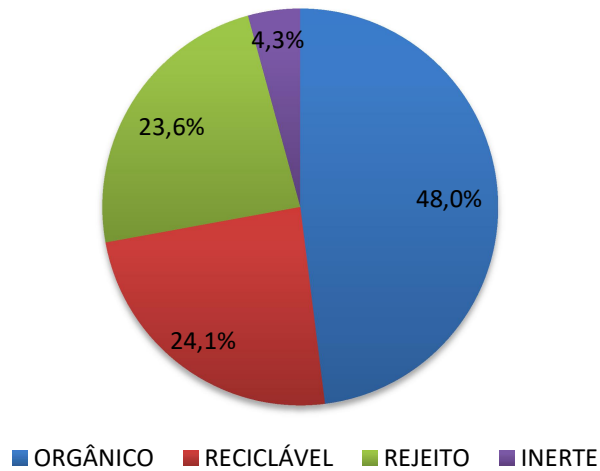
Tabela 19 – Quantidade de toneladas coletadas por caçambas abertas por SR antes da triagem

SR	toneladas
I	38,89
II e Centro	51,45
III	44,17
IV	32,66
V	42,62
VI	97,39
<b>Total</b>	<b>307,18</b>

Fonte: Elaboração própria (2021).

A composição gravimétrica dos resíduos domiciliares encontrados é explicitada conforme a Figura 14, com os seus percentuais para orgânico, recicláveis, inerte e rejeito.

Figura 14 – Composição dos resíduos domiciliares de Fortaleza em percentual



Fonte: Elaboração própria (2021).

Os rejeitos correspondem a materiais como fraldas, papel higiênico, absorventes, isopor e outros materiais que não tenham valor para reciclagem comercial. A categoria inerte são as varrições e entulhos de reformas, como areias, pedaços de tijolos, telhas, pedras e outros. O percentual de orgânico, comparando com a pesquisa do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Fortaleza (ACFOR, 2012), teve variação de 5,3%, porém o percentual de rejeitos, somando o de inertes, teve uma variação insignificante, de 0,8%, desta pesquisa para a do PMGIRS.

O que se constatou com esta a pesquisa, em relação à demanda de 2012, foi uma diminuição de 4,2% de recicláveis, encontrando lógica em decorrência do período de crise financeira no País, iniciado em 2016 ao ano da pesquisa, em 2019, provocado pela perda do poder aquisitivo nas famílias se comparado a 2012. Isto é esperado, pois a renda das famílias é definida como um dos condicionantes na produção de resíduos, conforme Carvalho Júnior (2013).

Como se verifica, têm-se um percentual razoável de recicláveis na composição dos resíduos domiciliares detectado em diversas pesquisas na cidade de Fortaleza, em torno de 24% ou mais, o que induz uma atitude de adoção de práticas de coleta seletiva pelo poder público. O ecoponto é um expediente para isso, como explicitado pelos programas desenvolvidos por intermédio dele.

#### 2.4.4 Programas desenvolvidos nos ecopontos

O ambiente do ecoponto desenvolve importantes programas destinados à melhora na gestão dos resíduos sólidos urbanos. Dois programas se destacam: *Recicla Fortaleza* e *E-carroceiro*.

O primeiro ecoponto da gestão do prefeito Roberto Claudio Rodrigues Bezerra foi inaugurado em 28 de novembro de 2015, porém o programa *Recicla Fortaleza* foi nele implantado em 30 de maio de 2016, quando os usuários cadastrados entregavam materiais recicláveis, como vidros, plásticos, papéis, papelões, metais e óleos residuais de cozinha (OGR, óleos e gorduras residuais) em troca de bônus na conta de energia elétrica. Uma tabela é exposta com os preços de cada reciclável e, após pesagens, são somados os bônus e creditados na conta de cada cliente que se cadastra no ecoponto durante a sua entrega (FORTALEZA, 2016e).

O programa *Recicla Fortaleza*, em junho de 2016, ampliou a possibilidade de troca de recicláveis por bônus no cartão do Bilhete Único, mediante parceria entre a Prefeitura de Fortaleza e o Sindicato das Empresas de Transporte de Passageiros do Estado do Ceará (SINDIÔNIBUS). Então, além de gerar créditos na conta de luz, as pessoas geravam créditos no cartão do *Bilhete único*, que dá acesso ao transporte público coletivo de Fortaleza. Essa bonificação no *Bilhete único* terminou em 2018, pela baixa procura da parte dos usuários por essa modalidade de premiação (FORTALEZA, 2016e, 2018).

O programa *Recicla Fortaleza* é um grande indutor do programa de coleta seletiva na Capital cearense, contribuindo para aumentar a quantidade de materiais recicláveis recuperados com distribuição de ganhos com descontos na conta de energia elétrica.

Outro programa muito importante desenvolvido no Ecoponto é o *E-carroceiro*. Os carroceiros cadastrados levam entulho de construção, podas e móveis velhos, e recebem bonificações valendo dinheiro para adquirir produtos no comércio local. No dia 26 de agosto de 2018, foi instituído esse programa, que permitia aos carroceiros cadastrados receber bonificações por meio de uma parceria com o Banco Palmas, reconhecido por sua experiência em microcrédito social, e a Ecofor Ambiental, concessionária da limpeza urbana e Prefeitura de Fortaleza (FORTALEZA, 2018).

O Banco Palmas foi agente financeiro escolhido por trabalhar com créditos financeiros e expertise de largo alcance social há mais de 20 anos, sendo o primeiro banco comunitário da Rede Brasileira de Bancos Comunitários (RBBC), sistema que possui cerca de 120 membros nas diversas regiões do Brasil. Ele utiliza aplicativo que permite carregar cartão

ou via aparelho celular com créditos para realizar compras ou serviços na rede de estabelecimentos comerciais perto ou não do Ecoponto. O cadastro do carroceiro faz-se, sem necessidade de comprovações de renda e outros empecilhos burocráticos, no Ecoponto onde os mesmos operam. O Banco Palmas trabalha no Brasil, além da Prefeitura de Fortaleza, com as prefeituras de Maricá, Estado do Rio de Janeiro e Limoeiro de Anadia, em Alagoas, com outros programas de microcrédito sociais (INSTITUTO BANCO PALMAS, 2020).

O aplicativo adquirido pelo Banco Palmas, conhecido como *E-dinheiro*, permite o carroceiro trocar seus *bonus* por produtos ou dinheiro. É uma plataforma digital adquirida pelo *Instituto E-dinheiro Brasil*, uma organização da sociedade civil de interesse público (oscip) que funciona como uma *fintech*, levando soluções financeiras e bancárias para todo o Território Nacional. *Fintechs* são organizações que oferecem serviços para o seu dinheiro a custos bem mais baixos do que os bancos tradicionais, usando recursos da internet (INSTITUTO E- DINHEIRO BRASIL, 2020).

O *Instituto E-dinheiro Brasil* tem sede no Conjunto Palmeiras, na periferia de Fortaleza. É a organização gestora do Banco Palmas e coordena a Rede de Bancos Digitais Solidários, com 48 bancos comunitários digitais associados em 17 Estados do Brasil. O *E-dinheiro Brasil* tem 323 estabelecimentos comerciais cadastrados em Fortaleza (CE) em diversos bairros, com tendência de aumento do seu número, facilitando, assim, os usos dos *bona* (INSTITUTO E- DINHEIRO BRASIL, 2020).

Através Por intermédio do *E-dinheiro*, todos os usuários do programa *Recicla Fortaleza* ganharam outra opção, pois trocam por bônus na conta de energia ou créditos no *E-dinheiro* (FORTALEZA, 2018).

Os ecopontos permitem os carroceiros cadastrados receber bônus por entregar entulhos, podas e volumosos (móveis, sofás, colchões e outros inservíveis), assim como na entrega de recicláveis, porém os demais cidadãos cadastrados recebem bônus somente por entregar materiais recicláveis. Nessas unidades, são recebidos outros produtos, como eletroeletrônicos, madeiras, eletrodomésticos e pneus, mas não geram créditos (FORTALEZA, 2018).

Outros programas relacionados aos ecopontos também foram e continuam implementados. Um exemplo é o programa *Planeta Limpo*, de apreensão de carrinhos de carroceiros infratores com abordagem educativa e, em caso de reincidência, perda definitiva. O programa *Planeta Limpo*, apesar de seu caráter fiscalizatório e punitivo, foi e é um importante indutor no acréscimo de carroceiros cadastrados para o programa *E-carroceiro*,

pois impelia que eles tivessem uma atitude correta no descarte dos resíduos (FORTALEZA, 2018).

Este é um programa iniciado na Secretaria Regional I, que abordava os carroceiros com descarte em locais inapropriados, com o apoio da Agência de Fiscalização de Fortaleza (AGEFIS), Guarda Municipal de Fortaleza (GMF), concessionária Ecofor e SCSP. Na Figura 15, observar-se essas apreensões do carroceiro infrator na SRI e SRIV (FORTALEZA, 2018).

Figura 15 – Programa Planeta Limpo com apreensão de carrinho de carroceiro



Fonte: Adaptado da SCSP (FORTALEZA, 2018).

Outro programa indutor para melhora do *Recicla Fortaleza e E-carroceiro* são os *ecopolos*, onde atividades - como o ciclo monitoramento, melhorias de canteiros centrais de avenidas, instalações de lixeiras subterrâneas próximas a ruas estreitas e vilas de difícil acesso a coleta regular – propiciam também um aperfeiçoamento da gestão dos RSU de Fortaleza. Os *ecopolos* têm os *ecopontos* como base de apoio (FORTALEZA, 2017).

Uma grande ferramenta de coibição e minimização de descarte clandestino com parcerias públicas-privadas foram a urbanização e a requalificação de passeios e espaços públicos com plantio de mudas de árvores; “*grafitagem*” de muros; pneus balizadores pintados como cercas e implantação de equipamentos públicos em locais onde onde era comum e rotineira a colocação inapropriada de resíduos, ou seja, nos “*pontos de lixo*”. A Figura 16 mostra algumas dessas ações antes e depois da qualificação (FORTALEZA, 2017).



Figura 16 – Requalificação de espaços públicos antes e depois na erradicação de “pontos de lixo”



ANTES

DEPOIS

Fonte: Adaptado da SCSP (FORTALEZA, 2017).

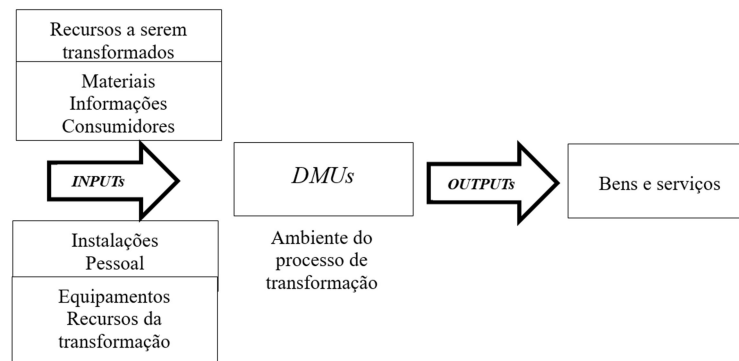
O Ecoponto é, portanto, o ambiente de muitas das ações e programas na gestão do RSU em Fortaleza, destacando entre eles os programas *Recicla Fortaleza* e *E-carroceiro*, que instigam, assim, o estudo de análise das suas eficiências, um dos objetivos desta pesquisa.

## 2.5 Análises das eficiências dos ecopontos

Toda a estrutura funcional, seja pública ou privada, utiliza insumos como materiais, mão de obra, recursos e equipamentos, que são os insumos ou entradas, denominados *inputs*, para, num ambiente de produção, transformarem em bens e serviços ou saídas, denominados, também no inglês, *outputs*. Os ambientes onde acontecem essas transformações de *inputs* em *outputs* são as unidades tomadoras de decisão, do inglês, *Decision Making Unit*, ou sua sigla, *DMU*. Portanto, todos os estabelecimentos produtivos tomam decisões de como melhor produzir, utilizando a contratação de mão de obra mais qualificada, técnicas de produção mais avançada, uso de melhores técnicas gerenciais, emprego de uma tecnologia mais avançada, entre outras práticas e meios.

A Figura 17 descreve o processo de produção das *DMUs*, baseado em Slack *et al.* (2006), onde demonstra o fluxograma de *inputs* transformados em *outputs*.

Figura 17 – Processo de transformação nas DMU's



Fonte: Adaptado de Slack *et al.* (2006).

Para entender melhor a metodologia deste trabalho, explicitam-se as definições de eficácia, eficiência e produtividade. Nas *DMUs*, as quantidades de *inputs* viáveis produzem uma quantidade de *outputs* viáveis, sendo essa relação descrita por uma função de produção (DO CARMO, 2003).

Nem todas as empresas ou *DMUs* possuem o mesmo rendimento na transformação de *inputs* em *outputs*. Por isso, há estabelecimentos mais eficazes, eficientes e produtivos. Existem, no entanto, diferenças nessas três definições. Eficácia está relacionada à capacidade que uma unidade produtora tem de atingir uma meta de produção. Produtividade é a razão ou proporção que as entradas (*inputs*) são necessárias para gerarem bens ou serviços, as saídas (*outputs*) nas *DMUs*. Eficiência é uma comparação entre os recursos disponíveis e o que foi transformado em produtos, com o que era capaz de ser produzido, utilizando a mesma quantidade de recursos das *DMUs*. De acordo com Lovell, Fried e Schmidt (1993), eficiência é a razão entre os valores alcançados e valores ótimos de *inputs* e *outputs* das unidades tomadoras de decisão. Logo, a eficiência é uma unidade comparativa das *DMUs*.

Muitos trabalhos se dedicam ao estudo da eficiência nas Unidades Tomadoras de Decisão ou *DMUs*, utilizando métodos paramétricos e não paramétricos. Nos métodos paramétricos, existe relação funcional predefinida entre recursos e o que vai ser produzido. São modelos determinísticos ou estocásticos em que sua diferença se faz pela consideração ou não do erro aleatório da estimação do modelo. Têm-se os Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) ou *Ordinary Least Squares (OLS)*, Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos (MQOC) ou *Corrected Ordinary Least Squares (COLS)* e a Análise de Fronteira Estocástica ou *Stochastic Frontier Analysis (SFA)* (BARROS, 2015).

Os métodos não paramétricos não utilizam uma maneira funcional de estimação da eficiência e empregam, em geral, técnicas de programação linear. Entre esses modelos,

existe a Análise das Envoltórias de Dados ou *Data Envelopment Analysis (DEA)*, a qual considera que o máximo que poderia ter sido produzido é obtido por intermédio do exame das unidades mais produtivas, um *benchmarking* composto por unidades similares no que diz respeito aos seus insumos (*inputs*) e produtos (*outputs*). O *benchmarking* é o processo de busca pela ótima operação das *DMUs* (DAS DORES, 2017).

O quadro 1 visualiza os modelos paramétricos e não paramétricos com e sem fronteira do *benchmarking* métrico das análises das eficiências.

Quadro 18 – Classificação das metodologias do *benchmarking* métrico

	Paramétricos	Não Paramétricos
Fronteira	Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) Mínimos Quadrados Ordinários Corrigidos (MQOC) Análise de Fronteira Estocástica (SFA)	Análise Envoltória de Dados ( <i>DEA- Data Envelopment Analysis</i> )
Sem Fronteira		Indicadores de Desempenho

Fonte: Barros (2015), p. 34.

Este trabalho utiliza técnica não paramétrica da Análise das Envoltórias de Dados ou *Data Envelopment Analysis (DEA)* na análise da eficiência.

### 2.5.1 A análise da eficiência pelo *DEA*

O *DEA* é uma técnica não paramétrica que emprega programação matemática para produzir fronteiras de eficiência das *DMUs* similares e independentes que utilizam processos tecnológicos semelhantes a fim de transformar insumos (*inputs*) em produtos (*outputs*). Ele permite medir a eficiência relativa de grupos homogêneos, criando um ranque ou escalonamento das eficiências. As fronteiras de eficiência auxiliam na avaliação relativa de cada unidade produtiva e as metas a serem alcançadas por elas (DO CARMO, 2003).

Um aspecto importante nessa técnica é a análise de múltiplos critérios da eficiência, pois se utiliza de vários indicadores na pesquisa, permitindo avaliar, assim, distintos indicadores de desempenho críticos de cada *DMUs*.

Existem várias análises envoltórias de dados ou métodos *DEA* que determinam diferentes fronteiras, sendo, porém, os mais clássicos: o *CCR* - das iniciais dos criadores Charnes, Cooper e Rhodes - e o *BCC*, das iniciais de Banker, Charnes e Cooper.

### 2.5.2 Modelo CCR

O modelo *CCR*, conhecido também como *Constant Returns to Scale (CRS)*, envolve os dados com retornos constantes de escala, em que as variações nas entradas (*inputs*) produzem variações proporcionais nas saídas (*outputs*), criando uma fronteira linear (CHARNES; COOPER; RHODES, 1978).

#### 2.5.2.1 Modelo CCR orientado a input (CCR-I)

Este modelo determina a eficiência por meio da otimização da divisão entre soma equilibrada das saídas (*outputs*) e a soma equilibrada das entradas (*inputs*), em que cada *DMU* escolhe os pesos para cada variável do modo como lhe for mais benevolente, desde que esses mesmos pesos aplicados às outras *DMUs* não produzam uma razão superior a 1. Então, de acordo com Soares de Mello *et al.* (2005), se obtém pelo modelo a eficiência relativa de acordo com seguinte relação (5):

$$\begin{aligned} \text{Máx Ef } f_o &= \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}} \\ \text{sujeito a} \\ \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} &\geq 1, \quad k = 1, \dots, n \\ u_j \text{ e } v_i &\geq 0 \quad \forall j, i \end{aligned} \tag{5}$$

em que

$\text{Ef } f_o$  = eficiência da  $DMU_0$ ;

$v_i, u_j$  - pesos de *inputs* e *outputs* respectivamente;

$x_{ik}, v_{jk}$  - *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$  da  $DMU k$ ;

$x_{io}, v_{jo}$  - *inputs*  $i$  e *outputs*  $j$  da  $DMU_0$ .

O modelo CCR é um problema de programação fracionária para cada *DMU* selecionada e a solução advém transformando num Problema de Programação Linear (PPL). Neste sentido, é mandatório que o denominador da função objetivo seja uma constante, escolhendo-se a unidade. Nesse modelo, as variáveis de decisão constituem os pesos  $v_i$  e  $u_j$ . A formulação de CCR (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005) é enunciada da seguinte maneira, em equação (6):

$$\begin{aligned} \text{Máx Ef } f_o &= \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \\ \text{Sujeito à:} \\ \sum_{i=1}^r v_i x_{io} &= 1 \\ \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} &\leq 0, \forall k \\ u_j \text{ e } v_i &\geq 0, \forall j, i \end{aligned} \quad (6),$$

em que

$\text{Ef } f_o$  = eficiência da *DMU*  $o$ ;

$v_i$  - pesos de *inputs*  $i$ ,  $i=1, \dots, r$

$u_j$  - pesos de *outputs*  $j$ ,  $j=1, \dots, s$ ;

$x_{ik}$  - *inputs*  $i$  da *DMU*  $k$ ,  $k=1, \dots, n$ ;

$y_{jk}$  - *outputs*  $j$  da *DMU*  $k$ ,  $k=1, \dots, n$ ;

$x_{io}$  - *inputs*  $i$  da *DMU*  $o$

$y_{jo}$  - *outputs*  $j$  da *DMU*  $o$

Esse modelo *DEA* CCR é chamado Modelo dos Multiplicadores orientado a *input*, sem os pesos considerados os multiplicadores (AHN *et al.*, 1988).

A solução desse problema de programação linear em cada *DMU* é procedida colocando-se pesos para certas quantidades de insumos (recursos) e produtos que definam seus planos de produção. São atribuíveis pesos zero a alguns *inputs* e *outputs* em particular, considerando que esta variável não foi considerada na avaliação.

Esse PPL é orientado a *input*, ou seja, existe a orientação da redução de insumos/recursos para que a eficiência seja atingida. Isso é mais bem-visto no dual desse modelo, o Modelo das Envoltórias descrito na expressão (7), possuindo o mesmo da função-objetivo da formulação (6) (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005).

$$\begin{aligned} \text{Min } h_o \\ \text{sujeito à:} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
h_o x_{jo} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k &\geq 0, \forall i \\
-y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k &\geq 0, \forall j \\
\lambda_k &\geq 0, \forall k
\end{aligned} \tag{7}$$

onde

$h_o$  = eficiência da  $DMU_0$  em análise;

$v_i$  - pesos de *inputs*  $i$ ,  $i=1, \dots, r$

$u_j$  - pesos de *outputs*  $j$ ,  $j=1, \dots, s$ ;

$x_{ik}$  - *inputs*  $i$  da  $DMU$   $k$ ,  $k=1, \dots, n$ ;

$y_{jk}$  - *outputs*  $j$  da  $DMU$   $k$ ,  $k=1, \dots, n$ ;

$x_{io}$  - *inputs*  $i$  da  $DMU_0$

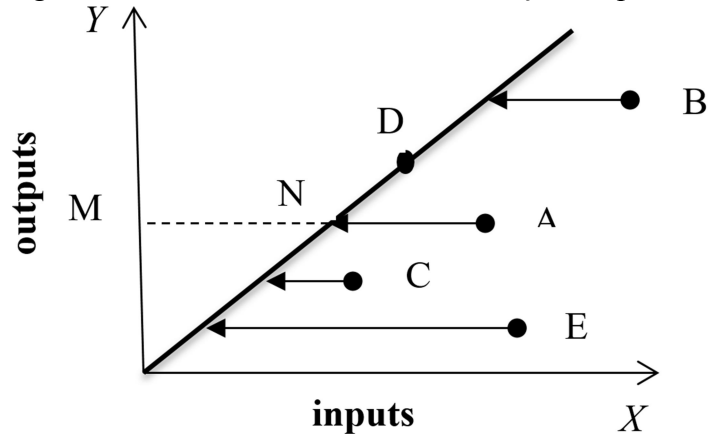
$y_{jo}$  - *outputs*  $j$  da  $DMU_0$

$\lambda_k$  é o grau de influência da  $DMU$   $k$  enquanto benchmark da  $DMU_0$  em análise,

$k=1, \dots, n$ .

A função-objetivo representa a eficiência, cujo valor deve ser multiplicado por todos os *inputs*, de modo a obter resultados que situem a  $DMU$  na fronteira eficiente, ou seja, busquem decréscimo no valor dos *inputs*. Existem dois conjuntos de restrições nesse modelo, o primeiro dos quais é a garantia de que essa redução em cada um dos *inputs* não ultrapasse a fronteira definida pelas  $DMUs$  eficientes. O segundo conjunto de restrições garante que a redução dos *inputs* não altere o nível atual dos *outputs* da  $DMU$ . No Modelo dos Multiplicadores, as variáveis de decisão constituem os pesos, ao passo que, no Modelo Envoltório, as variáveis são  $h_o$  e  $\lambda_k$ . (DAS DORES, 2017).

A Figura 18 expõe a fronteira eficiente (reta que passa pela origem) para um modelo com um *input* e um *output*, orientação *input*. Observa-se a  $DMU$  D como eficiente e as projeções das  $DMUs$  ineficientes na fronteira. As setas indicam o sentido da redução proporcional do *input*. A eficiência da  $DMU$  A é dada por  $\frac{\overleftrightarrow{MN}}{\overleftrightarrow{MA}}$  (BEZERRA, 2010).

Figura 19 – Fronteira DEA CCR orientação a *input*

Fonte: Adaptado de Bezerra (2010).

### 2.5.2.2 Modelo CCR orientado a *output* (CCR-O)

Um modelo orientado a *output* maximiza as saídas, mantendo inalteradas as entradas. Nesse modelo, são as variáveis de decisão as mesmas do modelo orientado a *input*; porém  $h_o$  representa o valor pelo qual todos os produtos devem ser multiplicados, mantendo-se constantes os insumos/recursos para a *DMU* atingir a fronteira eficiente. Logo,  $h_o$  é, um número maior do que 1, ou seja, buscam acréscimos no valor dos *outputs*, e a eficiência é o inverso  $h_o$ , dada por  $1/h_o$ . Demonstradas em equação (8), no modelo CCR, as duas orientações fornecem o mesmo valor de eficiência, no entanto com  $\lambda$  diferentes (SOARES DE MELLO *et al*, 2005).

$Max h_o$

sujeito à

$$x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$-h_o y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j$$

(8),

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

onde

$h_o$  = eficiência da *DMU*  $_0$  em análise;

$v_i$  - pesos de *inputs*  $i$ ,  $i=1, \dots, r$

$u_j$  - pesos de *outputs*  $j$ ,  $j=1, \dots, s$ ;

$x_{ik}$  - *inputs*  $i$  da *DMU*  $k$ ,  $k=1, \dots, n$ ;

$y_{jk}$  - *outputs*  $j$  da *DMU*  $k$ ,  $k=1, \dots, n$ ;

$x_{io}$  - inputs  $i$  da DMU<sub>0</sub>

$y_{jo}$  - outputs  $j$  da DMU<sub>0</sub>

$\lambda_k$  é o grau de influência da DMU  $k$  enquanto benchmark da DMU<sub>0</sub> em análise,

$k=1, \dots, n$ .

O modelo explicitado em fórmula (9) exprime o modelo *DEA* CCR orientado a *output* no formato fracionário. Na equação (10), é demonstrado o modelo linearizado. Em ambos,  $h_o = 1/\text{Ef } f_o$  (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005).

$$\text{Min } h_o = \frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}}$$

sujeito à:

$$\frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}}{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}} \geq 1, \forall k \quad (9)$$

$$u_j \text{ e } v_i \geq 0, \forall j, i$$

O modelo depois de linearizado é representado por:

$$\text{Min } h_o = \sum_{i=1}^r v_i x_{io}$$

sujeito a:

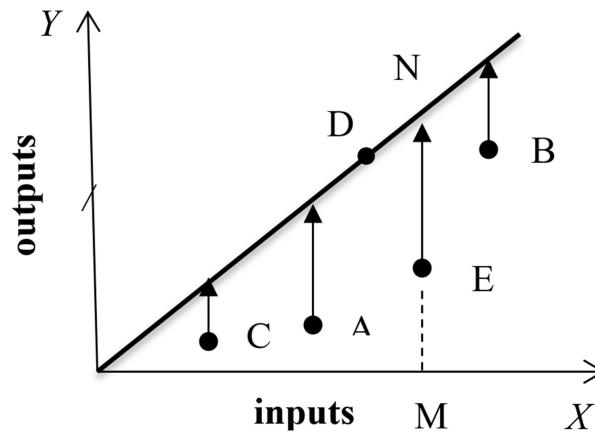
$$\sum_{j=1}^s u_j y_{jo} = 1$$

$$\sum_{i=1}^r v_i x_{ik} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} \leq 0, \forall k \quad (10)$$

$$u_j \text{ e } v_i \geq 0, \forall j, i$$

A Figura 19 demonstra a fronteira eficiente para um modelo com um *input* e um *output*, orientação a *output*. Observa-se na figura a projeção das *DMUs* ineficientes na fronteira, quando seus níveis de *outputs* são maximizados. As setas indicam a direção de aumento proporcional de *output*. A eficiência da DMU E é dada por:  $\frac{\overleftrightarrow{ME}}{\overleftrightarrow{MN}}$ . (BEZERRA, 2010).



Figura 20 – Fronteira DEA CCR orientação a *output*

Fonte: Adaptado de Bezerra (2010).

### 2.5.3 Modelo BCC

O modelo *DEA* BCC foi desenvolvido por Banker, Charnes e Cooper (1984) com retornos variáveis de escalas ou *Variable Returns to Scale (VRS)*. Aí o axioma de proporcionalidade entre *inputs* e *outputs* é modificado por convexidade. A fronteira sendo convexa no modelo *DEA* BCC possibilita que *DMUs* que operam com baixos valores de *inputs* tenham retornos crescentes de escala e as que operam com altos valores tenham retornos decrescentes de escala. Explicitado em relação (11), a convexidade da fronteira possui uma restrição adicional no Modelo das Envoltórias orientado a *input* (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005).

$Min h_o$

sujeito á:

$$h_o x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$-h_o y_{jo} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k \geq 0, \forall j \quad (11)$$

$$\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1,$$

$$\lambda_k \geq 0, \forall k$$

É demonstrado em equação (12) com orientação a *output* (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005).

$Max h_o$

sujeito à:

$$x_{io} - \sum_{k=1}^n x_{ik} \lambda_k \geq 0, \forall i$$

$$\begin{aligned}
-h_o y_{j_0} + \sum_{k=1}^n y_{jk} \lambda_k &\geq 0, \forall j \\
\sum_{k=1}^n \lambda_k &= 1 \\
\lambda_k &\geq 0, \forall k
\end{aligned} \tag{12},$$

onde em (11) e (12):

$h_o$  = eficiência da  $DMU_0$  em análise;

$v_i$  - pesos de *inputs*  $i$ ,  $i = 1, \dots, r$

$u_j$  - pesos de *outputs*  $j$ ,  $j = 1, \dots, s$ ;

$x_{ik}$  - *inputs*  $i$  da  $DMU k$ ,  $k = 1, \dots, n$ ;

$y_{jk}$  - *outputs*  $j$  da  $DMU k$ ,  $k = 1, \dots, n$ ;

$x_{i_0}$  - *inputs*  $i$  da  $DMU_0$

$y_{j_0}$  - *outputs*  $j$  da  $DMU_0$

$\lambda_k$  é o grau de influência da  $DMU k$  como *benchmark* da  $DMU_0$  em análise,

$k = 1, \dots, n$ .

Os modelos dos multiplicadores do DEA BCC, duais de equações (11) e (12) são apresentados com orientação a *input* relação (13) e *output* relação (14). Nestes modelos, as variáveis  $u_*$  e  $v_*$  para orientações *input* e *output*, respectivamente, são as variáveis duais associadas à condição  $\sum_{k=1}^n \lambda_k = 1$  e são interpretadas como fatores de escala: quando positivas, indicam retornos decrescentes de escala; se negativas, apontam retornos crescentes de escala; e, caso sejam nulas, porém, há retornos constantes de escala (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005):

$$\begin{aligned}
Máx \text{ Ef } f_o &= \sum_{j=1}^s u_j y_{j_0} + u_* \\
\text{Sujeito à:} \\
\sum_{i=1}^r v_i x_{i_0} &= 1 \\
\sum_{i=1}^r v_i x_{iK} - \sum_{j=1}^s u_j y_{jK} + u_* &\leq 0, \forall k \\
u_j \text{ e } v_i &\geq 0, u_* \in R.
\end{aligned} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
Min \text{ Ef } f_o &= \sum_{i=1}^r v_i x_{i_0} + v_* \\
\text{Sujeito à:} \\
\sum_{i=1}^s u_j y_{i_0} &= 1 \\
-\sum_{i=1}^r v_i x_{iK} + \sum_{j=1}^s u_j y_{jK} - v_* &\leq 0, \forall k \\
u_j \text{ e } v_i &\geq 0, v_* \in R.
\end{aligned} \tag{14},$$

onde

$Ef f_0$  = eficiência da  $DMU_0$ ;

$v_i$  - pesos de *inputs*  $i$ ,  $i=1, \dots, r$

$u_j$  - pesos de *outputs*  $j$ ,  $j=1, \dots, s$ ;

$x_{ik}$  - *inputs*  $i$  da  $DMU k$ ,  $k=1, \dots, n$ ;

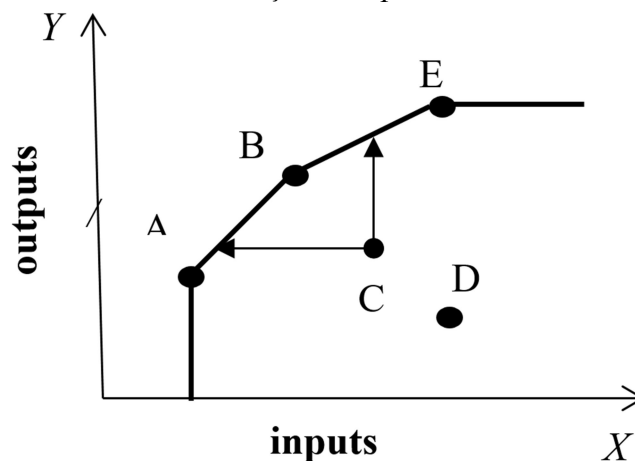
$y_{jk}$  - *outputs*  $j$  da  $DMU k$ ,  $k=1, \dots, n$ ;

$x_{i0}$  - *inputs*  $i$  da  $DMU_0$

$y_{j0}$  - *outputs*  $j$  da  $DMU_0$

A Figura 20 expõe a fronteira da eficiência de um modelo com *input* e *output*. Como visualizado, a  $DMU$  torna-se eficiente, dependendo da orientação escolhida, ou seja, a orientação das setas (BEZERRA, 2010).

Figura 21 – Fronteira DEA BBC com sua fronteira de eficiência orientação a *output*



Fonte: Adaptado de Bezerra (2010).

### 2.5.3 Pesquisas sobre DEA

A análise das eficiências dos programas *Recicla Fortaleza* e *E-carroceiro*, um dos objetivos deste ensaio, dar-se-á pelo método das Análises das Envoltórias de Dados ou, em inglês, *Data Envelopment Analysis (DEA)*. Nesse item, descrevem-se algumas pesquisas visando a uma compreensão melhor e ao desenvolvimento deste trabalho, conforme está descrito a seguir.

A primeira pesquisa sobre *DEA* foi efetivada por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), que avaliaram eficiências de programas educacionais públicos no Estados Unidos, por

meio de modelos de programação linear com métodos para determinar objetivamente pesos como referência aos dados observacionais para as múltiplas saídas e muitas entradas que caracterizam tais programas. Permiteu este modelo também a análise da eficiência por aspectos além dos objetivos educacionais, como os custos econômicos e de engenharia para implantação e manutenção dos programas. Por fim, nessa análise, busca a comparação dos dados observáveis com as situações extremas conforme eles correriam. Originou-se, com efeito, o modelo *CCR-DEA*.

Banker, Charnes e Cooper (1984) propuseram separação entre eficiência técnica e de escala por métodos desenvolvidos, sem alterar o princípio do uso do *DEA (Data Envelopment Analysis)* proposto por Charnes, Cooper e Rhodes, o método CCR, diretamente dos dados observacionais. Ineficiências técnicas foram identificadas, como falhas para alcançar os melhores níveis de saída possíveis com os usos adequados de quantidades de insumos. Métodos são demonstrados para corrigir as falhas com a introdução de uma nova variável, permitindo determinar se as operações foram realizadas nas regiões de retornos crescentes, constantes ou decrescentes de escala para entradas e saídas múltiplas em distintas situações organizacionais. Surge o método *BCC-DEA*, oriundo das iniciais dos criadores Banker, Charnes e Cooper.

Anh, Charnes e Cooper (1988) definiram que, em modelos *CCR-DEA* e *BCC-DEA*, as relações da eficiência e não eficiência em relação às *Decision Making Unit (DMU)* são modelos aditivos e multiplicativos de Análise das Envoltórias de Dados. Descobriram que *DMU* em modelos *DEA* aditivos não são necessariamente mais eficientes em modelos multiplicativos, em razão de um alongamento geométrico descoberto para esses últimos.

Yamada, Matui e Sugiyama (1994) mostraram uma fronteira invertida para a análise pelas ineficiências das *DMUs*, abrindo a possibilidade de classificá-las pelos pontos positivos e negativos. Confirmaram que essa análise realizável em modelos *CCR-DEA* ou modelos *BCC-DEA* e outros de Análise das Envoltórias de Dados pela semelhança e simetria das curvas envoltórias dos modelos clássicos e invertidos.

Entani, Maeda e Mideo (2002) formularam um modelo de *DEA* com uma eficiência de intervalo das eficiências obtidas por pontos de vista otimista e pessimista. Definiram que o modelo *DEA* convencional ou clássico avalia de maneira otimista e o *DEA* invertido mensura de modo pessimista os dados, sendo que os modelos de ineficiência de intervalo constituem o inverso dos modelos de eficiência de intervalo.

Tone (2001) propôs um protótipo baseado nas folgas (*Slacks Based Measure - SBM*) dos modelos de Análise de Envoltórias de Dados (*DEA*), lidando diretamente com os

excessos de entrada e os défices de produção da unidade de tomada de decisão (*DMU*) em foco. Determinou que as unidades são invariantes e monotônicas e que diminuem em relação ao excesso de entrada e ao défice de saída.

Do Carmo (2003) analisou a eficiência de 26 empresas de saneamento por meio da metodologia *DEA* baseada em procedimentos de programação matemática para obtenção de uma fronteira não paramétrica da eficiência. Foram analisadas com base nos dados de entrada (*inputs*) e saídas (*outputs*) aplicados às empresas de saneamento. Por meio de modelos *DEA*, escores de eficiência são obtidos da análise dos critérios de localização, retornos de escalas e indicadores técnicos, observando a ineficiência técnica maior do que a ineficiência de escala nas empresas.

Meza *et al.* (2005) criaram o Sistema de Apoio à Tomada de Decisão (SIAD), um programa que utiliza modelos *DEA* para resolver problemas de programação linear na avaliação da eficiência das unidades tomadoras de decisão (*DMUs*). Elaborado para ser utilizado em sistemas operacionais Windows da empresa Microsoft, foi escrito com linguagem de programação Delphi 7.0.

Soares de Mello *et al.* (2005) desenvolveram um artigo em forma de curso sobre *DEA* com descrições das formulações dos modelos *DEA CCR* e *DEA BCC*, características, propriedades, fronteira inversa e exemplos de aplicações dos modelos.

Leta *et al.* (2005) analisaram a qualidade de máquinas por intermédio da *DEA*, onde vários erros das medidas de fabricação são incorporados a uma medida única sem o uso de avaliações subjetivas. O modelo *CCR DEA* é proposto na análise, assim como novas técnicas, entre elas a eficiência composta e a eficiência normatizada.

De Almeida, Mariano e Rebelatto (2006) desenvolveram a Análise por Envoltória de Dados (*DEA*) como uma técnica que auxilia as empresas na tomada de decisão, visando à busca da sua eficiência. Explicitaram a origem, evolução e os diversos modelos, assim como o seu campo de aplicação.

Cooper, Seiford e Tone (2007) publicaram livro com informações compreendendo modelos, aplicações e referências sobre a Análise de Envoltórias de Dados (*DEA*) e mostraram parâmetros para o programa *DEA-Solver* nas soluções dos diversos modelos.

Valdevino *et al.* (2010) definiram que a precariedade ou ausência de saneamento básico afetam o combate de endemias, principalmente as doenças de veiculação hídrica. Mediante a Análise de Envoltórias de Dados (*DEA*), investigaram a eficiência dos municípios do Estado de Tocantins no combate às endemias com suporte nos serviços de saneamento

básico em 2006, concluindo com base nos dados obtidos por uma realidade caracterizada pela precariedade desses serviços.

Bezerra (2010) utilizou um modelo *CCR DEA* orientado a *input* e *output* para analisar a eficiência dos *links* de uma empresa comercial e industrial de informática no Ceará, possuidora de uma matriz e dez filiais interligadas via internet. A aplicação do modelo mostrou-se como importante meio para auxílio na tomada de decisão no tratamento e acompanhamento dos *links* de dados da empresa.

Huang *et al.* (2011) propuseram um indicador agregado formado por cinco indicadores de desempenho dos sistemas coleta de RSU dos governos locais de Taiwan. Por meio do *DEA*, foram definidas as eficiências relativas de cada sistema e os seus pesos na composição do indicador agregado.

Rogge e De Jaeger (2012) usaram o modelo *DEA* orientado a *input* para analisar a eficiência dos sistemas de coleta e tratamento das múltiplas frações dos resíduos municipais da região de Flandres, na Bélgica, em 2008. Os *inputs* eram os custos e os *outputs* as frações - como os resíduos volumosos, embalagens, podas e cortes de árvores. Após análise, se estabeleceu um escalonamento das eficiências encontradas nos municípios.

Rogge e De Jaeger (2013) utilizaram o método *DEA* para avaliar a eficiência dos custos dos sistemas de coleta e tratamento das frações dos resíduos domésticos em Flandres, na Bélgica. Para mostrar a robustez da aplicação do *DEA* na avaliação, empregaram outros *outputs* - como as características geográficas, demográficas e econômicas de cada município, além das frações dos resíduos produzidos. Foram estabelecidos três cenários de avaliação das eficiências dos custos pelo *DEA* de cada município, trocando os *outputs* e permanecendo como *input* o custo operacional.

Silva (2015) operou uma otimização do sistema logístico de recuperação de pneus, por meio da metodologia multicritério do *DEA*, da análise de dados - como custo de implantação, aspectos sociais, de saúde e segurança pública. Definiu quais os bairros mais propícios para a localização dos pontos de recebimentos deles, contribuindo, assim, com a logística reversa desse material.

Das Dores (2017) propôs a análise da eficiência das 19 policlínicas do Estado do Ceará, utilizando a Análise de Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis, DEA*) associada à ponderação entre fronteira de *DEA* clássica ou otimista e invertida ou pessimista, concluindo que o uso da eficiência relativa das *DMUs* é um recurso importante para auxiliar o processo decisório mediante o emprego do *DEA* na área de saúde.

Araújo, Paixão e Paixão (2018), por intermédio de dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), avaliaram a eficiência dos sistemas de coleta de resíduos sólidos de municípios paraibanos em 2014, com o uso da metodologia não paramétrica da *DEA*, e seus modelos *DEA C* e *DEA V*. A análise das eficiências mostrou-se como uma importante metodologia na avaliação de práticas de administração.

Agovino *et al.* (2018) investigaram o desempenho de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos de províncias italianas, de 2004 a 2011, adotando modelos investigativos baseados em *DEA*. Os dados de *outputs* foram as quantidades de resíduos recicláveis e não recicláveis para cada cidade, sendo o Modelo I os *inputs* dados externos como indicadores econômicos e estrutura das cidades, e o Modelo II foram os fatores sociodemográficos, enquanto o III representou uma junção entre fatores dos governos locais e ações dos cidadãos. Os melhores desempenhos foram as províncias com melhor interação governo local/seus cidadãos.

Pérez-López, Prior e Zafra-Gómez (2018) analisaram a eficiência em escala de longo prazo do sistema de disposição de resíduos sólidos em cidades espanholas, de 2002 a 2014, por via de modelos *DEA*. Os *inputs* foram os custos correntes dos municípios e os custos com a coleta dos resíduos, enquanto os *outputs* foram quantidade de resíduos coletados, número de contêineres instalados e periodicidade de contêineres coletados. Foram realizados escalonamento das eficiências e divisões dos sistemas em públicos, consórcios intermunicipais ou concessões intermunicipais privadas e por número de habitantes.

Fidelis e Colmenero (2018) estudaram o potencial da cadeia de resíduos recicláveis por meio da cooperativa de catadores. Utilizando um modelo *DEA SBM*, regressão Tobit e teste de Kruskal-Wallis, analisaram o desempenho gerencial das cooperativas em uma cidade de médio porte do Brasil, Londrina, no Estado do Paraná. Os resultados demonstraram a necessidade de manter e aumentar as ações públicas, no intuito de integrar cooperativas e catadores para assegurar maior controle na coleta, produção e comercialização dos materiais recicláveis.

Expósito e Velasco (2018) enfocaram a análise de sistemas da gestão de RSU das regiões espanholas com modelos *DEA*, levando em consideração os objetivos estabelecidos pela União Europeia e legislação espanhola para reduzir a produção de RSU e aumentar a coleta de resíduos recicláveis. Utilizaram *DEA* de múltiplas saídas (*outputs*) e, após escalonamento, compararam os resultados das regiões eficientes com as deficientes.

Sarra *et al.* (2019) abordaram a avaliação da eficiência dos sistemas de gerenciamento municipais de resíduos sólidos por meio de aspectos ambientais e econômicos.

Para isso, usaram modelos *DEA CCR* e *DEA BBC* orientados a *output*. Determinaram uma avaliação espacial dos municípios investigados e observaram que, sem elas, os julgamentos dos resultados sairiam distorcidos da realidade.

## **2.6 Análises das influências locais dos ecopontos**

O segundo objetivo desta pesquisa é a definição das áreas das influências locais dos ecopontos em Fortaleza e foi realizada com programas computacionais do *Geograph Information System (GIS)* ou Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com o uso de modelos baseados nos polígonos de Voronoi.

Para entender-se a fundamentação do modelo proposto, algumas definições preliminares sobre SIG e seus componentes fazem-se necessárias, com o objetivo de se visualizar seus significados.

### **2.6.1 Descrição dos SIG**

Os sistemas de informações geográficas (SIG) são os mesmos *GIS Geograph Information Systems*, expressão, também, em uso corriqueiro nos dias atuais. Os *GIS* são sistemas de informações dedicados a trabalhar com dados referenciados de coordenadas espaciais. São normalmente integrados por programas e técnicas de análise, que têm como propriedade principal associar uma informação de interesse com sua localização espacial. Os aplicativos de *GIS* permitem a manipulação de dados geograficamente referenciados e seus respectivos atributos e a integração desses dados em diversos procedimentos de análise geográfica (PIROLI, 2010).

Os SIG normalmente têm três aplicações fundamentais na área geográfica.

1. Ferramenta para produção de mapas com a geração e visualização de dados espaciais.
2. Suportes para análise espacial de fenômenos para a combinação de informações espaciais.
3. Bancos de dados geográficos, que têm por funções o armazenamento e a recuperação de informações espaciais (PIROLI, 2010).

O termo *geoprocessamento* difere de *SIG*, e está relacionado a um conjunto de tecnologias que possibilitam manipulação, análise, simulação de modelagens e visualização de dados georreferenciados. Uma antiga técnica de sobrepor mapas traçados sobre lâminas



transparentes ou papel vegetal constitui uma técnica de geoprocessamento sem sofisticação. Os *GIS*, entretanto, são mais sofisticados e envolvem computação gráfica e possuem os seguintes componentes:

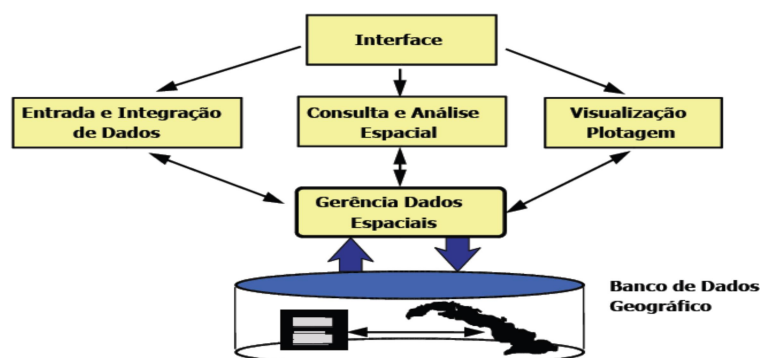
- a) *hardware* ou plataforma computacional utilizada;
- b) *software* ou programas, sistemas ou módulos vinculados;
- c) dados que são as informações obtidas por investigação; e
- d) usuários - pessoas que obtêm os dados e os manipulam pelo *software* (FITZ, 2008).

Uma definição mais completa de um *GIS* descrita como um conjunto de ferramentas computacionais que, operando sobre uma base de dados integrada, possibilita a realização de análises e cálculos que variam desde a álgebra cumulativa (operações de multiplicação, soma, subtração e outros) até álgebra não cumulativa (operações lógicas), viabilizando a elaboração de mapas politemáticos (possuem dados qualitativos e quantitativos), reformulações e sínteses sobre dados ambientais disponíveis, tornando-se instrumento de grande aptidão para o estabelecimento de estudos integrados (COELHO, 2009).

Existem muitas plataformas *SIG* com amplas aplicações, sendo algumas comerciais - como ArcGIS, MapInfo, Idrisi Taiga, ER Mapper, Envi e Geomedia, e outros com código fonte abertos - como o Sistema de Análise Geoambiental (SAGA), Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), Grass, gvSIG, ILWIS e QGIS. O Quantum GIS (QGIS) é a plataforma utilizada nesta pesquisa (PIROLI, 2010; SILVA *et al.*, 2016).

A Figura 21 define as relações entre as partes componentes de um *SIG* que constituem a sua estrutura.

Figura 22 – Estrutura e relações entre componentes de um *SIG*



Fonte: Adaptado de Câmara e Ortiz (2002).

O banco de dados geográficos é parte importante em um sistema SIG, sendo constituído de dados espaciais e alfanuméricos. Os alfanuméricos são vinculados aos dados espaciais por códigos identificadores dentro de um sistema SIG (FITZ, 2008).

Os dados espaciais são aqueles com representação gráfica, contendo imagens, mapas temáticos e planos de informações (PIs). A sua estrutura de mostra ocorre de duas maneiras - vetorial e matricial (FITZ, 2008).

A estrutura vetorial (*vector structure*) é composta por três formas primitivas: pontos, linhas e polígonos, utilizando um sistema de coordenadas para representá-los. Os pontos são pares de coordenadas e as linhas e polígonos conjuntos de pares de coordenadas. Cada entidade dessa representação está associada a um atributo digital ou banco de dados alfanuméricos. São representados em geral em formato *shapefile* (FITZ, 2008).

A estrutura matricial é armazenada em formato de matriz ou grade (*raster structure*) com linhas em colunas, sendo cada célula denominada de *pixel* (contração de *picture element* ou elemento da imagem). São os dados advindos de sensoriamento remoto - como fotografias aéreas digitais, imagens de satélite ou mapas digitalizados. Sensoriamento remoto é uma técnica de captura e registro à distância de dados geográficos sem contato com a superfície terrestre. Não são precisos como os vetoriais e sua precisão aumenta de acordo com a resolução da imagem ou tamanho dos *pixels*. Geralmente, têm formato TIFF (*Tagged Image File Format*), JPEG (*Joint Photographic Expert Group*) ou PNG (*Portable Network Graphics*) com suas extensões, arquivos dos tipos *.tif*, *.jpeg* e *.png*, respectivamente (FITZ, 2008).

### **2.6.2 Pesquisas sobre polígonos de Voronoi**

Nesta revisão bibliográfica, descrevem-se as principais pesquisas e estudos que norteiam esta pesquisa sobre polígonos de Voronoi..

A primeira pesquisa foi feita por Voronoi (1908), que definiu o espaço tridimensional como dividido em variados espaços, compostos de poliedros convexos, e estão intimamente relacionados à teoria aritmética das formas quadráticas positivas. Abriu-se, assim, o espaço para as partições de Voronoi, onde os pontos mais extremos de cada célula do espaço geográfico dividido é a menor possível para o ponto gerador que o define.

Thiessen (1911), baseado em modelo proposto por Voronoi (1908), estabeleceu polígonos para as diversas áreas de precipitação onde estavam situados os pluviômetros. Com isso, dividiu-se o espaço de grandes áreas para serem medidas em espaços menores de acordo

com as precipitações mensuradas em cada estação chuvosa. Quanto maiores as médias de precipitação maiores seriam proporcionalmente as áreas de influência de cada estação pluviométrica. Surgiu aqui a ideia de triangulação de áreas por aproximações. Muitos algoritmos de *GIS* calculam os polígonos de influência por Thiessen ou Voronoi com resultados assemelhados, usando o princípio da distância mínima.

Rezende, Almeida e Nobre (2000) usaram os polígonos de Voronoi para definir as áreas de abrangência de 21 hospitais públicos da cidade do Rio de Janeiro. Utilizaram um método ponderado e delimitaram as diversas áreas, considerando como fontes geradoras os pontos de localização de cada hospital.

Moura (2009) utilizou os polígonos de Voronoi para definição das áreas de influências das escolas públicas em Ouro Preto-MG, empregando a técnica para apoio a estudos ambientais e urbanos e área de influência de fenômenos. Manuseou cenários por intermédio da técnica dos polígonos de Voronoi e Análise de multicritério para tratamento dos dados e planos de informações em pesquisas urbanas.

Carnascialli (2010) empregou os polígonos de Voronoi para definição de áreas de abrangência ou influência, considerando as barreiras lineares e fechadas como obstáculos. Utilizou os diagramas de Voronoi ordinário e com potência dependendo dos pontos geradores com o uso de pesos, levando em conta os obstáculos físicos. Foram manipulados dados das agências bancárias do HSBC Bank Brasil S/A, no Município de Curitiba.

Remm (2011) explicitou que os polígonos de Voronoi têm diversas aplicações na ciência e tecnologia. Eles representam a decomposição do espaço em células induzidas pela distância em função dos pontos geradores. O autor afirmou a estabilidade do modelo em espaços euclidianos infinitos e que este modelo denota algumas mudanças ou instabilidades nas fronteiras das células, determinadas por erros na localização dos pontos geradores e/ou combinação de cálculos numéricos dos algoritmos. Demonstrou isso em exemplos reais e teóricos.

Cui *et al.* (2012) delimitaram a área de influência de comércio varejista por meio de modelos de Thiessen, sucessor dos polígonos de Voronoi, considerando obstáculos ao acesso às linhas de tráfego das vias na cidade de Toronto, no Canadá. Com isso consegui uma otimização na tomada de decisões do dia a dia operacional das unidades do comércio varejista, de acordo com a localização das lojas das cadeias de *fast food*.

Moreno-Regidor, Lacalleb e Manso-Callejo (2012) propuseram a repartição do espaço geográfico por meio dos polígonos de Voronoi com o uso de pesos a cada interação nos pontos geradores, sendo este método aplicado na agricultura extensiva de três municípios

de Castela-La Mancha (Espanha) e estabeleceram que o procedimento heurístico proposto é válido para resolver este tipo de problema de particionamento. Concluíram que a posição do ponto gerador é susceptível de operar grande influxo na área resultante deste particionamento.

Gaudalupe e Moura (2014), com os usos dos polígonos de Voronoi e Análise Multicritério, identificaram as áreas de influências dos polos de Educação de Jovens e Adultos (EJA) na cidade de Divinópolis, Minas Gerais, para, por via de dados alfanuméricos institucionais transformados em análise espacial com o uso de GIS, apoiarem a tomada de decisões sobre as estratégias de alocação e expansão destes polos.

Albuquerque *et al.* (2014), recorrendo à técnica dos polígonos de Voronoi, definiram as áreas de influência das escolas de João Pessoa, descobrindo a grande oferta na região centro-oeste e a menor oferta nas regiões norte e sul da cidade.

Wang *et al.* (2014) delimitaram Zonas de Análise de Trânsito, empregando os polígonos de Thiessen, baseados em polígonos de Voronoi, tendo como pontos geradores as paradas de ônibus da cidade de Pequim, na China. Após a decomposição da área espacial, analisaram a quantidade de domicílios, definindo por aproximação a população em cada polígono. Se os pontos geradores estiverem muito próximos às fronteiras de cada polígono, há possibilidade de ocorrer imprecisão nas previsões do fluxo de pessoas nas áreas.

Pedrosa *et al.* (2015), com o uso da técnica dos polígonos de Voronoi, analisaram os casos de *Acquired Immunodeficiency Disease Syndrome* (AIDS) ou síndrome da imunodeficiência adquirida, com o cruzamento no número de casos da doença dos anos de 2001 a 2011 no Estado do Ceará, e localização das unidades especializadas de ajuda aos doentes com essa enfermidade. Descobriram elevada concentração dos serviços de auxílio aos pacientes na região metropolitana da Capital do Estado, apesar da alta incidência de casos no noroeste do Ceará e oeste dos sertões cearenses.

Grzesica (2016) propôs o uso dos polígonos de Voronoi para definição da área de abrangência dos centros de distribuição das 16 regiões administrativas da Polônia, por ser a localização dos pontos geradores a menor distância das fronteiras dos polígonos criados. Fez-se, portanto, o uso desse meio para localização dos centros logísticos de distribuição das regiões administrativas na posição dos pontos geradores, diminuindo, assim, o tempo de transporte e custo de entrega.

Caneloro, Lekkas e Sørensen (2017) propuseram, com o uso dos polígonos de Voronoi, uma rota segura para os navios, tendo com diminuição das áreas de abrangências obstáculos impeditivos ao seu tráfego - como formações de corais e as águas rasas. Diversos pontos das rotas são determinados como os pontos geradores. Definiram com isso um

caminho seguro para a passagem dos navios, evitando, assim, acidentes e colisões inesperadas.

Kastrisios e Tsoulos (2018) dividiram o espaço aéreo mundial com o emprego da localização de 891 aeroportos do Mundo como pontos geradores, utilizando a técnica dos polígonos de Voronoi, criando, assim, áreas de influência onde as fronteiras dos polígonos são a menores distâncias dos pontos geradores.

Pokojski e Pokojska (2018) relataram sobre a vida de Gregory Voronoi e sua descoberta e aplicação dos métodos dos diagramas ou polígonos de Voronoi em diversas aplicações científicas. Com o advento do computador, a disseminação ocasionou o seu uso na pesquisa do espaço geográfico em muitos sistemas GIS.

Ramos *et al.* (2018) utilizaram 24 sensores para análise da poluição do ar na cidade de Madri, Espanha e, por via da aplicação do método dos polígonos de Voronoi, delimitaram as suas áreas de abrangência, conseguindo com as análises dos dados dos sensores estabelecer rotas de trânsito livre da poluição.

Davis, Gaurav e Krishna (2018) propuseram a divisão do espaço geográfico mediante os polígonos de Voronoi para as cidades de Bengaluru (Índia) e Nova Iorque, (EUA) baseada na demanda por táxi nas duas cidades. Nesta modelagem, as áreas de influência diminuiriam ou aumentariam de acordo com os dados estatísticos das suas demandas nelas, com isso, aproximando da realidade os modelos.

Yu *et al.* (2020) dividiram as áreas de influências das instalações dos corpos de bombeiros na cidade de Nanjim, China, aplicando a técnica dos polígonos de Voronoi. Propuseram como aumentativo ou diminutivo dos polígonos gerados o tempo de resposta aos sinistros, levando em consideração a malha viária e os dados estatísticos das ocorrências de incêndios na mencionada sede.

### 3 METODOLOGIA

Este capítulo revela e descreve as metodologias utilizadas para avaliar o desempenho operacional dos ecopontos na cidade de Fortaleza, por intermédio da técnica *Data Envelopment Analysis (DEA)* ou Análise das Envoltórias de Dados de dois programas desenvolvidos neles: *Recicla Fortaleza* e *E- carroceiro*.

Outra metodologia também explicitada neste segmento da tese é a análise das influências locacionais dos ecopontos por meio de sistemas *GIS* com o uso dos polígonos de Voronoi.

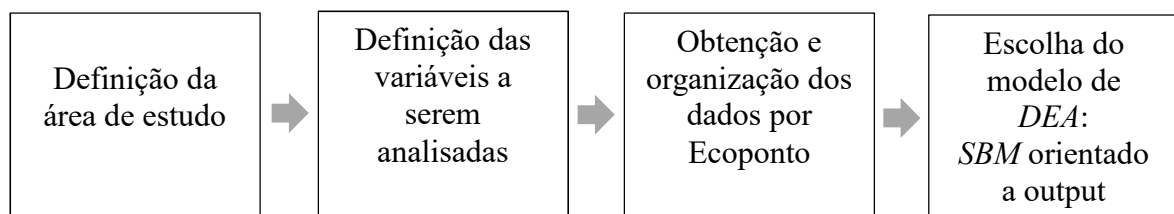
Os modelos computacionais empregados são descritos de acordo com os objetivos previstos no capítulo 1 desta pesquisa.

#### 3.1 Fluxograma da metodologia da análise do desempenho operacional dos ecopontos

Inicialmente será mostrado o fluxograma com as três fases que envolvem a análise do desempenho operacional dos ecopontos pelo *DEA*. Após a exibição de cada fase, são descritos sucintamente os distintos passos que as constituem.

A fase I ou inicial corresponde à fase exploratória de dados e modelo onde são definidos os passos iniciais para modelagem pelo *DEA*. A figura 22 expressa essa fase com as suas etapas.

Figura 23 – Fase exploratória de dados e modelo *DEA* (fase I).



Fonte: Elaboração própria (2021).

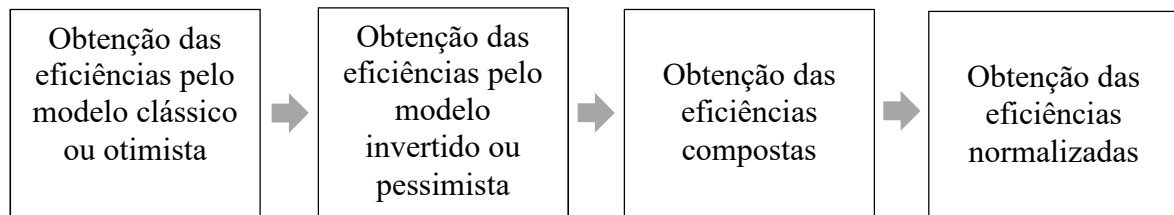
As etapas da fase I são assim descritas:

- a) definição da área de estudo como local, objeto a ser modelado no caso os ecopontos em Fortaleza e seu quantitativo;
- b) definição das variáveis escolhidas que melhor representem as operações dos ecopontos;
- c) obtenção e organização dos dados por Ecoponto através de pesquisa de campo;

d) escolha do modelo de *DEA* a ser aplicado, no caso, *SBM* com orientação a *output* com taxas variáveis e definição de quais variáveis serão *inputs* ou *outputs*.

Na fase II ou intermediária corresponde àquela em que ocorre a modelagem dos dados com a obtenção das eficiências dos ecopontos. A Figura 23 explicita essa fase com os seus passos.

Figura 24 – Fase da modelagem dos dados pelo *DEA SBM* orientado a *output* (fase II).



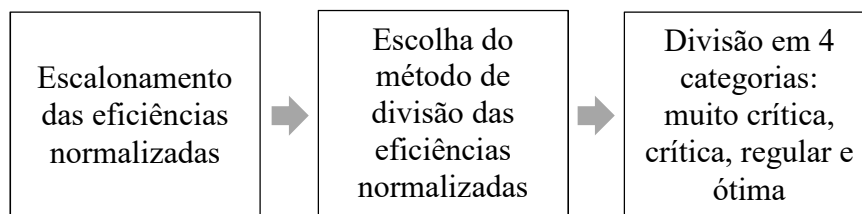
Fonte: Elaboração própria (2021).

Eis os passos da fase II ou intermediária, com as modelagem dos dados a serem aplicados, no caso, *SBM* com orientação a *output* com taxas variáveis:

- a) obtenção das eficiências dos ecopontos pelo modelo clássico ou otimista;
- b) obtenção das eficiências pelo modelo invertido ou pessimista para resolver a baixa discriminação;
- c) obtenção das eficiências compostas ou de visão intermediária; e
- d) obtenção das eficiências normalizadas.

As etapas da fase III ou final constituem o escalonamento das eficiências para tomadas de decisão. A figura 24 as indica.

Figura 25 – Fase do escalonamento das eficiências para tomada de decisão (faseIII).



Fonte: Elaboração própria (2021).

As etapas da fase III ou final com escalonamento das eficiências normalizadas estão na sequência:

- a) escalonamento crescente das eficiências normalizadas por um critério positivo;

- b) escolha do método de divisão das eficiências escalonadas, no caso, em quartis pelo método incluso; e
- c) divisão em quatro intervalos ou categorias para auxílio na tomada de decisão pelos gestores com base nas eficiências escalonadas, sendo os níveis nominados de muito crítico, crítico, regular e ótimo.

### 3.2 A análise do desempenho pelo *DEA*

A análise do desempenho operacional pelo *DEA*, baseado nas suas características e propriedades, resultou na escolha do modelo *SBM*, pois é o que melhor se adequa para avaliação da eficiência operacional dos ecopontos.

#### 3.2.1 Modelo *SBM*

O modelo *DEA Slacks-Based Measure (SBM)*, proposto por Tone (2001) incorpora folgas intrínsecas a cada *DMU*, sendo indicado para avaliar *DMUs* que tenham diferenças de tamanho entre si. A solução desse modelo do Problema de Programação Linear (PPL) é expressa pela seguinte equação (15).

$$\text{Min } \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{s_i^+}{y_{ro}}} \quad (15),$$

sujeito a

$$x_o = X\lambda + s^-$$

$$y_o = Y\lambda - s^+$$

$$\lambda \geq 0; s^+ \geq 0; s^- \geq 0$$

onde

$\rho$  é a eficiência das *DMUs*

$\lambda$  são os pesos dos *inputs* e *outputs*

$s^-$  são as folgas dos *inputs*

$s^+$  -são as folgas dos *outputs*



Quando  $\rho = 1$ , as *DMUs* são consideradas eficientes. Assim, há unidades ineficientes em  $\rho < 1$  e estão abaixo da fronteira, ou são passíveis de estar sobre a fronteira ( $\rho = 1$ ) e apresentarem de exibir folga (TONE, 2001).

Este modelo admite duas propriedades: P1) a aferição da eficiência é invariável (constante) em relação à unidade de análise de cada *input* e *output*, ou seja, numerador e denominador da equação (15) medem-se na mesma unidade; e P2) em cada folga de *input* e *output*, a mensuração é classificada como monotônica e decrescente, ou seja, mantendo constantes os demais termos, o valor da função-objetivo reduz após aumentos em  $s_i^-$  e  $s_r^+$  (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007).

O modelo *SBM* é capaz de assumir orientações a *input*, *output* e também nenhuma orientação. Utiliza-se neste trabalho o modelo *SBM* orientado a *output*, cuja equação (16) é expressa (COOPER; SEIFORD; TONE, 2007):

$$\rho_0^* = \min_{\lambda, s^+} = \frac{1}{1 + \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \frac{s_r^+}{y_{ro}}} \quad (16),$$

sujeito a

$$y_o = Y\lambda - s^+$$

$$\lambda \geq 0; s^+ \geq 0$$

onde

$\rho$  - é a eficiência das *DMUs*,

$\lambda$  - são os pesos dos *inputs* e *outputs*,

$s^+$  - são as folgas nos *outputs*.

### 3.2.2 Características do DEA

O modelo *DEA* tem como objetivo primordial comparar certo número de *DMUs* que realizam tarefas similares e se diferenciam unicamente nas quantidades dos recursos consumidos e das saídas produzidas. Além desse, possui outros objetivos (SOARES DE MELLO *et al.*, 2005), destacados na sequência.

- Identificar as *DMUs* eficientes, medir e localizar a ineficiência e estimar uma função de produção linear por partes, que provê o *benchmark* (referência) para as *DMUs* ineficientes. Identificadas a origem e a ineficiência relativa de cada uma das *DMUs*, é possível observar qualquer de suas dimensões relativas a entradas

e/ou saídas. A fronteira de eficiência é formada pelo conjunto de *DMUs* eficientes.

- Determinar a eficiência relativa das *DMUs*, observando cada uma relativamente a todas as outras que constituem o grupo a ser estudado. Desse modo, o *DEA* em muitas situações é utilizado na dificuldade da ordenação como ferramenta multicritério de apoio à decisão, já que estabelece uma relação de pré-ordem entre as *DMUs*.
- Subsidiar estratégias de produção que maximizam a eficiência das *DMUs* avaliadas, melhorando as ineficientes por meio da determinação de alvos.

Os modelos *DEA* têm propriedades comuns e outras individuais, mas possuem algumas limitações. Algumas de suas características são (DAS DORES, 2017; BEZERRA, 2010):

- cada *DMU*, em qualquer modelo *DEA*, escolhe seu conjunto de pesos, pois a eficiência calculada é única para cada *DMU*, atribuindo-se, portanto, pesos diferentes aos *inputs* e aos *outputs* em relação às demais *DMUs* observadas;
- todos os modelos são invariantes em escala de medida, ou seja, os *inputs* e os *outputs* são mensuráveis em distintas unidades, sem alterar o índice de eficiência;
- A *DMU* que exprimir a melhor relação *output/input* será sempre eficiente em qualquer modelo *DEA*;
- por ser uma técnica de ponto extremo, ruídos, tais como erros de medição, são capazes de comprometer a análise;
- o *DEA* é sensível ao número de *inputs* e *outputs* manuseados na formulação do problema, assim como ao tamanho da amostra de *DMUs* observadas. Aumentando o tamanho da amostra, propicia uma tendência de se reduzir a média das pontuações de eficiência da amostra, porque um maior número de *DMUs* permite encontrar um maior número de *DMUs* na fronteira. Quando, no entanto, o número de *DMUs* é pequeno em relação à soma do número de *inputs* e *outputs*, a média de eficiência da amostra tende a aumentar.

### 3.2.3 A área do estudo

A área do estudo definida para a análise da eficiência operacional por meio do *DEA* são 49 (quarenta e nove) ecopontos instalados na cidade Fortaleza. A análise se focará

no exame de dois programas operacionais que ocorrem nos ecopontos: o *Recicla Fortaleza* e o *E-carroceiro*, explicitados no item 2.4.4 deste trabalho.

O quantitativo de 49 (quarenta e nove) Ecopontos foi escolhido pelo fato de ser esse o número final de ecopontos inaugurados até dezembro de 2018, menos dois deles, tendo-se, com isso, uma análise dos 12 meses de funcionamentos dos ecopontos, de janeiro a dezembro de 2019. Os ecopontos Serrinha e São João do Tauape foram excluídos da análise por não estarem inclusos em nenhum dos dois programas, apesar de terem sido instalados antes do começo do ano de 2019.

Vale salientar que o modelo *DEA* analisa relativamente cada *DMU*, neste caso, o ecoponto, um em relação aos outros, sendo assim necessário que ocorra a mesma variação temporal para não comprometer a análise.

A cidade de Fortaleza, até dezembro de 2019, tinha 67 (sessenta e sete) ecopontos, mas possui uma perspectiva de inaugurar mais, pois a meta, segundo programa da Prefeitura de Fortaleza, seria estabelecer, pelo menos, um em cada bairro (FORTALEZA, 2019).

### **3.2.4 A escolha do modelo DEA**

A escolha do modelo DEA deve atentar para três etapas. A primeira é quais são as *DMUs* analisadas. A segunda relaciona-se com as variáveis escolhidas que devam ser relevantes e apropriadas para definir a eficiência relativa das *DMUs* selecionadas. A última etapa é a escolha de qual modelo *DEA* mais apropriado e qual a sua orientação, se será *input* ou *output* (DE ALMEIDA; MARIANO; REBELATTO, 2006).

A primeira etapa já é definida como sendo as *DMUs* os 49 (quarenta e nove) ecopontos na cidade de Fortaleza, unidades semelhantes que utilizam processos tecnológicos similares para transformar *inputs* em *outputs*.

#### **3.2.4.1 As variáveis escolhidas**

A escolha das variáveis é uma etapa importante na modelagem por *DEA* e alguns fatos relevantes devem ser considerados:

- a) se a variável está levando informação primordial que não tenha sido incluída em outras variáveis;
- b) se a variável está conectando ou cooperando para um ou mais objetivos da aplicação; e
- c) se os dados da variável são verdadeiros e seguros (BEZERRA, 2010).

As variáveis escolhidas baseadas nas premissas anteriores tiveram os seus dados retirados dos programas *Recicla Fortaleza* e *E- carroceiro*. Na determinação de quais variáveis utilizar, deve-se atentar para aquelas que representam os respectivos programas e há que se definir seus processos.

Neste contexto, é considerada a variável entulho como a quantidade de entulho oriundo da construção civil colocada nos ecopontos. As somas das podas e cortes de espécies vegetais com os resíduos inservíveis - como mobílias velhas e outros utensílios sem serventia - geladeiras, fogões e outros - doravante serão chamadas variável **volumosos**. Considerados, também, como variáveis são os óleos residuais provenientes das frituras dos alimentos, o OGR (OGR- óleos e gorduras residuais). Os recicláveis são compostos pela soma dos resíduos de papel, papelão, plásticos, metais e vidros, que constituem o restante das variáveis a serem analisadas pelos seus quantitativos físicos.

Outros dados analisados e considerados variáveis também são as bonificações provenientes dos programas *Recicla Fortaleza* e *E-carroceiro*. Existem dois tipos de bônus: os recebíveis em espécie pelo sistema *E-dinheiro* explicitado no item 2.4.4, por meio do Banco Palmas, e os abatimentos na conta de energia, concedidos pela concessionária de distribuição de energia elétrica, no caso da cidade de Fortaleza, a ENEL S/A (FORTALEZA, 2019).

O programa *Recicla Fortaleza* está envolvido, basicamente, com os resíduos recicláveis, como papel, papelão, plásticos, metais e vidros e OGR, sendo que a maioria das bonificações resulta em abatimentos na conta de energia. O usuário deste programa opta pelo recebimento em *E-dinheiro* também, mas poucos o fazem. Este programa é acessível a toda a população (FORTALEZA, 2019).

O programa *E-carroceiro* destina-se exclusivamente ao trabalhador reciclador que retira os resíduos como entulho e volumosos e troca por bônus em *E-dinheiro*. Os carroceiros ou “carrinheiros”, ou seja, que utilizam carrinhos de pneus para levar resíduos por tração humana, participam também do programa *Recicla Fortaleza*. Todos nesse programa são previamente cadastrados. O restante da população da cidade leva seus resíduos de entulho e volumosos para ao ecoponto, mas não são bonificados por isso (FORTALEZA, 2019).

Os dados de produção dos entulhos, volumosos, OGR e recicláveis são fornecidos diariamente pela concessionária Ecofor aos órgãos municipais, como a SCSP e ACFOR, mediante senhas disponibilizadas pelos sistemas. Todos os dados primários são retirados de balanças eletrônicas em cada ecoponto e transmitidos via rede *GRPS* (*General Packet Radio*

*Service*), sistemas de transmissão via telefonia móvel de “pacotes” de dados por meio de *chips* de aparelhos celulares nas máquinas leitoras dos ecopontos (FORTALEZA, 2019).

Os dados são convertidos em planilhas eletrônicas, que se analisou e retirou para emprego nesta investigação. Um exemplo de planilha eletrônica com dados mensais do Ecoponto Fátima é mais bem visualizado na Tabela 20.

Tabela 20 – Dados de produção do Ecoponto Fátima, de janeiro a junho de 2019

Tipo de Resíduo	meses					
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho
Entulho (Kg)	57.955,00	62.485,00	74.110,00	64.285,00	65.850,00	92.400,00
Volumosos (Kg)	44.434,67	50.120,68	39.847,17	43.757,14	44.168,07	42.719,17
Papel/papelão (Kg)	4.883,96	4.255,20	3.986,40	3.878,64	4.683,43	4.833,07
Plástico (Kg)	918,46	987,85	576,27	822,08	966,96	821,39
Metal (Kg)	414,67	242,24	280,86	246,46	783,37	322,03
Vidro (Kg)	1.213,54	1.416,94	1.265,49	1.177,24	1.860,40	1.203,90
OGR (L)	55,26	62,08	31,05	38,04	71,94	91,76

Fonte: SCSP (FORTALEZA, 2019).

Como se observa nos dados de entulho, volumosos, e os recicláveis papel/papelão, plástico, metais, vidro possuem a mesma unidade - Kg (quilograma). O reciclável OGR tem a unidade em L (litro). Os dados de entulhos e volumosos correspondem às quantidades levadas pelos carroceiros do programa *E-carroceiro*, somadas as quantidades deixadas voluntariamente pelos outros municípios da cidade de Fortaleza.

Na análise pelo modelo *DEA*, os entulhos e volumosos não são examinados com relação às suas bonificações (receitas dos entulhos e receita dos volumosos) pelo fato de ainda não haver o programa *E-carroceiro* em todos os ecopontos e com isso possuir quantidades entregues que não ensejam nenhuma bonificação, sendo, portanto, inviável compará-los por este parâmetro de receitas de entulho e receitas de volumosos.

Os somatórios das produções de papel/ papelão, plástico, metal e vidro são todos em quilogramas (Kg) e serão chamados, doravante, de **recicláveis**. O OGR, apesar de ser reciclável é expresso em litros (L), por isso não participa do somatório, analisado, assim, como parâmetro separadamente. As receitas provenientes das bonificações dos recicláveis e OGR são as variáveis também analisadas. Todos constituem itens do programa *Recicla Fortaleza*, presente em todos os ecopontos analisados.

As produções e as receitas constituem os valores resultantes das somas de cada mês no ano de 2019, concluindo-se, com isso, que são o somatório dos números de cada um dos 12 meses de cada ecoponto a ser analisado.

Vários componentes entregues nos ecopontos recebem denominações diferentes para adaptar a linguagem da população e conhecimento do operador ambiental, com os preços estipulados previamente pela concessionária e a Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF).

Esses preços levam em conta o custo de armazenamento, transporte e valores de venda dos produtos para as empresas recicladoras, pagamento das bonificações por meio do programa *Recicla Fortaleza* e o custo de processamento das transações financeiras também define os preços estipulados (FORTALEZA, 2018).

A Tabela 21 exibe os diversos componentes e seus relacionamentos com cada reciclável, acompanhados dos respectivos preços com que foram remunerados os usuários em 2019.

Tabela 21 – Classificação dos objetos, por tipo de resíduos recicláveis, com os seus respectivos preços em 2019

<b>Resíduos</b>	<b>Tipo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valores (R\$)</b>
metal	Latão	Kg	1,50
vidro	cerveja garrafa	Kg	0,01
vidro	caco branco	Kg	0,01
metal	bronze	Kg	3,00
papel	papel branco	Kg	0,10
vidro	coquinho Kg	Kg	0,01
metal	chumbo	Kg	0,70
vidro	garrafão Kg	Kg	0,01
papel	papel misto	Kg	0,02
vidro	litro branco	Kg	0,01
metal	aço inox 304	Kg	0,20
metal	ferro fundido	Kg	0,10
vidro	long neck Kg	Kg	0,01
plástico	pet	Kg	0,35
metal	alumínio fundido	Kg	1,00
metal	lata alumínio	Kg	2,00
vidro	pote	Kg	0,01
plástico	pvc	Kg	0,35
metal	bateria	Kg	0,25
metal	panela aluminio	Kg	1,65
plástico	longa vida	Kg	0,02
vidro	caco colorido	Kg	0,01
papel	jornal	Kg	0,02
vidro	garrafa pote	Kg	0,01
metal	ferro batido	Kg	0,10
vidro	litro preto	Kg	0,01
papel	papelão	Kg	0,12
OGR	óleo de cozinha	L	0,20
metal	aço inox 430	Kg	0,30
metal	lata aço	Kg	0,10
metal	panela aluminio com cabo	Kg	2,20
plástico	plástico filme	Kg	0,35

Fonte: SCSP (FORTALEZA, 2019).

O operador ambiental em cada ecoponto é contratado pela concessionária Ecofor e é responsável pelo controle da entrada e saída dos materiais coletados, assim como o seu armazenamento no ecoponto. Estes são, entretanto, fiscalizados pelos funcionários municipais da SCSP, juntamente com a ACFOR (FORTALEZA, 2018).

As variáveis produções, receitas de recicláveis consistem no somatório dos quantitativos e preços dos diversos componentes que integram o papel/ papelão, plástico, metal, vidro que formam os recicláveis. É assim exemplificado como reciclável vidro, formado pelo quantitativo de cerveja garrafa, caco branco, coquinho, garrafão, litro branco, *long neck*, pote, caco colorido e garrafa-pote com suas respectivas bonificações. A soma das produções dos compostos papel, papelão, plásticos, metais e vidro forma a variável recicláveis, e soma das bonificações é a variável receitas recicláveis. O óleo e gorduras residuais (OGR), com seu quantitativo, por ser único, constituem outra variável chamada OGR, assim como suas bonificações são a variável receita OGR.

Alguns expedientes oferecidos pela Estatística Descritiva são utilizados para verificar uma análise exploratória dos dados por via de medidas de posição (mediana e média), medidas de dispersão (desvio-padrão, amplitude e coeficiente de variação) e análise de correlação.

O coeficiente de variação (CV) definido pela divisão da média pelo desvio-padrão define a homogeneidade ou heterogeneidade dos dados. Valores altos de CV, mais heterogêneos, são os dados (SILVA, 2015).

A análise de correlação permite observar a interdependência dos dados analisados, em que valores maiores implicam maior relacionamento entre ambas as variáveis investigadas pelo modelo (SILVA, 2015).

#### 3.2.4.2 O modelo DEA escolhido

Existem diversos modelos *DEA* dos quais se utiliza para análise por meio de envoltórias de dados, como explicitado nos itens anteriores -2.5.2, 2.5.3 e 3.2.1 – respectivamente, modelos *DEA* CCR, BCC e *SBM*, embora existam também outras variações de modelos *DEA*, como o *Renuevue*, *Non- Renevue*, *Assurance*, *Assurance global*, *Malmquist*, *Malmquist- radial* e outros.

A pesquisa, no entanto, realizou a análise das eficiências operacionais dos ecopontos, utilizando o modelo *DEA SBM*, proposto por Tone (2001), pela condição de ser um exemplar que, além de fazer análise com variáveis em diferentes escalas, permite que se

usem variáveis com unidades diferentes como é o caso a ser estudado, pois todas outras variáveis estão expressas em quilogramas (Kg), com exceção da variável OGR, exprimida em litros (L). As receitas dos recicláveis e receitas do OGR são exprimidas em reais (R\$).

O modelo *DEA SBM* analisa as folgas nos *inputs* e *outputs* das *DMUs*. As folgas consistem nos valores que cada variável (parâmetro) exceda ou falte para que eles sejam eficientes conforme modelo proposto, provocando com isso ajustes em cada *DMU* observada (MIRANDA, 2015).

O modelo definido é o *DEA SBM* orientado a *output*, pois busca uma otimização das receitas oneradas do Município com os usuários, buscando, assim, melhor aproveitamento dos recursos aplicados. Averigua-se, com efeito, uma eficiência dessas variáveis, como expresso pela equação 16. Conclui-se, deste modo, a orientação dada pelo modelo da pesquisa.

Esse modelo, robusto e confiável, foi utilizado por diversos pesquisadores, como Das Dores (2017), Fidelis e Colmenero (2018), Exposito e Velasco (2018), produzindo resultados satisfatórios na análise das eficiências das *DMUs*.

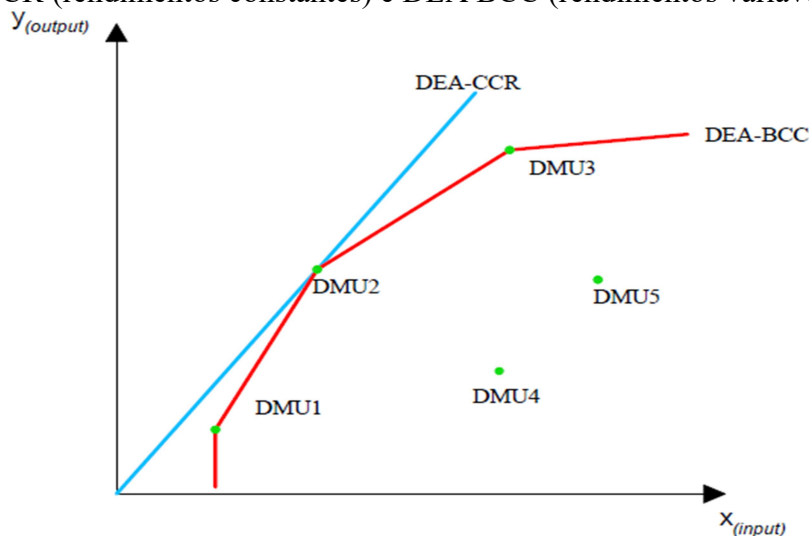
A realidade das produções e das remunerações dos usuários mostra-se de modo igual a não proporcionalidade, sendo, portanto, adotado o modelo *DEA SBM*, orientado a *output* com taxas variáveis (*DEA SBM – O – V*), o mais adequado, pois os *inputs* e *outputs* nas operações no ecoponto não seguem uma regra de proporcionalidade. Os números das produções e valores das recompensas aos usuários são uma composição de valores de variados componentes que os originam, sem obediência a uma regra de proporcionalidade dos rendimentos de *inputs* com relação aos *outputs*.

A convexidade é que melhor explica a realidade de muitos modelos *DEA* aplicados em situações reais, e isto é mais bem compreendido na Figura 26, onde é exibida a fronteira de eficiência proporcional inerente em modelos *DEA CCR*, não proporcionalidade em modelos *DEA BCC* que adotam taxas variáveis de rendimentos. As fronteiras de eficiência possuem, assim, diferenças, sendo a primeira uma reta e a outra uma curva convexa.

A Figura 25 expõe as fronteiras de eficiências dos modelos *DEA CCR* e *DEA BCC*, que, apesar de não serem adotados pela pesquisa, demonstram como em outros modelos *DEA* a linearidade da fronteira da eficiência em rendimentos constantes ou proporcionais entre *inputs* e *outputs*; a convexidade da fronteira da eficiência em modelos onde os rendimentos são variáveis, mais assemelhados a modelos operacionais dos ecopontos.



Figura 26 – Diferença das fronteiras de eficiência entre modelos DEA CCR (rendimentos constantes) e DEA BCC (rendimentos variáveis)



Fonte: Adaptado de Soares de Mello *et al.* (2005).

Existem muitas plataformas computacionais para solução de problemas *DEA* na análise de *DMUs*. O *software* utilizado neste trabalho é explicitado no próximo item.

#### 3.2.4.3 A plataforma computacional utilizada

Em análise de envoltórias de dados, existem diversas plataformas computacionais para solução de modelos *DEA* na análise das eficiências para auxílio na tomada de decisão. Entre os quais mencionam-se: *Frontier Analysis*, da Braxia Software; *On font*, desenvolvido pela *Economic Measurement Quality Corporation (EMQC)*; *DEAP*, desenvolvido por Tim Colleti; *Efficiency Measure System (EMS)*, desenvolvido por parte de Holger Schell; *DEAFrontier*, de Joe Zhu; *Data Envelopment Analysis On Line (DEAOS)*, *MaxDEA* de *Chinese Effort*, Alta-Bering, da empresa EPO Software; e outros (MIRANDA, 2015; PARADI; SHERMAN; TAM, 2018). No Brasil, têm-se o programa Sistema de Apoio à Tomada de Decisão (SIAD), concebido por Meza *et al.* (2005).

A plataforma computacional utilizada é o *DEASolver Pro*, da empresa Saitech, para análise do modelo *DEA SBM – O- V* da pesquisa.

#### 3.2.4.4 A escolha das variáveis input e output do modelo

As definições de quais variáveis devem ser *inputs* ou *outputs* atentam para o fato de causa e efeito entre elas; sua nomeação deve considerar representar melhor no desempenho

do objetivo da pesquisa e, por fim, os gestores ou investigadores não que ter conhecimento sobre o funcionamento das *DMUs*. Estes fatores a serem observados dão a indicação de quais são *input* e *output* (GOLANY; ROLL, 1989).

As escolhas das variáveis como *input* na modelagem correspondem aos materiais (recursos) que são recebidos nos ecopontos. Logo, serão as produções do entulho, volumosos, recicláveis e OGR. Após processadas pelos dois programas *Recicla Fortaleza* e *E-carroceiro*, têm-se as bonificações resultantes deles, que serão os serviços ou *output* do modelo.

Tem-se, então, como *inputs* os entulhos, volumosos, recicláveis e OGR, como sendo *outputs* as receitas recicláveis e receitas OGR.

No cálculo das eficiências pelo modelo *DEA SBM – O – V*, foi verificada uma baixa discriminação nos valores, cuja solução é exposta no item seguinte.

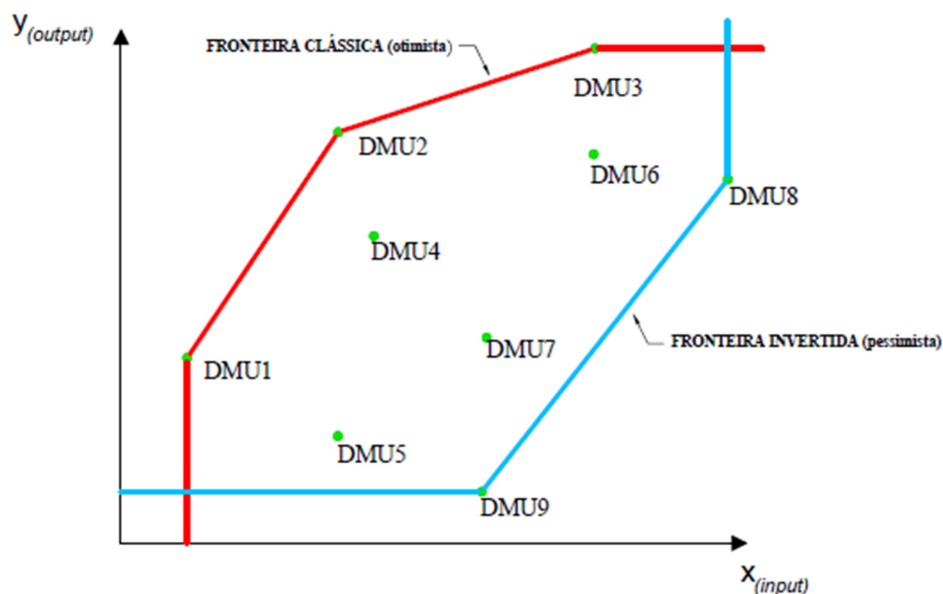
### **3.2.5 A Fronteira inversa, eficiência composta e normalizada**

Os modelos *DEA* possuem a vantagem de consentir que *DMUs* sejam organizadas sem depender de opiniões de decisores ou gestores. Esses modelos, porém, podem ser extremamente benevolentes com as unidades avaliadas, em razão da ocorrência da análise de apenas algumas das variáveis, principalmente aquelas que lhes são mais favoráveis. Essa característica dos modelos *DEA* faz com que ocorram muitas unidades 100% eficientes, provocando, assim, uma baixa discriminação entre as *DMUs* (DAS DORES, 2017).

Existe uma técnica mais sofisticada de analisar as *DMUs*, que é a fronteira invertida ou pessimista, em que se procura buscar as suas ineficiências. Este conceito foi introduzido por Yamada, Matui e Sugiyama (1994); Entani, Maeda e Mideo (2002). A análise de fronteira invertida é obtida pela inversão entre os *inputs* e *outputs* do modelo original. A fronteira invertida é formada pelas *DMUS* com as piores práticas gerenciais.

A Figura 26 retrata um modelo *DEA* BCC, a fronteira clássica (otimista) e a fronteira invertida (pessimista), com fronteiras mutuamente invertidas.

Figura 27 – Fronteira clássica (otimista) e invertida (pessimista)



Fonte: Adaptado de Soares de Mello *et al.* (2005).

A fronteira invertida identifica o grupo das *DMUs* com desempenho excelente em apenas alguma variável e a troca de *inputs* pelos *outputs* seleciona-se a orientação oposta ao proposto pelo modelo original (MIRANDA, 2015; ROGGE; DE JAEGER, 2012).

Uma *DMU* para ser considerada eficiente deve ter um desempenho ótimo nas variáveis onde tem excelência e um desempenho razoável naquelas onde não o tem. Para isso, adota-se uma eficiência composta intermediária, segundo Leta *et al.* (2005), definida pela média aritmética entre as fronteiras sob ópticas pessimistas e otimistas, resolvendo, assim, a baixa discriminação entre as *DMUs* ou falsas eficiências. Ela é expressa pela equação (17).

$$\text{Eficiência composta} = \frac{\text{eficiência otimista} + \text{eficiência pessimista}}{2} \quad (17)$$

Averigua-se, com a eficiência composta, uma análise com medidas médias, forçando a utilizar medidas igualmente equidistantes de cada uma das duas visões: otimistas e pessimistas.

Em modelos de variáveis de escalas e amplitudes diversas, faz-se necessário normalizar os dados, ou seja, os dados do estudo são relacionados a um valor de referência estabelecido, e convertidos em novos números dentro de uma mesma escala, a escala de 0 a 1. Um dos métodos de normalização é o linear pelo valor máximo, sendo, portanto, adotado para um critério positivo (SOUSA, 2008).

A eficiência composta com base nesse preceito é transformada em eficiência normalizada por uma normalização linear pelo valor máximo e demonstrada na fórmula (18).

$$\text{Eficiência normalizada} = \text{eficiência composta} / \text{eficiência máxima} \quad (18)$$

A eficiência máxima é o maior valor de eficiência composta dentro as *DMUs* analisadas pelo modelo proposto (ARAÚJO; PAIXÃO; PAIXÃO, 2018; BEZERRA, 2010; VALDEVINO *et al.*, 2010).

Os valores de eficiência normalizada definem os parâmetros de eficiência que analisam a operação dos dois programas *E- carroceiro* e *Recicla Fortaleza* que acontecem nos ecopontos.

Após o cálculo das eficiências normalizadas, orienta-se a pesquisa na formação de um escalonamento das eficiências, como propuseram Huang, Pan e Kao (2011), Rogge e De Jaeger (2012), Agovino *et al.* (2018), Pérez-López, Prior e Zafra-Gómez (2018), de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos no auxílio à tomada de decisão gerencial.

O escalonamento ou “ranqueamento” consiste em colocar as eficiências numa escala de classificação crescente ou decrescente, que, neste estudo, é crescente. Para avaliar quais ecopontos necessitam intervenções gerenciais urgentes, é proposta divisão das eficiências normalizadas deles em 4 (quatro) categorias, com uso novamente da Estatística Descritiva, revelada em seguida.

### **3.2.6 O escalonamento para a tomada de decisão**

O escalonamento ou “ranqueamento” permite uma classificação crescente das eficiências dos ecopontos. Para auxílio na tomada de decisão, recorreu-se a ferramentas da Estatística Descritiva relacionadas a posição. Dividem-se os dados em quatro grupamentos ou quartis e define-se a posição  $k$  na série de observações, conforme a seguinte fórmula (19).

1º quartil: posição  $k = (n + 2)/4$  quando  $n$  for número par ou  $k = (n+3)/4$  for número ímpar;

2º quartil: posição  $k = (n+1)/2$  quando  $n$  for número par ou for número ímpar e

3º quartil: posição  $k = (3n+2)/4$  quando  $n$  for número par ou  $k = (3n+1)/4$  for número ímpar. (19),

onde

$n$ - número de observações

Depois de calculada a posição  $k$  do número, quartil  $Q_p$ , dada a sua posição,  $k$  no conjunto de dados é descrito pela fórmula (20), onde

$$Q_p = x_k \text{ quando } k \text{ é número inteiro ou}$$

$$Q_p = (x_i + x_{i+1})/2 \text{ quando } k \text{ não é um número inteiro e } i < k < i+1. \quad (20)$$

Os  $x_i$  e  $x_{i+1}$  são os números inteiros anteriores e posteriores ao número fracionário. Esse é o método inclusivo de definir os quartis, utilizado neste trabalho (LANGFORD, 2006).

Para a série de dados da pesquisa, tem-se  $n= 49$  ecopontos, número ímpar; logo, pela fórmula (19) têm-se  $Q_1$  (primeiro quartil)  $k= 13$ , ou o valor da eficiência 13ª posição. O  $Q_2$  (segundo quartil ou mediana)  $k= 25$ , ou valor da eficiência 25ª posição, e  $Q_3$  (terceiro quartil)  $k=37$ , ou valor da eficiência 37ª posição, em ordem crescente de valores.

Com o conhecimento das posições dos números, definem-se os intervalos para tomada de decisão: primeiro intervalo do valor menor eficiência ao 13º valor ( $Q_1$ ), segundo intervalo da 14ª posição à 25ª posição ( $Q_2$ ), terceiro intervalo da 26ª posição à 37ª ( $Q_3$ ) e por último intervalo da 38ª ao maior valor de eficiência.

A necessidade de urgência de intervenção para aprimoramento na operação dos ecopontos é assim resumida, baseada nas eficiências escalonadas:

Muito crítico: menor valor  $\leq$  eficiências  $\leq Q_1$ ;

Crítico:  $Q_1 <$  eficiências  $\leq Q_2$ ;

Regular:  $Q_2 <$  eficiências  $\leq Q_3$  e

Ótima:  $Q_3 <$  eficiências  $\leq$  maior valor.

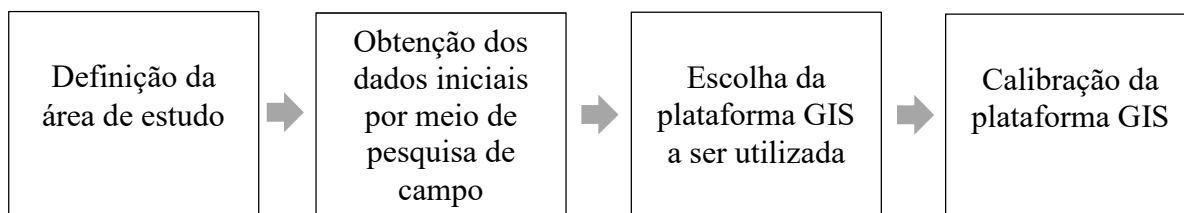
Na análise das eficiências por meio do DEA com ordenamento (“ranqueamento”) delas, é proposta uma investigação espacial da localização das *DMUs* (SARRA *et al.*, 2019). Isto é o que será desenvolvido como segundo objetivo da pesquisa e descrito a seguir.

### **3.3 Fluxograma da metodologia da análise da influência locacional pelos polígonos de Voronoi**

Primeiramente, é exibido o fluxograma com as três fases que envolvem a análise das influências locacionais pelos polígonos de Voronoi. Após a exposição de cada fase como no fluxograma anterior, serão explanadas as variadas etapas que compõem cada fase, de modo resumido.

Os fluxogramas serão mostrados em três fases, como exibido para o objetivo primeiro da pesquisa, que é da análise do desempenho operacional pelo *DEA*. A fase I inicial tem relação com o levantamento dos dados de campo. A Figura 27 expressa essa fase com as suas etapas.

Figura 28 – Fase inicial de levantamento dos dados de campo (fase I).



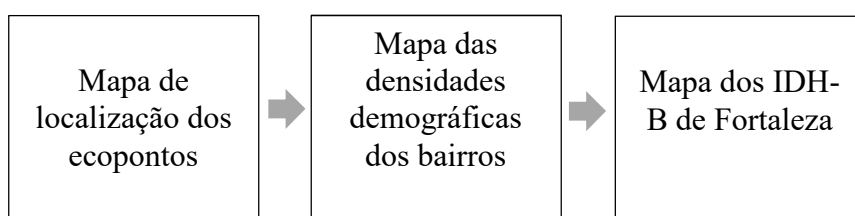
Fonte: Elaboração própria (2021).

A fase I possui as seguintes etapas:

- a) definição da área de estudo, os mesmos ecopontos da análise operacional do objetivo primeiro da pesquisa, ou seja, de acordo com o item 3.2.3;
- b) obtenção dos dados iniciais por sondagem de campo, como localização dos ecopontos, planos de informações necessários para os mapas;
- c) escolha da plataforma *GIS* que será utilizada na modelagem; e
- d) calibração da plataforma com as referências geográficas e cartográficas do local de estudo, como sistema de referências de coordenadas e sistema de projeção a ser utilizado.

A fase II corresponde à criação dos mapas temáticos primários com seus planos de informações iniciais. Os passos da fase II são explicitados na figura 28.

Figura 29 – Fase da criação dos mapas temáticos primários (fase II).



Fonte: Elaboração própria (2021).

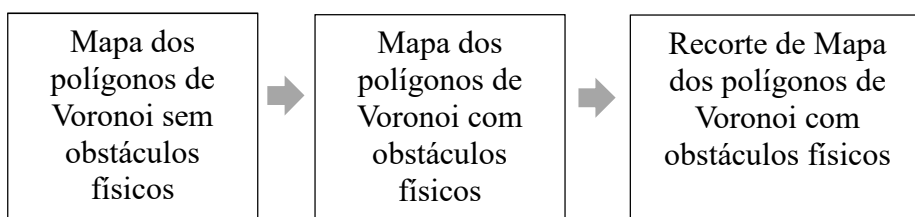
Os passos da fase II são revelados resumidamente:

- a) mapa de localização dos ecopontos com a posição de cada um dentro dos limites dos bairros da cidade;

- b) mapas das densidades demográficas dos bairros, após obtenção das áreas dos bairros pela plataforma GIS; e
- c) mapa dos IDH- B (índice de desenvolvimento humano dos bairros) da cidade de Fortaleza/CE.

A fase III representa a elaboração dos mapas da modelagem pelos polígonos de Voronoi. A Figura 29 expõe as suas etapas constituintes.

Figura 30 – Fase da elaboração dos mapas pelos polígonos de Voronoi (fase III).



Fonte: Elaboração própria (2021).

As etapas que integram a fase III são:

- a) mapa dos polígonos de Voronoi sem obstáculos físicos é a obtenção dele pela modelagem clássica pelos polígonos de Voronoi;
- b) mapa dos polígonos de Voronoi com obstáculos físicos são obtidos com a mescla entre a modelagem clássica e os planos de informações dos obstáculos físicos e
- c) recorte de mapa dos polígonos de Voronoi com obstáculos físicos é obtido com um detalhamento de uma área desse mapa.

### 3.4 A análise das influências locais pelos polígonos de Voronoi

A análise das influências locais foi definida por meio dos polígonos de Voronoi, propostos por Voronoi (1908) com o uso da média aritmética das formas quadráticas positivas, tendo resultado na divisão do espaço tridimensional em células, onde os pontos mais extremos delas são as menores possíveis para o ponto que o define. Isso abriu um campo de aplicação das mais variadas modalidades, que vão da robótica, telecomunicações ao uso na logística das áreas de influências locais.

Uma das maneiras de saídas de dados mais comuns dos SIG são os mapas que abordam determinado assunto, ou seja, os mapas temáticos, que são os modelos utilizados nessa pesquisa. Para melhor entendimento, são clarificados os componentes desses mapas.

### **3.4.1 Os mapas temáticos**

Os mapas temáticos transmitem uma relação entre o Mundo real e o Mundo digital sobre um tema que se intenta retratar, porém são necessários elementos constituintes nesses mapas:

- título do mapa preciso, resumido e destacado;
- as convenções utilizadas;
- as bases de origem (dados, mapa base e outros)
- as referências como autoria, data da confecção, fontes e outros;
- escala;
- a indicação da direção norte;
- o sistema de referência de coordenadas utilizado; e
- o sistema de projeção empregado (FITZ, 2008).

Os mapas temáticos digitais com esses constituintes devem possuir características básicas facilmente compreendidas por qualquer usuário, seja leigo ou profissional, transmitindo fidelidade com a representação da área geográfica a ser analisada. Os mapas digitais em geral possuem camadas de dados (*layers*) ou planos de informação para representar o espaço geográfico do estudo (IGUELMAR MIRANDA, 2015).

Os mapas, conseqüentemente, são as representações gráficas de dados espaciais em modelos matriciais e ou vetoriais com atributos qualitativos e quantitativos de informações sobre eles. Procura-se, com efeito, sempre conceber por aproximação o mundo físico por meio de figuras geométricas definidas (vetorial) ou não definidas em forma de células (matricial), ambas usadas para facilitar a compreensão de fenômenos reais (IGUELMAR MIRANDA, 2015).

Os dados espaciais possuem três importantes atributos, que são a sua escala, a definição de suas coordenadas e sua forma de projeção. Merecem, portanto, maiores detalhes as descrições desses três constituintes dos mapas: a escala, os sistemas de coordenadas e o sistema de projeção.



### 3.4.2 A escala dos mapas

A escala é a proporção entre as distâncias lineares representadas no mapa e as existentes na superfície do terreno a ser por ele exposto. Na equação (21), essa proporção é definida por:

$$D = N \cdot d \quad (21),$$

onde

D- distância real do terreno

N- denominador da escala (Escala: 1/ N)

d- distância medida no mapa

As escalas, em geral, são representadas nos mapas na forma numérica, forma gráfica e forma equivalente ou nominal (FITZ, 2008).

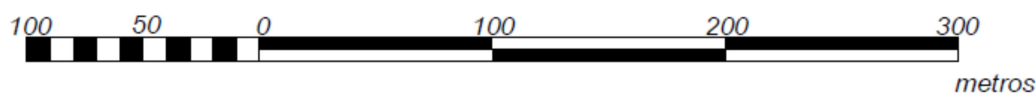
#### 3.4.2.1 A escala numérica

A escala numérica é expressa por uma fração cujo numerador corresponde à unidade e à distância mensurada no mapa. O denominador é a distância medida no terreno. Uma escala de 1/50.000 equivale a dizer que, para cada unidade no mapa, equipara a 50.000 unidades na realidade da superfície representada.

#### 3.4.2.2 A escala gráfica

A escala gráfica é mais comum empregada na confecção de mapas por plataformas *GIS* pela funcionalidade de impressão e por acompanhar as distorções de ajustes de plotagem. Sua representação é uma linha ou régua graduada, contendo subdivisões ou talões, cujos valores devem ser preferencialmente inteiros. A Figura 30 mostra uma escala gráfica com talão.

Figura 31 – Escala Gráfica de Mapas na escala 1/10.000



Fonte: Adaptado de Fritz (2008).

Na escala gráfica, visualizam-se duas porções, a principal do zero à direita e a fracionária do zero à esquerda, onde o talão é dividido em dez partes.

#### 3.4.2.3 A escala equivalente ou nominal

A escala nominal ou equivalente é expressa por uma igualdade em que um valor no mapa retrata o valor no terreno real. Como exemplo, têm-se 1cm = 10 Km ou 1 cm =50 m.

Um fator para o qual se deve atentar nos mapas refere-se aos erros gráficos, que são os deslocamentos da posição teórica real do objeto e sua localização no mapa após sua confecção. De acordo com Fritz (2008), é expressa pela fórmula (22):

$$\varepsilon = e \cdot N \quad (22),$$

onde

$\varepsilon$ - erro gráfico em metros;

$e$ - erro correspondente no terreno em metros e

$N$ - denominador da escala do mapa ( $E = 1/N$ )

Quanto maior a escala, maior será o erro gráfico. Uma linha de um traço de grafite 0,5 mm na escala de 1/ 50.000 dá um erro no terreno de 25 m e na escala de 1/100.000 esse erro ficaria em 50 metros (FITZ, 2008).

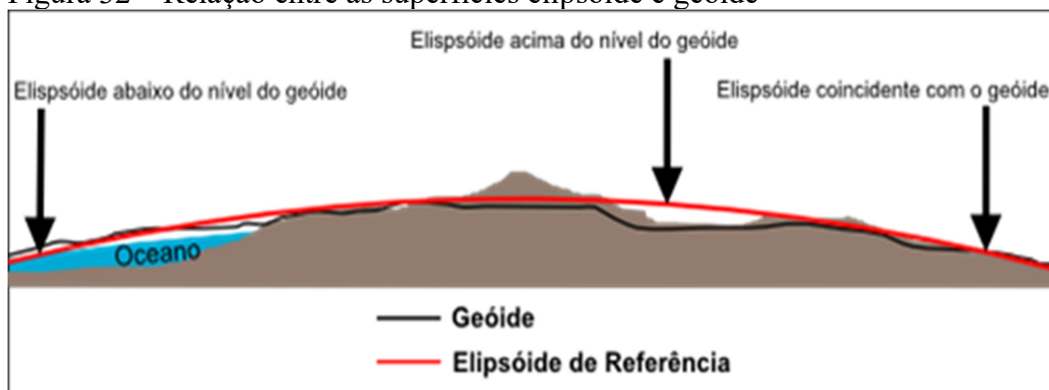
#### 3.4.3 O sistema de referência de coordenadas cartográficas

A superfície terrestre está em constante modificação em consequência das ações antrópicas e da natureza, como os movimentos tectônicos, ações erosivas, força gravitacional, mudanças climáticas e outras. O formato da Terra é representado por três superfícies: a topográfica, a geoide e a elipsoide. A topográfica corresponde à superfície real definida por equipamentos de topografia (teodolito, trânsito, *GPS* e outros). O geoide é a superfície equipotencial do campo gravitacional que representa os mares em repouso ou referência vertical (SILVA *et al.*, 2016).

Em decorrência da complexidade da forma do geoide, foi adotada uma simplificação matemática definida pela rotação de uma elipse sobre um dos seus eixos, surgindo o elipsoide, que permite calcular com melhor aproximação ângulos e distância sobre a Terra. Os Estados Unidos da América (EUA) adotam como referência para seu *Global Position System* (GPS) num elipsoide conhecido como *World Geodetic System*, de 1984,

(WGS84). A Figura 31 demonstra as relações entre as superfícies elipsoide e geóide (SILVA *et al.*, 2016).

Figura 32 – Relação entre as superfícies elipsoide e geóide



Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2016).

Uma condição de quem trabalha com geoinformação é a definição do sistema de referência geodésico adotado ou sistema de coordenadas cartográficas baseado no *datum* local. *Datum* geodésico é definido como o modelo matemático adotado (descreve a forma e origem do elipsoide) e o local onde ocorre uma coincidência perfeita entre o geóide e o elipsoide, estabelecendo, assim, a origem do *datum*, sendo neste local onde as distorções induzidas pelo relevo se minimizam. É um sistema que faz a relação entre os pontos do terreno e o elipsoide de referência (FITZ, 2008; SILVA *et al.*, 2016).

Os sistemas de referências adotados no Brasil constituem os Sistemas Geodésicos Brasileiros (SGB), compostos de redes de altimetria, gravimetria e planimetria. O de altimetria adota como marco zero o marégrafo de Imbituba, em Santa Catarina. A rede de gravimetria compõe-se de várias estações no País, onde se colhem dados sobre a aceleração da gravidade. O sistema de planimetria adotado inicialmente foi o *SAD69*, substituído pelo *SIRGAS 2000* (FITZ, 2008).

#### 3.4.3.1 Datum Sul Americano de 1969 (South American Datum - SAD 69)

O Datum Sul Americano foi concebido para ser um sistema de referência único para a América do Sul. Na definição do sistema, adotou-se como modelo geométrico da Terra o Elipsoide de Referência Internacional, de 1967, recomendado pela Associação Internacional de Geodésia (*International Association of Geodesy - IAG*), sendo substituído pelo Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul, do ano 2000 (*SIRGAS 2000*), em 2015 (PIROLI, 2010).

### 3.4.3.2 Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul - SIRGAS

O SIRGAS 2000 foi criado na Conferência Internacional para definição de um Datum Geocêntrico para a América do Sul, realizada em outubro de 1993, em Assunção, Paraguai, que tem como objetivos:

- a) definir um sistema de referência geocêntrico para a América do Sul;
- b) estabelecer e manter uma rede de referência; e
- c) definir e estabelecer um *datum* geocêntrico comum (PIROLI, 2010).

É o substituto do *South American Datum*, de 1969(SAD69), elaborado para resolver problemas de fronteiras entre os países da região, pela agregação e intercâmbio de dados entre eles. Tem como base o *International Terrestrial Reference System (ITRS)* na América do Sul, via estações *GPS*, com modelo geométrico geocêntrico formado por eixos coordenados baseados no ITRS e parâmetros do elipsoide de referência *Geodetic Reference System de 1980 (GRS80)* (PIROLI, 2010).

### 3.4.5 O sistema de projeção das coordenadas

O sistema de referência geodésico está baseado num elipsoide de referência, mas toda a figura do mapa tem um sistema de coordenadas para a sua localização, sendo utilizadas para esse fim a latitude e a longitude, que definem também as coordenadas geográficas.

#### 3.4.5.1 Sistema de Coordenadas Geográficas

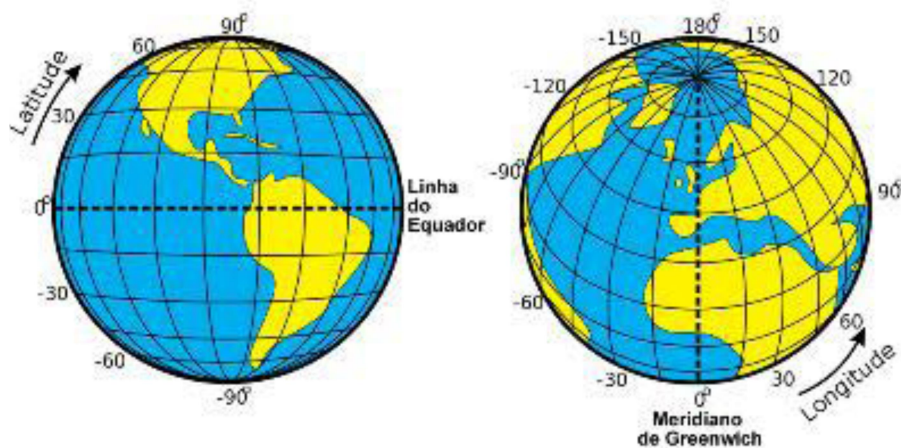
As coordenadas geográficas determinam as localizações dos pontos na superfície terrestre por meio da latitude e da longitude expressas em graus ( $^{\circ}$ ), minutos ( $'$ ) e segundos ( $''$ ). A latitude é a distância angular entre o ponto na superfície da Terra e a linha do Equador, variando de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  na direção norte (N) e sul (S), em retas perpendiculares ao centro do Planeta (FITZ, 2008).

A longitude é o ângulo entre o ponto da superfície e o meridiano central ou meridiano de Greenwich por via de retas perpendiculares que passam no centro da Terra e esses pontos. Varia de  $0^{\circ}$  a  $180^{\circ}$  na direção leste (L) ou oeste (O) (FITZ, 2008).

A Figura 32 demonstra essas grandezas, sendo sinal positivo nas direções norte (N) e leste (L) e negativo na direção sul (S) ou oeste (O). Deduz-se, assim, que um ponto localizado ao sul do equador terá leitura negativa e ao norte positiva. De maneira análoga, um

ponto situado ao oeste de Greenwich terá valor negativo e, ao leste, positivo (SILVA *et al.*, 2016).

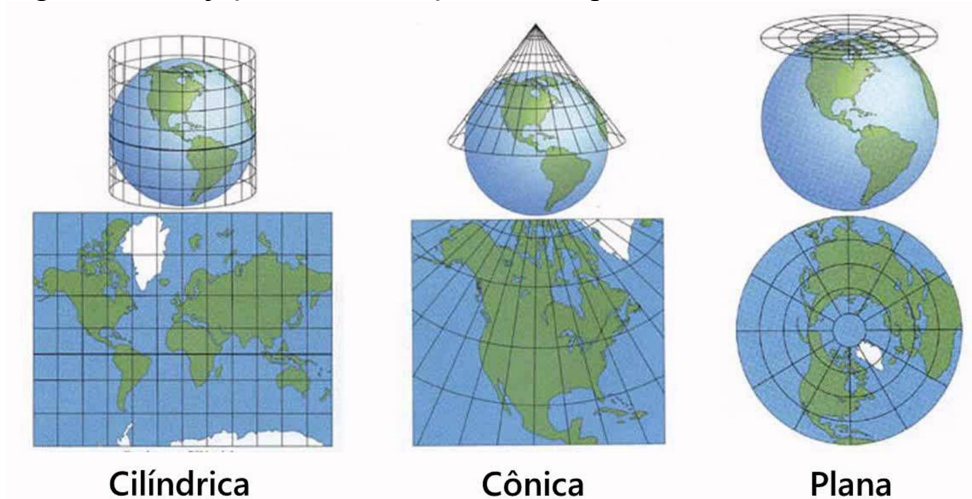
Figura 33 – A latitude e a longitude de um ponto no Globo Terrestre



Fonte: Adaptado de Silva *et al.* (2016).

Um sistema de projeção dessas coordenadas em um mapa tenta representar em duas dimensões a esfericidade da Terra, evitando ao máximo essas distorções. Realiza-se por meio de três projeções: a plana, a cilíndrica e a cônica. Na Figura 33 visualizam-se essas projeções e deformações (IGUELMAR MIRANDA, 2015).

Figura 34 – Projeções e Deformações nos Mapas



Fonte: Adaptado de Iguelmar Miranda (2015).

Várias projeções são utilizadas em plataformas SIG, porém o sistema de projeção adotado na pesquisa é a projeção *Universal Transversa Mercator* ou *UTM*, descrita no próximo item.

### 3.4.5.2 Sistema Universal Transversa Mercator (UTM)

O sistema *Universal Transversa Mercator (UTM)* é o mais adotado das projeções para confecções de mapas, sendo uma projeção cilíndrica de modo a tangenciar o mapa num determinado meridiano. Foi definida por Gerhard Kremer, conhecido por Mercator, em 1594, e estabelecida em 1936 pela União Internacional de Geodésia e Geofísica, sendo adotada por muitas organizações de mapeamento nacionais e internacionais (FITZ, 2008; IGUELMAR MIRANDA, 2015).

O sistema UTM adota uma rede de coordenadas métricas planas ou métricas retangulares, que aparecem nas margens dos mapas, acompanhados de uma rede de quadrículas planas. É estabelecido pelo cruzamento do meridiano central (MC ou meridiano de Greenwich) com a linha do Equador, variando de 10.000.000 (dez milhões) de metros sobre o equador e 500.000 (quinhentos mil) metros sobre o MC. As coordenadas na direção norte-sul como referência a linha do equador vão crescendo na direção norte (N) e diminuindo na direção sul (S). As coordenadas na direção leste-oeste em referência ao MC são crescentes no sentido leste e decrescentes no sentido oeste (FITZ, 2008).

As projeções UTM da Terra são também divididas em 60 fusos numerados de 1 a 60 com divisões em colunas de 6° de longitude, começando no meridiano 180° (anti meridiano de Greenwich) no sentido leste. É importante sempre informar qual zona ou fuso é adotado no mapa confeccionado (IGUELMAR MIRANDA, 2015).

O Brasil possui oito fusos ou zonas, começando com 18 a 25, numeradas no sentido leste, tendo 6° de latitude de amplitude nos seus intervalos (IGUELMAR MIRANDA, 2015).

Essas noções de cartografia anteriormente explicitadas trazem o embasamento sobre o segundo objetivo da pesquisa, definida no item 3.4, que é a representação gráfica dos polígonos de Voronoi, determinadores das áreas de influências locais deste estudo, o que é descrito sequencialmente.

### 3.4.6 Definição dos polígonos de Voronoi

Os polígonos são estruturas vetoriais de representação gráfica de dados espaciais. Os polígonos de Voronoi são as áreas definidas por pontos geradores, que no estudo desta pesquisa são os ecopontos. Esse modelo, proposto inicialmente por Voronoi (1908), seguido por Thiessen (1911), é onde muitos algoritmos em plataformas *GIS* determinam esses

polígonos que definem as áreas de influências locais, usando o critério da distância mínima entre os pontos geradores e suas fronteiras ou linhas limítrofes.

Definem-se, com efeito, os polígonos de Voronoi. Dado um agrupamento de pontos não colineares no espaço euclidiano  $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_m\}$  onde  $m \geq 2$ , que são chamados pontos geradores e as seções do plano  $R^2$  são conjunto de  $V = \{V_1, V_2, V_3, \dots, V_m\}$  onde todos os pontos de  $V_i$  estão mais próximos de  $p_i$  do que qualquer ponto do conjunto  $P$ . Os pontos que são equidistantes de dois ou mais elementos de  $P$  definem as bordas ou limites do polígono de Voronoi (MORENO-REGIDOR; LACALLEB; MANSO-CALLEJO, 2012). O polígono de Voronoi  $V(p_i)$  do ponto  $p_i \in P$  é expresso matematicamente pela seguinte fórmula (23) do conjunto:

$$V(p_i) = \{ x \in R^2 / |x - p_i| \leq |x - p_j| \} \quad (23),$$

onde

$$\forall 1 \leq i \leq m$$

$$\forall 1 \leq j \leq m$$

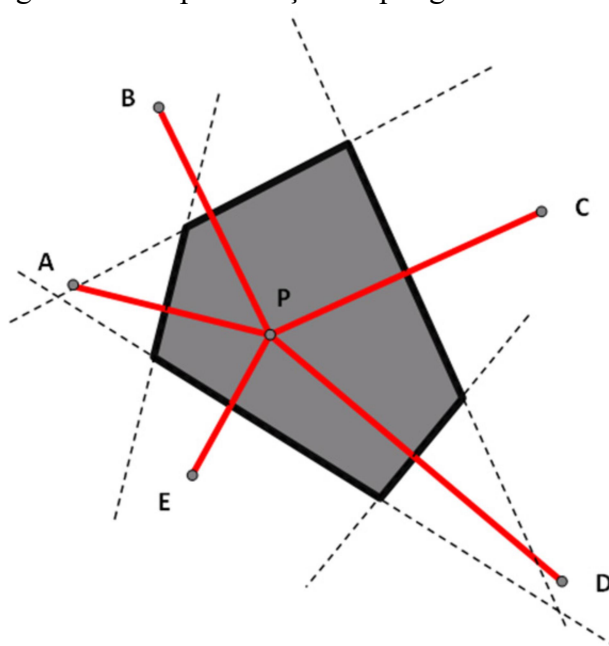
$$i \neq j$$

$|x - p_i|$ ,  $|x - p_j|$  são as distâncias aos pontos  $p_i$  e  $p_j$ .

Um dos procedimentos utilizado para definição das áreas dos polígonos de Voronoi ocorre por meio das retas que unem os pontos geradores (retas vermelhas), onde cada aresta (retas em preto) equivale às retas que dividem essas retas de ligação em duas partes iguais (retas pontilhadas). Os pontos geradores são chamados de A, B, C, D, E e F. Os vértices do polígono são estabelecidos pelo encontro do prolongamento das retas em preto, pontilhadas (POKOJSKI; POKOJSKA, 2018).

A área pintada de cinza corresponde à área do polígono de Voronoi do ponto gerador F, determinada pelo procedimento descrito anteriormente e conforme a representação gráfica observada na Figura 34. Essa é uma maneira de determinação de forma manual das áreas dos polígonos de Voronoi, mas, com o advento da computação gráfica, tornou-se dispendiosa a sua utilização.

Figura 35 – Representação do polígono de Voronoi



Fonte: Pokojski e Pokojaska (2018).

O emprego da computação gráfica resolveu a delimitação dos polígonos de Voronoi em menos tempo e com precisão. O algoritmo computacional de muitas plataformas SIG (ou *GIS*) que realiza a delimitação das áreas dos polígonos foi desenvolvido por Fortune (1987), conhecido como de **varredura de costa**, por meio de arcos (*sweep line*).

### 3.4.7 O algoritmo de Fortune

O algoritmo é procedimento computacional adequado que, por meio de algum valor ou conjunto de valores, como entrada, gere algum valor ou conjunto de valores como saída. Um algoritmo é expresso então por um conjunto de etapas computacionais que convertem uma introdução de dados (problema) em saída de dados (solução). A efetivação da solução de um problema em um computador compõe-se, portanto, em duas etapas:

- a) organização de uma sequência de operações para serem executadas e gerar um resultado, que é a solução do problema (algoritmo) e
- b) transformação da sequência acima em uma linguagem executável assimilada por um computador, ou seja, uma linguagem de programação (LOPES; MELO, 2002).

O algoritmo de Fortune (1987) é baseado numa técnica chamada *sweep line*, ou técnica de linha de varredura, onde uma linha horizontal varre o plano, detectando os pontos



em relação aos pontos geradores, sendo que o conjunto desses pontos forma as linhas que constituem as fronteiras dos polígonos de Voronoi.

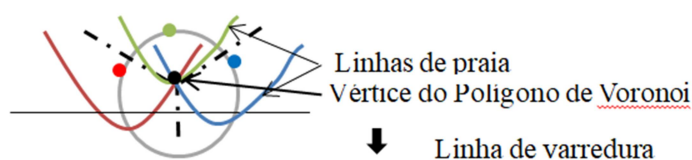
As técnicas de algoritmos *a priori* para definição dos diagramas de Voronoi baseiam-se em duas formas, sendo o primeiro o de algoritmo de incremento com o aumento do diagrama a cada tempo decorrido. A segunda é a divisão e conquista, onde cada espaço de diagramas de Voronoi, em relação aos respectivos pontos geradores, é dividido e distribuído em linhas que separam os locais em metades (FORTUNE, 1987).

A técnica de *sweep line* proposta por Fortune (1987), entretanto, é mais simples do que o algoritmo de incremento, menos complexa, e gasta menos tempo computacional do que os de divisão e conquista.

Os locais onde se situam os pontos dos diagramas são passíveis de pertencer aos espaços arbitrariamente lineares ou compostos de arcos circulares, que, apesar das degenerescências, a aritmética de execução os considera como ponto flutuante do computador. Vasculham, assim, o plano atrás da linha de varredura em arcos, determinando, assim, as bordas dos polígonos de Voronoi (FORTUNE, 1987).

A Figura 35 demonstra o algoritmo de Fortune (1987) com suas linhas de praia e linha de varredura.

Figura 36 – Representação do Algoritmo de Fortune



Fonte: Adaptado de Fortune (1987).

A aritmética de busca estabelecida pelos arcos (parábolas) ou linhas de praia é formada pelas médias das posições dos pontos de cada sítio (área do polígono), definindo-se pelo ponto gerador. O encontro dos arcos determina os vértices dos polígonos e estes as bordas dos polígonos (FORTUNE, 1987).

A computação gráfica abriu os horizontes do uso dos polígonos de Voronoi para diversas aplicações e pesquisas sobre a partição equilibrada do espaço físico nas mais diferentes áreas, como Telecomunicações, Medicina, Química, Biologia, Robótica, Astronomia, Logística de Transporte, Geografia, Cartografia e outras, sendo esses três últimos campos citados os abordados por esta pesquisa.

### 3.4.8 O uso dos polígonos de Voronoi na divisão do espaço geográfico

A distância entre pontos é o elemento básico no planejamento da logística de transporte de produtos e pessoas. Logística, entretanto, é um conceito amplo da gestão estratégica nas unidades organizacionais, e o transporte constitui um dos seus principais custos. Compreender o significado de logística e sua relação com o transporte faz-se necessário para um melhor entendimento desse ramo da Ciência organizacional.

A logística é definida como processo da gestão estratégica para projetar, efetivar e monitorar de maneira eficiente o fluxo e a estocagem de produtos, bem como os serviços e informações associados, com a finalidade de atender aos requisitos do consumidor, desde o ponto de origem até o ponto de consumo (PÊGO FILHO, 2016).

Os custos logísticos totais consistem na soma dos custos dos transportes, estoque e processamento de pedidos, tendo sempre como meta primordial o nível de satisfação de seus clientes. O transporte constitui como a maior parcela do custo da logística, pois é o responsável pelos fluxos de bens e serviços, percorrendo a distância física entre unidades organizacionais e consumidores (ANDRIOLI; DIEHL; HANSEN, 2015).

Otimizar as distâncias de transporte, de pessoas e materiais, demarcando a sua área de influências locais, é um dos objetivos que auxilia na tomada de decisão das organizações, cujo processo se realiza pelos polígonos de Voronoi.

A definição de suas áreas de influência local baseada em polígonos de Voronoi gerados por pontos predefinidos trouxe um grande influxo na determinação de espaços constituídos por essas áreas onde a distância entre a fonte geradora e os outros pontos constituintes do espaço geográfico é a menor possível. Então, deduz-se que pontos pertencentes a este polígono ou território estão mais próximos dessa fonte do que qualquer outra fonte geradora (MOURA, 2009).

O uso dos polígonos de Voronoi na divisão do espaço geográfico teve a aplicação em muitos trabalhos e foi implementado por diversos pesquisadores no Brasil e no Mundo.

As pesquisas brasileiras envolvendo o estudo das áreas de influência das escolas por técnica dos diagramas de Voronoi foram realizadas por Moura (2009), Guadalupe e Moura (2014) e Albuquerque *et al.* (2014).

Na modelagem do espaço geográfico por meio dos polígonos de Voronoi, têm-se, na área de saúde, os estudos de Rezende, Almeida e Nobre (2000) e Pedrosa *et al.* (2015) para pontos geradores, sendo os hospitais na primeira pesquisa e as unidades especializadas de saúde na segunda.

Outros pesquisadores estrangeiros também se dedicaram ao uso da modelagem do espaço geográfico por via dos polígonos de Voronoi. Wang *et al.* (2014), para delimitação em zonas de trânsito, tiveram como fontes geradoras as paradas de ônibus, e Grzesica (2016), na definição de áreas de abrangência, utilizou como fontes os centros logísticos de distribuição.

Kastrisios e Tsoulos (2018) recorreram à divisão do espaço aéreo da Terra pelos diagramas de Voronoi com base em 891 aeroportos do Mundo, e Davis, Gaurav e Krishna (2018) usaram para delinear as áreas de influências locais as estações de táxis de duas cidades.

Na delimitação de áreas de influências locais com uso dos polígonos de Voronoi, Yu *et al.* (2020) aplicaram as instalações dos corpos de bombeiros como pontos geradores na cidade chinesa de Nanjin.

Como se constata, são inúmeras as aplicações dos polígonos de Voronoi no estabelecimento da divisão do espaço geográfico, buscando uma melhoria na logística de transporte, e facilitando o acesso aos usuários dos empreendimentos instalados.

A utilização de uma plataforma computacional de SIG trouxe rapidez e precisão na modelagem do espaço geográfico por meio dos polígonos de Voronoi.

#### **3.4.9 A plataforma computacional QGIS**

A plataforma computacional utilizada no trabalho é o QGIS versão 2.18 ou o Quantum GIS 2.18, que é um *software* livre e código aberto ou *free and open source software* (FOSS). O QGIS é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). Funciona em Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android e suporta inúmeros formatos de vetores, *rasters*, bases de dados e funcionalidades. É um projeto impulsionado por voluntários (NANNI *et al.*, 2019).

O *software* QGIS possui um compositor de impressão que fornece recursos crescentes de *layout* e impressão. Ele consente que se incluam elementos como a tela do mapa do QGIS, rótulo de texto, imagens, legendas, barra de escala, formas básicas, setas, tabelas de atributos e quadros HTML. Anexa-se, posiciona-se, mensura-se, alinha-se e gira-se cada elemento, harmonizando suas especificidades para criar seu *layout*. O *layout* é impresso ou exportado para formatos de imagem (JPG, JPEG, PNG, GIF), PostScript, PDF ou para *Scalable Vector Graphics* (SVG). Salva-se o *layout* como um padrão e se utiliza novamente em outra sessão. Finalmente, produzem-se vários mapas com base em um modelo feito pelo gerador de atlas (NANNI *et al.*, 2019).

A saída gráfica advinda do QGIS 2.18 nesta pesquisa são os mapas da cidade de Fortaleza com algumas propriedades ou elementos em todos.

Em todos os mapas produzidos são determinados o norte magnético, a escala gráfica em forma de talão e a escala numérica. Há uma legenda com detalhamento de cada plano de informação ou camada que seja necessário explicitar e título com descrição do objetivo do mapa temático produzido.

#### 3.4.9.1 *Os materiais utilizados*

Os arquivos que serviram de base para os mapas foram importados de plantas georreferenciadas da cidade de Fortaleza, no formato *shapefile* (.shp), com informações das formas vetoriais, arquivos com extensão .dbf com os atributos dos vetores em base Dbase e arquivos com extensão .shx, que relacionam as informações vetoriais (.shp) com as de seus atributos (.dbf). Inicialmente, utilizou-se a planta georreferenciada com as seguintes camadas vetorizadas: limites dos bairros da cidade, conforme censo 2010 (IBGE, 2010a), limite de Fortaleza e sistema viário básico da cidade (IPLANFOR, 2019).

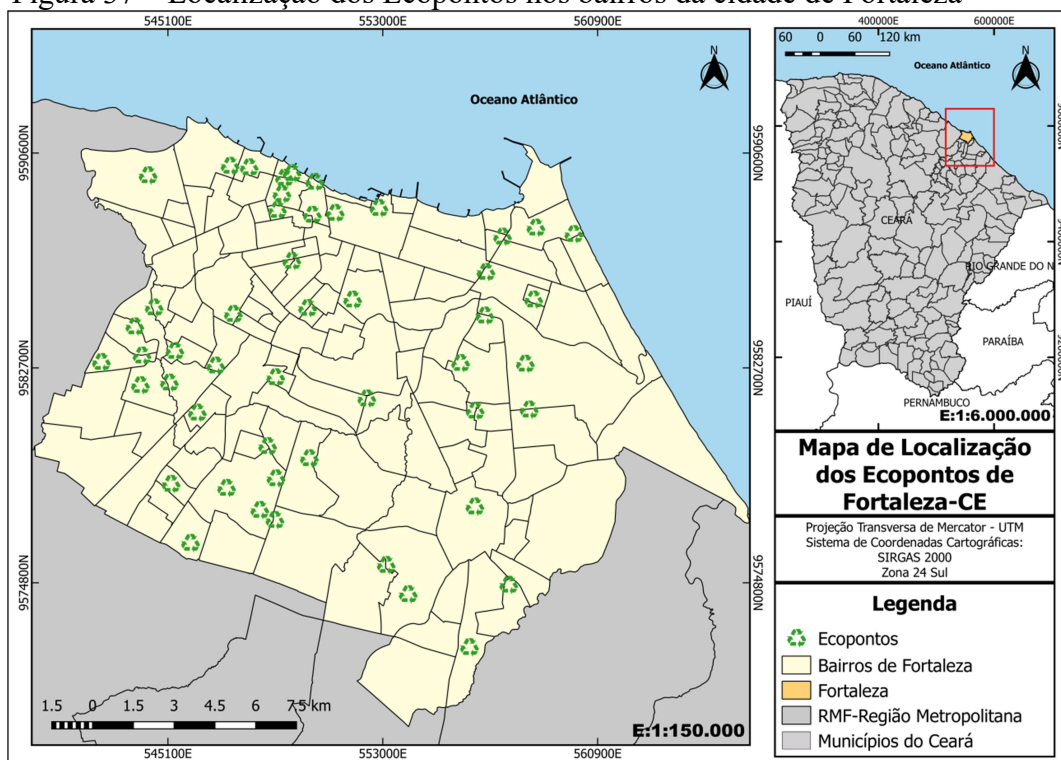
#### 3.4.9.2 *A área de estudo*

A área de estudo desta pesquisa é a mesma da análise da influência locacional, os 49 ecopontos, conforme item 3.2.3. Por meio dos endereços dos ecopontos selecionados de acordo com o item 3.2.3 (FORTALEZA, 2019), Anexo A e pesquisa de campo, as posições dos 49 ecopontos foram lançadas nesse projeto do QGIS, surgindo desse modo novo plano de informação.

O sistema de coordenadas geodésicas adotada para todo o projeto produzido é o oficial SIRGAS 2000, com projeção no formato *Universal Translator Mercator (UTM)* fuso 24 Sul, onde está situada a área da cidade de Fortaleza. Portanto, o sistema de coordenadas cartográficas adotado é o SIRGAS 2000, projeção UTM zona 24 Sul (ESPG:31984, SIRGAS 2000 UTM/ zone 24 S).

A Figura 36 exibe o mapa com os limites dos bairros da cidade e a localização dos 49 ecopontos de Fortaleza em escala numérica de 1:150.000.

Figura 37 – Localização dos Ecopontos nos bairros da cidade de Fortaleza



Fonte: Elaboração própria (2021).

A saída gráfica de visualização do projeto do QGIS para a localização espacial dos ecopontos dá-se por intermédio do compositor de impressão do QGIS 2.18, sendo escolhida a extensão .png (PNG-Portables Network Graphics), que é um formato de dados de imagem em *rasters* que não produz efeitos “serrilhamento” para muitas escalas de apresentação de mapas, sendo exportados para muitos aplicativos de textos (IGUELMAR MIRANDA, 2015).

No intuito de melhor localização do Município de Fortaleza, utilizou-se também um mapa do Ceará com limites dos seus municípios, destacando o Município pesquisado em relação aos outros com escala numérica de 1:6.000.000 (IBGE, 2010b).

Algumas particularidades estão nos mapas da Figura 37, como em todos os outros, o norte magnético do mapa, as coordenadas da projeção *UTM*, as legendas dos planos de informações, os títulos do mapa temático, as notas explicativas do sistema de coordenadas cartográficas perfilhadas (SIRGAS 2000) e projeção adotada (*UTM* zona 24 Sul). As escalas gráficas estão também em todos os mapas com formato de talões.

### 3.4.10 A Geração dos polígonos de Voronoi

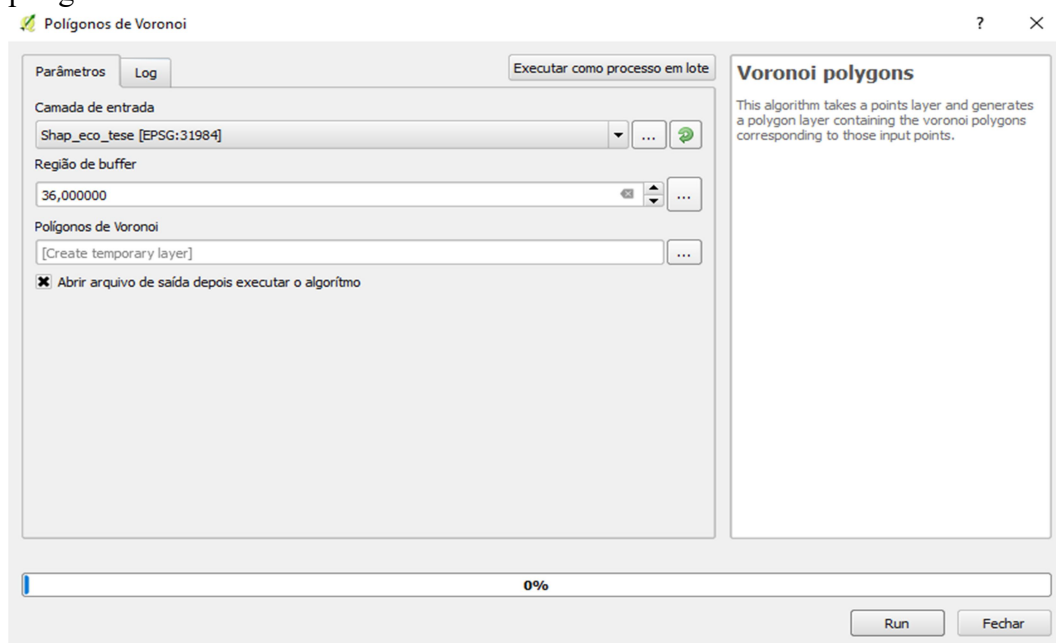
A geração dos polígonos de Voronoi utilizou aplicativo QGIS 2.18. A modelagem das áreas de abrangência de influência locacional seria realizável com qualquer quantidade de

ecopontos, mas foi adotado o quantitativo de 49, por ser esse o número de ecopontos analisados no primeiro objetivo da pesquisa, que é a análise das eficiências operacionais desse montante. Assim, de maneira mais didática, faz-se estudo comparativo das eficiências operacionais e suas abrangências locais. Esse é um dos pontos propostos por Sarra *et al.* (2019) - a união da análise operacional com a análise espacial.

A divisão do espaço geográfico de uma região pelos polígonos de Voronoi na pesquisa é realizada, portanto sobre a cidade de Fortaleza, tendo os 49 ecopontos como os geradores deles, cujo plano de informação é definido no projeto, conforme item 3.4.9.2.

Antes de começar a usar o algoritmo do QGIS 2.18, habilitam-se todas as camadas e as novas surgentes para o sistema SIRGAS 2000, *UTM 24 S*. A sequência de passos para ativar o algoritmo dos polígonos de Voronoi do QGIS 2.18 consta destes passos no *menu* principal do programa: vetor, geometrias e polígonos de Voronoi. Visualizado esse último passo, surge uma tabela no formato do exibido na Figura 37.

Figura 38 – Representação gráfica da tabela de ativação do algoritmo dos polígonos de Voronoi

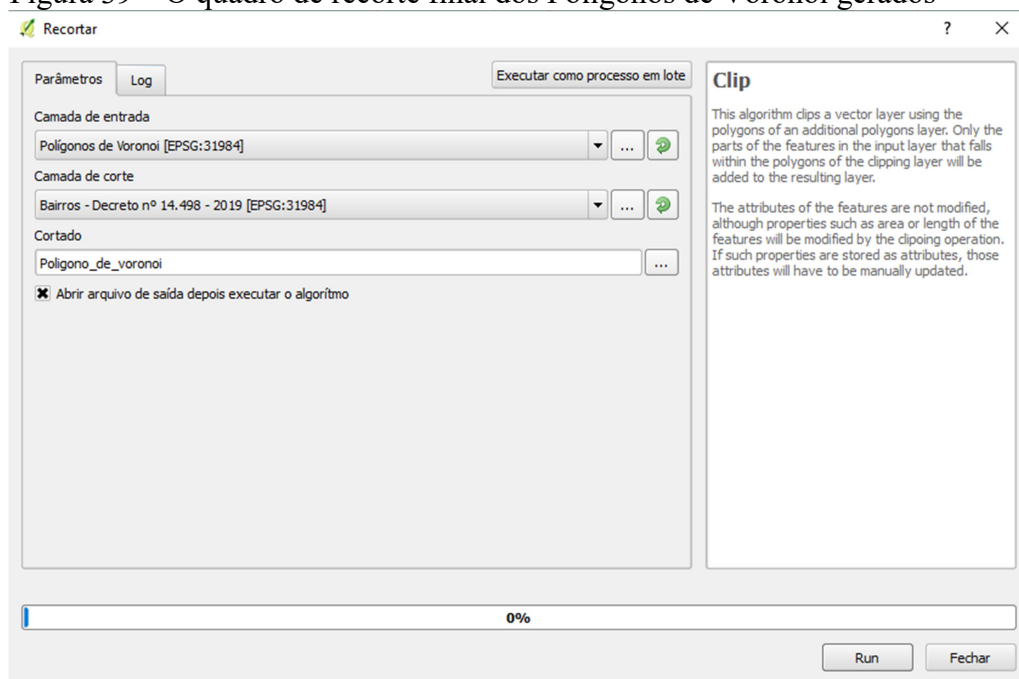


Fonte: Elaboração própria (2021).

Conforme a Figura 37, escolhe-se a camada de entrada que foi definida no item 3.4.9.2 com a localização dos ecopontos. A área do *buffer* escolhido é 36,0, que atinge toda a área da superfície de projeto de Fortaleza. Aperta-se a tecla *run*, tendo o algoritmo acionado e surgindo, assim, o plano de informação com os polígonos de Voronoi dos 49 ecopontos da pesquisa.

A fim de estabelecer os limites das linhas poligonais geradas, é necessário recortar as linhas que passam dos limites da cidade de Fortaleza mediante a sequência: vetor, geoprocessamento, recortado. Define-se a camada de corte, a linha limítrofe definidora da superfície de Fortaleza, pois os polígonos gerados mais externos da análise pelo algoritmo são abertos e não convexos. A Figura 38 exhibe o quadro para recortar as linhas externas da modelagem por polígonos de Voronoi, definindo, efetivamente, com exatidão, todas as áreas de influência dos ecopontos.

Figura 39 – O quadro de recorte final dos Polígonos de Voronoi gerados



Fonte: Elaboração própria (2021).

Na geração dos polígonos de Voronoi pelo QGIS 2.18 ou qualquer outra plataforma computacional de SIG, deve-se atentar para a perfeita localização dos pontos geradores, pois erros expressivos implicam erros nas delimitações das áreas dos polígonos provocadas por mudanças ou instabilidades de suas fronteiras, promovendo, por consequência, grande impacto na área resultante dos particionamentos do espaço geográfico analisado (MORENO-REGIDOR; LACALLEB; MANSO-CALLEJO, 2012; REMM, 2011).

O cálculo das áreas dos polígonos de Voronoi produzidos é realizado com precisão pela plataforma gráfica QGIS 2.18, cujos procedimentos serão pormenorizados no próximo item.

### 3.4.10.1 O cálculo das áreas dos polígonos

O dimensionamento das áreas dos polígonos de Voronoi elaborados pelo QGIS 2.18 é concebido com o escalonamento das seguintes etapas. Primeiramente, clicar com o botão da direita do *mouse* na camada produzida de polígonos gerados. Localiza abrir tabela de atributos, alternar modo de edição, calculadora de campo, criar campo (área\_poli), unidade decimal, saída parte inteira dez unidades e precisão com duas casas decimais.

O QGIS está programado para exibir em m<sup>2</sup> as medidas dos polígonos da camada vetorial e, para transformar em Km<sup>2</sup>, é preciso dividir por 1.000.000 os resultados encontrados. Isso é feito de forma automática na sequência: calculadora de campo, expressão, geometrias, \$area, \$area/1000000, onde então aparecerá nova coluna com todas as áreas dos polígonos em Km<sup>2</sup>.

A análise dos resultados encontrados dos polígonos de Voronoi é realizada conjuntamente à análise espacial de dois indicadores para cada bairro de Fortaleza: a densidade demográfica e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH).

### 3.4.11 A densidade demográfica nos bairros de Fortaleza

O indicador populacional utilizado, densidade demográfica dos bairros, é calculado pela divisão da quantidade de pessoas que vivem no bairro pela sua superfície física. É dado pela equação (23) expressa em habitantes/ quilômetro quadrado (hab./ Km<sup>2</sup>):

$$d = \frac{\text{população do bairro}}{\text{área do bairro}} \quad (23),$$

onde

d- densidade demográfica (hab./Km<sup>2</sup>);

população do bairro – habitantes residentes no bairro (hab.) e

área do bairro – superfície física do bairro (Km<sup>2</sup>).

Foram considerados como base os 119 bairros da cidade de Fortaleza no período do censo demográficos de 2010. O quantitativo da população por bairros foi extraído da “Tabela 202 – População residente, por bairros” do mesmo censo. As áreas dos bairros são calculadas pelo QGIS 2.18 das plantas georreferenciadas da cidade de Fortaleza (IBGE, 2010a; IPLANFOR, 2019).

A Tabela 22 explicita as densidades dos bairros da cidade de Fortaleza em 2010.



Tabela 22 – Densidade demográfica dos bairros de Fortaleza em 2010

<b>Bairro</b>	<b>Pop. (hab.)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Dens. (hab/Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Bairro</b>	<b>Pop. (hab.)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Dens. (hab/Km<sup>2</sup>)</b>
Aerolândia	11360	1,11	10234,23	Centro	28538	4,95	5765,25
Aeroporto	8618	6,22	1385,53	Cidade dos Funcionários	8272	0,50	16544,00
Aldeota	42361	3,93	10778,88	Coaçu	18256	2,85	6405,61
Alto da Balança	12814	0,93	13778,49	Cocó	7188	1,69	4253,25
Álvaro Weyne	23690	1,45	16337,93	Cidade dos Funcionários	20492	3,32	6172,29
Amadeu Furtado	11703	0,94	12450,00	Conjunto Ceará I	19221	1,60	12013,13
Ancuri	20070	4,18	4801,44	Conjunto Ceará II	23673	1,60	14795,63
Antônio Bezerra	25846	2,22	11642,34	Conjunto Esperança	16405	1,12	14647,32
Arraial Moura Brasil	3765	0,41	9182,93	Conjunto Palmeiras	36599	4,18	8755,74
Autran Nunes	21208	1,01	20998,02	Couto Fernandes	5260	0,34	15470,59
Barra do Ceará	72423	4,15	17451,33	Cristo Redentor	26717	1,20	22264,17
Barroso	29847	3,48	8576,72	Curió	7636	0,66	11569,70
Bela Vista	16754	0,99	16923,23	Damas	10719	0,88	12180,68
Benfica	8970	1,47	6102,04	De Lourdes	3370	1,38	2442,03
Bom Futuro	6405	0,39	16423,08	Demócrito Rocha	10994	0,81	13572,84
Bom Jardim	37758	2,46	15348,78	Dendê	5637	1,99	2832,66
Bonsucesso	41198	2,56	16092,97	Dias Macedo	12111	1,76	6881,25
Cais do Porto	22382	2,80	7993,57	Dionísio Torres	15634	1,75	8933,71
Cajazeiras	14478	3,42	4233,33	Dom Lustosa	13147	1,21	10865,29
Cambeba	7625	2,76	2762,68	Edson Queiroz	22210	14,03	1583,04
Canindezinho	41202	3,83	10757,70	Farias Brito	12063	0,93	12970,97
Carlito Pamplona	29076	1,38	21069,57	Fátima	23309	2,90	8037,59
Castelão	5974	1,92	3111,46	Floresta	28896	1,74	16606,90
Genibau	40336	2,20	18334,55	Meireles	36982	2,68	13799,25
Gentilândia	3984	0,36	11066,67	Messejana	41689	6,16	6767,69
Granja Lisboa	52042	4,86	10708,23	Mondubim	76044	9,61	7913,01
Granja Portugal	39651	2,57	15428,40	Monte Castelo	13215	0,80	16518,75
Guajeru	6668	1,10	6061,82	Montese	25970	1,94	13386,60
Guarapes	5266	1,37	3843,80	Mucuripe	13747	0,88	15621,59
Henrique Jorge	26994	1,97	13702,54	Padre Andrade	12936	1,24	10432,26
Itaóca	12477	0,75	16636,00	Pan-Americano	8815	0,55	16027,27
Itaperi	22563	2,57	8779,38	Papicu	18370	2,12	8665,09

Continua

Tabela 22 – Densidade demográfica dos bairros de Fortaleza em 2010 (continuação)

<b>Bairro</b>	<b>Pop. (hab.)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Dens. (hab/Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Bairro</b>	<b>Pop. (hab.)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Dens. (hab/Km<sup>2</sup>)</b>
Jacarecanga	14204	1,28	11096,88	Parangaba	30947	4,08	7585,05
Jangurussu	50479	8,90	5671,8	Parque Araxá	6715	0,48	13989,58
Jardim América	12264	0,78	15723,08	Parque Dois Irmãos	27236	4,47	6093,06
Jardim Cearense	10103	0,87	11612,64	Parque Iracema	8409	1,60	5255,63
Jardim das Oliveiras	29571	2,41	12270,12	Parque Manibura	7529	1,28	5882,03
Jardim Guanabara	14919	0,75	19892,00	Parque Presidente Vargas	7192	1,66	4332,53
Jardim Iracema	23184	1,12	20700,00	Parque Santa Rosa	12790	1,01	12663,37
João XXIII	18398	1,99	9245,23	Parque São José	10486	0,61	17190,16
Joaquim Távora	23450	1,99	11783,92	Parquelândia	14432	1,27	11363,78
Jóquei Club	19331	1,73	11173,99	Parreão	11072	1,04	10646,15
José Bonifácio	8848	0,90	9831,11	Passaré	50940	7,27	7006,88
José de Alencar	16003	3,18	5032,39	Paupina	14665	5,52	2656,70
Lagoa Redonda	27949	11,98	2332,97	Pedras	1342	4,35	308,51
Luciano Cavalcante	15543	3,90	3985,38	Pici	42494	3,86	11008,81
Manoel Sátiro	37952	1,15	33001,74	Pirambú	17775	0,56	31741,07
Manuel Dias Branco	1447	4,52	320,13	Planalto Ayrton Senna	39446	4,08	9668,14
Maraponga	10155	1,74	5836,21	Praia de Iracema	3130	0,55	5690,91
Mata Galinha	6273	1,08	5808,33	Praia do Futuro I	6630	1,72	3854,65
Praia do Futuro II	11957	3,42	3496,20	Sapiranga	32158	4,83	6657,97
Prefeito José Walter	33427	10,79	3097,96	Serrinha	28770	3,02	9526,49
Presidente Kennedy	23004	1,73	13297,11	Siqueira	33628	6,28	5354,78
Quintino Cunha	47277	2,87	16472,82	Varjota	8421	0,54	15594,44
Rodolfo Teófilo	19114	1,76	10860,23	Vicente Pinzon	45518	3,21	14180,06
Sabiaguaba	2117	14,63	144,70	Vila Ellery	7863	0,47	16729,79
Salinas	4298	2,60	1653,08	Vila Peri	20645	1,51	13672,19
São Bento	11964	2,25	5317,33	Vila União	15378	1,47	10461,22
São Gerardo	14505	1,48	9800,68	Vila Velha	61617	7,08	8702,97
São João do Tauapé	27598	2,53	10908,30				

Fonte: Elaboração própria, com dados do IBGE (2010a) e IPLANFOR (2019).

As densidades da população da Tabela 22 indicam o quanto são concentrados os contingentes populacionais de cada bairro, sendo usadas em muitas situações como ferramenta para o planejamento urbano da cidade. Na elaboração do mapa temático analisam-se espacialmente os bairros mais e os menos densos. Os dados da Tabela 22 serão a base para elaboração desse mapa. Para efeito de melhor visualização, foram distribuídos os bairros em 5 intervalos:

- $d < 4700 \text{ hab./Km}^2$ ;
- $4700 \leq d < 9400 \text{ hab./Km}^2$ ;
- $9400 \leq d < 14100 \text{ hab./Km}^2$ ;
- $14100 \leq d < 18800 \text{ hab./Km}^2$  e
- $d \geq 18800 \text{ hab./Km}^2$ .

#### **3.4.12 O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), por bairros, em Fortaleza**

Outro indicador usado para análise espacial é IDH obtido pela média geométrica de três indicadores do censo demográfico de 2010: indicador renda, indicador educação e indicador longevidade. Foi baseado no IDH proposto pelo Programa das Nações Unidas (PNUD), com parceria do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e da Fundação João Pinheiro (FJP), para auferir a qualidade de vida dos municípios brasileiros (IDH- M). Essas três dimensões foram analisadas para cada um dos 119 bairros de Fortaleza, surgindo o IDH- B com base no **Censo** 2010 (FORTALEZA, 2014b).

Para obter a dimensão renda, foi utilizada a variável renda média mensal das pessoas de dez anos ou mais de idade; para educação, a variável empregada foi a porcentagem da população de dez anos ou mais alfabetizada, enquanto a longevidade teve designada como variável a porcentagem da população maior de 64 anos residente no bairro (FORTALEZA, 2014b).

As três dimensões - renda, educação e longevidade – foram alvo de uma padronização com base nos valores máximos e mínimos dos indicadores do conjunto dos 119 bairros pesquisados em cada dimensão, surgindo, assim, índices conforme equação (24) (FORTALEZA, 2014b).

$$Ind_i = \frac{valor_i - valor_{mínimo}}{valor_{máximo} - valor_{mínimo}} \quad (24).$$

A fórmula (24) esclarece o cálculo desse indicador pelos três índices: renda, educação e longevidade (FORTALEZA, 2014b).

$$IDH - B = \sqrt[3]{Ind. Renda \times Ind. Educação \times Ind. Longevidade} \quad (24),$$

Onde

Ind. Renda- índice de renda média das pessoas do bairro;

Ind. Educação- índice de alfabetização das pessoas do bairro e

Ind. Longevidade- índice de expectativa de vida das pessoas do bairro.

Quanto mais próximo do número 1 estiver o IDH- B, melhor o grau de desenvolvimento das pessoas do bairro; e mais próximo de zero, pior o seu desenvolvimento. Portanto, o IDH- B varia de 0 a 1 (FORTALEZA, 2014b).

Os IDH- B expostos na pesquisa da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico (SMDE) da Prefeitura Municipal de Fortaleza constituem a base de dados para confecção de um dos mapas temáticos desta pesquisa. A divisão proposta pela demanda ora relatada em cinco interstícios é também aqui utilizada nos mesmos limites de intervalos sugeridos pela SMDE (FORTALEZA, 2014b).

### **3.4.13 Os obstáculos físicos**

Em algumas pesquisas sobre as áreas de influência locacional definidas pelos polígonos de Voronoi são objeto de restrições quanto as suas dimensões, quando nelas são identificados obstáculos físicos. Esses obstáculos são definidos como impeditivos ao fluxo normal de pessoas. Dentro os obstáculos mencionam-se rios, lagoas, riachos, linhas férreas, linhas de metrô e vias de grande fluxo de veículos.

Os obstáculos físicos são entraves ao acesso aos ecopontos pelos usuários, criando adversidades, embaraços que atenuam o trânsito, a passagem normal das pessoas.

A modelagem de polígonos de Voronoi com obstáculos físicos foi empregada com a utilização desse critério para o surgimento de mais áreas de influência por Carnascialli (2010), Cui *et al.* (2012), Candeloro, Lekkas e Sørensen (2017) e Ramos *et al.* (2018).

Nesse sentido, são lançadas no projeto do QGIS da pesquisa várias camadas de informações contendo os obstáculos físicos. A primeira camada é o sistema de recursos

hídricos da cidade Fortaleza, constituída por riachos, rios e lagoas, advinda dos vetores das plantas georreferenciadas (IPLANFOR, 2019).

A segunda camada de obstáculos é formada pelos caminhamentos das linhas de metrô de superfície. O trecho subterrâneo é representado de forma tracejada, não sendo considerada como obstáculo físico. Como no primeiro plano de informação, essa camada vetorial tem origem nas plantas georreferenciadas da cidade (IPLANFOR, 2019).

O último plano de informação dos obstáculos é formado pelas vias de grande fluxo de veículos ou valores elevados de volume médio diário (VMD), cuja origem é os vetores provenientes do sistema viário básico em plantas georreferenciadas produzidas por órgão pertencente à Prefeitura Municipal de Fortaleza (IPLANFOR, 2019).

#### *3.4.13.1 O volume médio diário (VMD)*

O fluxo de veículos ou volume médio diário (VMD), conforme manual do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), é determinado como sendo o número médio de veículos diversos que percorre uma seção ou parte da via em certo período no decorrer de um dia. Quando não se especifica o período considerado, pressupõe-se que são análises diárias de um ano. O volume de tráfego é, portanto, o número de veículos que passam por uma seção de uma via, ou de uma determinada faixa, durante uma unidade de tempo (DNIT, 2006).

O fluxo de veículos nas vias urbanas da cidade de Fortaleza é estabelecido por informações do setor de Controle de Trânsito de Fortaleza (CTAFOR) da Autarquia Municipal de Trânsito e Cidadania (AMC), órgão da Prefeitura Municipal de Fortaleza. O setor de CTAFOR é o departamento da AMC onde estão situadas as operações de engenharia de tráfego e controle do fluxo de veículos através de câmeras remotas, semáforos e sensores fixados nos pavimentos de ruas e avenidas de grande fluxo de veículos (AMC, 2019).

O CTAFOR aufere a contagem de veículos por meio de 357 sensores instalados nas principais vias de Fortaleza, sendo que, deste total, 227 unidades realizam a leitura do fluxo de veículos em todas as faixas da via e o restante é utilizado em corredores exclusivos para ônibus, táxis e veículos de serviços essenciais - como ambulâncias, bombeiros e polícia. Por intermédio deles, são determinados os VMD desses corredores de tráfego (AMC, 2019).

Os sensores encaminham dados de três empresas suas proprietárias - a Atlanta Tecnologia de Informação, Fotossensores Tecnologias e Mobilidade, Iluminação e Tecnologia (MOBIT) para a Central do CTAFOR, onde são processados os dados adquiridos e

transformados em planilhas eletrônicas. No cálculo do VMD, são considerados os dados diários de terças, quartas e quintas. Alguns dados que saem do escopo das médias diárias (<1,5 vez a média diária rotineira) são considerados dados *outlines* (AMC, 2019).

Os dados *outlines* têm origem nas vias onde o fluxo é alterado por serviços nas ruas e avenidas (tapa-buraco, asfaltamento, construções diversas) ou acidentes ocasionais (abalroamento entre veículos, atropelamentos e outros). Estes não são considerados no cômputo do VMD. A equação (25), que define o resultado do VMD obtido como parâmetro pelo CTAFOR, é assim expressa (AMC, 2019):

$$\text{VMD} = \frac{\sum v_i}{n} \quad (25),$$

onde

$v_i$ - veículos que transitam pelas vias monitoradas por dia de monitoramento e

$n$ - número de dias que foram considerados para o cálculo do VMD no mês.

A Tabela 23 expressa os 20 maiores valores de VMD da cidade de Fortaleza no ano de 2019, que foram avaliados como obstáculos físicos.

Tabela 23 – VMD (volume médio diário) de veículos das principais vias de Fortaleza em 2019

<b>Posição</b>	<b>Avenidas</b>	<b>VMD</b>	<b>Mês/Ano</b>
1	Av. Raul Barbosa	78138	mar/19
2	Av. Aguanambi	67821	mar/19
3	Av. Osório de Paiva	62056	out/19
4	Av. Pres. Castelo Branco(*)	58028	out/19
5	Av. Pres. Costa e Silva	54417	out/19
6	Av. Bezerra de Menezes	54243	out/19
7	Av. Bernardo Manuel	53034	out/19
8	Av. José Bastos	50633	out/19
9	Av. da Abolição(*)	48700	mar/19
10	Av. Borges de Melo	48243	ago/19
11	Av. Godofredo Maciel	45317	out/19
12	Av. Alm. Henrique Sabóia	43495	out/19
13	Av. Dr. Theberge(*)	42326	mar/19
14	Av. Pontes Vieira	41980	out/19
15	Av. Juscelino Kubitschek	41490	out/19
16	Av. Dr. Silas Munguba	41403	out/19
17	Av. Júlio Abreu	40911	out/19
18	Av. Alberto Craveiro	40845	mar/19
19	Av. Cel. Matos Dourado	39381	out/19
20	Av. Dom Luís	39142	out/19

Fonte: AMC (2019).

Por possuírem elevados fluxos de veículos, apesar de não serem monitoradas pela AMC, as rodovias estaduais foram anexadas à relação da Tabela 23, que recebem nomes dentro da cidade de Fortaleza como a Avenida Carlos Jereissati (CE-401), Avenida Washington Soares (CE-040), avenida Maestro Lisboa (CE-025), avenida Dr. Mendel Steinbruch (CE-060). A rodovia federal BR-116 também é acrescida, pois todas são vias de grandes fluxos de veículos com poucos semáforos.

As avenidas da Tabela 23 acompanhadas de (\*) correspondem às avenidas que não foram consideradas como obstáculos físicos por possuírem muitos semáforos próximos, que facilitam assim a transposição de pessoas de um lado para o outro da via.

O rio Maranguapinho e o rio Cocó foram considerados como obstáculos físicos, assim como as de linhas de metrô de superfície, pois essas últimas são muradas ou gradeadas nos dois lados dos trilhos, constituindo dessa forma como grandes obstáculos para passagem de pedestres. Uma parte das linhas do metrô é subterrânea não foram consideradas obstáculos físicos.

As superfícies dos polígonos de Voronoi tornam-se, então, reduzidas ou ampliadas com a formação de novas fronteiras formadas com as estabelecidas pelo algoritmo do QGIS 2.18 e os obstáculos físicos. Esses espaços assim definidos constituem as novas abrangências de influência dos ecopontos com obstáculos físicos calculados pelo QGIS em Km<sup>2</sup>.

#### ***3.4.14 As saídas gráficas***

As saídas geradas pela plataforma QGIS 2.18 são os mapas temáticos com a modelagem dos polígonos de Voronoi clássicos ou com obstáculos físicos. São produzidos também mapas temáticos do IDH- B de Fortaleza e densidade demográfica dos bairros. Esses últimos fazem parte dos mapas temáticos que constituem subsídios aos resultados dos dados gerados pela modelagem desta pesquisa, expressos no capítulo resultados e discussão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo mostra os resultados e discussão sobre os dois objetivos principais: a análise da eficiência operacional dos ecopontos pela modelagem do *DEA* (*Data Enveloped Analysis*) ou Análise das Envoltórias de Dados, e a definição das áreas de influências locais por intermédio do modelo dos polígonos de Voronoi.

Em ambos os modelos, os resultados obtidos são comentados e analisados, tencionando um aperfeiçoamento do Programa de Ecopontos na cidade de Fortaleza, porém ambos os modelos são replicáveis em situações assemelhadas em qualquer lugar.

O primeiro a ser explicitado é a análise do desempenho operacional dos ecopontos pela modelagem computacional do *DEA*.

O segundo a ser demonstrado neste capítulo é a modelagem do espaço geográfico da cidade pela técnica polígonos de Voronoi, tendo como pontos geradores os ecopontos, na determinação de suas influências ou abrangências locais.

### 4.1 A análise do desempenho operacional

O desempenho operacional dos ecopontos é realizado pela modelagem por meio do *DEA*, onde, primeiramente, são selecionados os 49 (quarenta e nove) ecopontos na cidade de Fortaleza, conforme item 3.2.5, que são as *DMUs* do modelo, no período de 12 meses do ano de 2019.

O enfoque principal são os seus dois principais programas, o *Recicla Fortaleza* e o *E-carroceiro*, onde ocorrem as bonificações provenientes das trocas pelos usuários dos resíduos recicláveis, resíduos com entulhos provenientes da construção e demolição da construção civil, as podas e cortes de espécies vegetais e resíduos volumosos. Os diversos componentes, conforme expostos na Tabela 21, são os recicláveis papel, papelão, plástico, metal e vidro, constituindo a variável recicláveis em Kg (quilograma) e o OGR (óleo e gorduras residuais) em L (litros). Por possuírem unidades diferentes, as variáveis recicláveis e OGR são analisadas separadamente, com as suas respectivas bonificações.

Outras duas variáveis são também analisadas, como os resíduos de entulhos, podas, cortes de vegetais e volumosos. Esses dois últimos são somados e constituem os resíduos volumosos. Alguns ecopontos não possuem o programa *E-carroceiro*, de modo que essas variáveis, entulhos e volumosos, não são analisadas com suas bonificações, porém nenhum prejuízo trazem à análise operacional dos ecopontos.



A Tabela 24 explicita os quantitativos totais de produção dos ecopontos no ano de 2019 para demonstrar o considerável volume de resíduos que foram coletados em Fortaleza. São mais de 79 mil toneladas de resíduos e 19.515 litros de OGR. Convém lembrar que dois ecopontos - Serrinha e São João do Tauapé - não fazem parte do estudo por não possuírem balanças para auferir os pesos dos resíduos recicláveis entregues nesses dois estabelecimentos, possuindo só produção de entulho e volumosos, cujo cômputo encontra-se incluído no total abaixo.

Tabela 24 – Quantitativos de resíduos coletados em todos os ecopontos em Fortaleza (CE) em 2019

<b>Tipo de Resíduo</b>	<b>Total</b>
Entulhos (Kg)	<b>59.513.770</b>
Volumosos (Kg)	<b>18.047.955</b>
Papel/papelão (Kg)	<b>772.523</b>
Plástico (Kg)	<b>204.738</b>
Metal (Kg)	<b>168.615</b>
Vidro (Kg)	<b>290.591</b>
OGR (L)	<b>19.515</b>

Fonte: SCSP (FORTALEZA, 2019).

Comparando a Tabela 15 com a Tabela 24, os ecopontos coletaram em quantidade aproximadamente 26,45% dos RCC que foram colocados em vias e logradouros em 2018, explicitando sua função como atenuador do descarte clandestino.

O programa computacional para análise da modelagem *DEA* é o *DEASolver Pro* da empresa Saitech, com a possibilidade de escolha de diversos modelos de *DEA* para adequada análise.

O modelo escolhido é o *DEA SBM*, orientado *output* com taxas variáveis (*DEA SBM – O – V*). A escolha desse modelo reflete a não proporcionalidade dos rendimentos ou variáveis analisadas, com uma orientação aos resultados da produção, as bonificações.

A Tabela 25 explicita as *DMUs* e os valores das variáveis utilizados na análise do *DEA SBM – O – V*.

Tabela 25 – As DMUs e valores das variáveis da modelagem, por DEA SBM- O-V

<b>Materiais=DMUs</b>	<b>Entulhos (Kg)</b>	<b>Volumosos (Kg)</b>	<b>Recicláveis (Kg)</b>	<b>Receitas Recicláveis (R\$)</b>	<b>OGR (L)</b>	<b>Receitas OGR (R\$)</b>
Aracapé(*)	92450,00	96881,61	12055,96	1874,12	295,00	59,00
Autran Nunes	2032870,00	291769,36	21752,78	2404,82	524,85	104,97
Barra do Ceará	2458100,00	320027,24	47360,83	8098,62	466,40	168,51
Bonsucesso	426030,00	308436,64	1097,09	161,58	183,70	36,74
Carlito Pamplona	1867232,00	394165,71	13936,65	3021,17	482,90	109,71
Cartier (Mondubim III)	703085,00	130907,47	8405,15	1339,30	106,91	21,38
Centro(*)	846875,00	269466,50	9251,48	839,39	30,00	6,00
Centro II(*)	403465,00	297096,14	20982,34	3299,08	313,50	62,70
Cidade 2000(*)	380837,50	147671,27	17132,39	2655,66	207,93	41,58
Cidade dos Funcionários(*)	759025,00	722498,21	15037,78	1915,73	161,49	32,27
Cocó	810667,50	522882,38	17079,63	1832,97	149,40	29,87
Cj Ceará	455790,00	122094,84	14561,12	2277,71	239,61	47,92
Cj Ceará I	557740,00	86585,57	7498,24	1110,99	12,20	2,44
Cj Ceará II	154575,00	58389,89	11917,78	1091,27	142,20	28,44
Cj Esperança (*)	435470,00	359459,22	40086,85	5836,38	507,30	101,94
Cristo Redentor	4768457,00	346397,32	27933,35	4839,46	295,50	71,11
Damas	1587060,00	582039,09	35386,20	3162,69	460,35	92,06
Dias Macedo(*)	284580,00	147442,77	22726,41	2786,63	273,75	54,75
Edson Queiroz(*)	550960,00	124679,02	33084,44	5911,96	232,00	46,40
Fátima	931395,00	511050,64	87664,55	10084,96	720,83	143,94
Granja Portugal	377400,00	401012,34	19164,47	2786,00	282,67	56,51
Guararapes(*)	540045,00	253611,25	26466,08	2612,45	87,88	17,56
Jacarecanga	2990333,00	927216,45	32564,09	4310,73	303,50	60,70
Jangurussu	526335,00	342247,03	40081,00	5749,07	371,90	75,78
Jardim Cearense(*)	426075,00	439582,49	29333,84	3489,58	214,31	42,85
João XXIII	778430,00	175117,47	3085,71	531,08	48,00	9,60
JóqueI Clube	1616441,67	261251,52	34529,24	6286,91	515,06	102,98
José Walter	145250,00	144797,50	34659,92	5281,20	884,85	176,97
Jovita Feitosa	2058010,00	524138,13	28965,27	3874,16	595,55	131,25
Leste Oeste	5838275,00	754569,40	54600,07	5631,79	932,30	190,62
Luciano Cavalcante(*)	404360,00	411113,42	20158,43	2516,61	52,41	16,99
Messejana	772885,00	313731,67	55807,39	7296,37	417,76	83,52
Mondubim	119235,00	120901,68	9037,97	1239,52	121,21	24,20
Mondubim II	124545,00	183019,16	26326,90	7581,92	574,00	114,80
Parangaba	471700,00	387351,76	36112,06	4727,31	319,25	63,85
Paupina	129785,00	90081,04	13657,81	1773,97	19,00	3,80
Parque Dois Irmãos	147520,00	93844,36	6381,26	1305,42	316,35	63,27

(Continua)

Tabela 25 – As *DMUs* e valores das variáveis da modelagem, por *DEA SBM- O-V* (Continuação)

<b>Materiais=<i>DMUs</i></b>	<b>Entulhos (Kg)</b>	<b>Volumosos (Kg)</b>	<b>Recicláveis (Kg)</b>	<b>Receitas Recicláveis (R\$)</b>	<b>OGR (L)</b>	<b>Receitas OGR (R\$)</b>
Pici	2295136,33	359336,04	25225,07	3982,70	618,55	124,61
Pirambu	1978160,00	144588,12	2507,79	301,38	16,00	3,20
Pirambu II	1025915,00	101821,25	11952,03	1718,75	359,09	71,81
Praia do Futuro(*)	399405,00	287372,39	11370,48	1587,64	118,82	23,74
São Bento	203660,00	50118,91	15146,70	2206,99	152,50	30,50
Sapiranga	671245,00	470192,21	112422,07	13727,23	525,70	104,44
Sítio São João	1064280,50	350635,94	23128,71	5029,50	275,40	55,08
Varjota	1695130,00	744414,85	75439,18	6925,06	1327,15	265,37
Vicente Pinzon	906435,00	148900,12	20307,38	3885,40	999,35	199,87
Vila Ellery	2493494,50	362925,67	13356,65	1953,29	113,00	22,60
Vila Peri(*)	790330,00	368275,65	16819,02	3298,86	545,70	109,11
Vila Velha	476135,00	284772,75	3312,56	272,22	72,00	18,00

Fonte: SCSP (FORTALEZA, 2019).

Nota: Ecopontos (\*) não possuem o programa “E- carroceiro”.

Conforme dados da Tabela 25, o ecoponto com maior quantidade de entulhos recolhidos é o Leste-Oeste, com 5388,3 t (toneladas) de um total de 51972,6 t de todos os ecopontos. O de maior produção de volumosos é o Jacarecanga, com 927,2 t de um total de 15336,9 t entregues. Quanto a recicláveis, desponta o Ecoponto São Bento, com maior volume de recicláveis - 112,4 t de um total de 1286,9 t recolhidas. Em relação ao OGR, sobressai o Ecoponto Varjota, com 1327,15 L (litros) de um total de 16.985,08 L depositados. Os quantitativos de produção constituem os dados de *inputs* para modelagem *DEA SBM- O-V*.

As bonificações dos recicláveis distribuídas possuem o maior valor - destinam-se ao Ecoponto São Bento, com R\$ 13.727,23 de um total geral de R\$ 176.427,60. As bonificações dos OGR têm o maior valor concedido no Ecoponto Varjota, com R\$ 267,15 de um total geral de R\$ 3.525,31. Esses são dados de *outputs* do modelo *DEA SBM- O-V* utilizado.

Os 12 ecopontos na Tabela 25, acompanhados de (\*), são os que não possuem o programa *E-carroceiro* para bonificação, sendo, porém comum (a todos) o programa *Recicla Fortaleza* de bonificações.

Os dados são submetidos a algumas análises estatísticas exploratórias, que estão no próximo item.

#### 4.1.1 A análise exploratória de dados

Os dados são submetidos a análise estatística exploratória prévia de medidas de posição (média), dispersão (desvio-padrão e coeficiente de variação) e análise de correlação.

Os dados de medidas de posição e dispersão, como média, desvio-padrão e coeficientes de variação das variáveis das *DMUs* para modelagem pelo *DEA SBM-O-V*, estão na Tabela 26.

Tabela 26 – Média, desvio-padrão e coeficiente de variação (CV) das variáveis das *DMUs*

Variáveis das <i>DMUs</i>	Entulhos (Kg)	Volumosos (Kg)	Recicláveis (Kg)	OGR (L)	Receitas Recicláveis (R\$)	Receitas OGR (R\$)
Média	1060666,00	312997,60	25854,49	346,63	3600,56	71,95
Desvio-padrão	1142397,00	197458,50	21473,89	277,88	2681,21	57,56
Coeficiente de Variação (CV)	0,928456	1,585131	1,203997	1,24742	1,34289	1,2499

Fonte: Elaboração própria com dados da SCSP (FORTALEZA, 2019).

Conforme a Tabela 26 mostra, o coeficiente de variação (CV) que define a heterogeneidade dos dados, afirmando-se com base nessa Tabela que são heterogêneos por possuírem valores elevados (SILVA, 2015).

Outra medida estatística utilizada na análise das variáveis é o coeficiente de correção, que mede as relações entre as variáveis e que as representa. A Tabela 27 mostra os coeficientes de correção entre as variáveis dos ecopontos (*DMUs*).

Tabela 27 – Coeficientes de correlação das variáveis das *DMUs*

Variáveis das <i>DMUs</i>	Entulhos (Kg)	Volumosos (Kg)	Recicláveis (Kg)	OGR (L)	Receitas Recicláveis (R\$)	Receitas OGR (R\$)
Entulho (Kg)	1	0,524088	0,22556	0,335804	0,192377	0,382041
Volumosos (Kg)	0,524088	1	0,484698	0,38306	0,353422	0,382154
Recicláveis (Kg)	0,22556	0,484698	1	0,611364	0,927801	0,614638
OGR (L)	0,335804	0,38306	0,611364	1	0,599831	0,981911
Receitas Recicláveis (R\$)	0,192377	0,353422	0,927801	0,599831	1	0,623338
Receitas OGR (R\$)	0,382041	0,382154	0,614638	0,981911	0,623338	1

Fonte: Elaboração própria com dados da SCSP (FORTALEZA, 2019).

A Tabela 27 explicita os coeficientes de correlação linear ou interdependência entre as variáveis. Quanto mais próximo do número um, essa relação é mais forte, quanto mais próximo de zero, correlação linear mais fraca, Isso implica maior dispersão dos dados, se comparada aos pares de variáveis. Os maiores valores de correção estão entre as receitas de recicláveis e OGR com as suas produções, respectivamente, sendo justificável esse fato por serem as receitas determinadas por suas produções.

As medidas de dispersão, como a média e o desvio-padrão, mostram não serem adequadas para análise das eficiências, pois elas devem ser analisadas como um todo, permitindo a comparação com as curvas ótimas de desempenho de todas as variáveis e não em relação a algumas variáveis, isoladamente, como a média ou amplitudes dos dados (desvio-padrão) as fazem. Portanto, para verificar a eficiência operacional dos ecopontos, o melhor modelo é o *DEA*, pois permite comparar as diversas variáveis de *inputs* e *outputs* entre elas.

O modelo *DEA SBM- O- V* realiza essa comparação e cria um escalonamento das mais eficientes a menos eficientes. Quanto mais próximos de um, mais eficientes e menores valores são classificados como menos eficientes.

#### **4.1.2 Os resultados do *DEA normal ou otimista***

A aplicação em busca da análise operacional dos ecopontos ocorre pelo modelo *DEA SBM- O – V*, que procura as folgas intrínsecas entre o excesso de entrada e o déficit de produção da unidade tomada de decisão (*DMU*), proposta por Tone (2001). É o melhor modelo, pois as variáveis analisadas são capazes de assumir qualquer dimensão, como é o caso da pesquisa, onde têm variáveis com quilogramas (Kg), litros(L) e unidade monetária real (R\$). As folgas de *input* e *output* têm suas mensurações monotônicas e decrescentes que, mantendo constantes os demais termos, a função-objetivo reduz com aumento das folgas ou desperdício. Logo, busca-se com isso encontrar a eficiência sem o desperdício dos recursos utilizados nos pagamentos das bonificações, que é o *output* do modelo.

A Tabela 28 expõe os valores de eficiência operacional dos ecopontos pelo modelo *DEA SBM-O- V* com fronteira clássica ou otimista,

Tabela 28 – Eficiência dos Ecopontos pelo DEA SBM- O –V clássico ou otimista

<b>Ecopontos</b>	<b>Eficiências</b>	<b>Ecopontos</b>	<b>Eficiências</b>	<b>Ecopontos</b>	<b>Eficiências</b>
Vila Velha	1	Barra do Ceará	1	Varjota	1
Aracapé	1	Bonsucesso	1	Sítio São João	1
Vicente Pinzon	1	Carlito Pamplona	1	Sapiranga	1
São Bento	1	Vila Peri	0,8631	Granja Portugal	0,7498
Pirambu	1	Cartier (Mondubim III)	0,8570	Pici	0,7271
Parque Dois Irmãos	1	Messejana	0,8564	Guararapes	0,7201
Paupina	1	Leste Oeste	0,8336	Dias Macedo	0,7197
Cj. Ceará I	1	Cristo Redentor	0,8280	Vila Ellery	0,7051
Cj. Ceará II	1	Parangaba	0,8266	Cidade dos Funcionários	0,7049
Mondubim II	1	Praia do Futuro	0,8184	Jovita Feitosa	0,6957
Mondubim	1	Cj. Esperança	0,8170	Jacarecanga	0,6510
Luciano Cavalcante	1	Cidade 2000	0,8142	Cocó	0,6410
José Walter	1	Pirambu II	0,7970	Centro	0,6329
Edson Queiroz	1	Jardim Cearense	0,7948	Autran Nunes	0,5618
João XXIII	1	Jóquei Clube	0,7945	Damas	0,5403
Fátima	0,9484	Cj. Ceará	0,7828		
Jangurussu	0,8694	Centro II	0,7784		

Fonte: Elaboração própria (2021).

Apesar de possuir uma grande produção de entulhos, o Ecoponto Leste-Oeste não é 100% eficiente, pois produz pouco em resíduos recicláveis. Como se nota, a análise com o *DEA* sucede com todas as variáveis que são examinadas umas em relação às outras e não separadamente, dando a verdadeira dimensão da eficiência das *DMUs*.

A Tabela 28 demonstra 21 ecopontos com eficiência de 100%, Essa baixa discriminação ocorre devido a modelagem analisar algumas variáveis mais favoráveis a eles em detrimentos de outras. Para resolver esse problema de baixa discriminação, foi introduzido o conceito de análise pela fronteira invertida.

#### **4.1.3 Os resultados do DEA invertido ou pessimista**

A solução da baixa discriminação foi introduzida inicialmente por Yamada, Matui, Sugiyama (1994) e Entani, Maeda e Mideo (2002). A análise da eficiência dos ecopontos pelo modelo *DEA SBM- O –V* com fronteira invertida consiste em trocar os *inputs* pelos *outputs* do

modelo clássico ou otimista. Assim, seriam analisados os ecopontos e definidos aqueles com as piores práticas gerenciais.

A Tabela 29 explicita os valores das eficiências operacionais dos ecopontos pela modelagem do *DEA SBM- O- V* com fronteira invertida ou pessimista.

Tabela 29 – Eficiência dos ecopontos pelo DEA SBM- O –V invertido ou pessimista

<b>Ecopontos</b>	<b>Eficiências</b>	<b>Ecopontos</b>	<b>Eficiências</b>	<b>Ecopontos</b>	<b>Eficiências</b>
Vila Velha	1	Damas	1	Jangurussu	0,3805
Vila Ellery	1	Guararapes	1	Parangaba	0,3804
Autran Nunes	1	Fátima	0,8308	Edson Queiroz	0,3642
Vicente Pinzon	1	Pici	0,7188	Centro II	0,3641
Bonsucesso	1	Jovita Feitosa	0,7112	Cj. Ceará	0,3558
Varjota	1	João XXIII	0,6482	Cj. Esperança	0,3411
Sapiranga	1	Carlito Pamplona	0,6270	Cidade 2000	0,3175
Centro	1	Vila Peri	0,5993	Cj. Ceará II	0,2858
Pirambu	1	Jóquei Clube	0,5506	Dias Macedo	0,2762
Paupina	1	Sítio São João	0,5381	Parque Dois Irmãos	0,2463
Cidade dos Funcionários	1	Barra do Ceará	0,5354	Mondubim	0,2340
Cocó	1	Messejana	0,5199	José Walter	0,1810
Luciano Cavalcante	1	Pirambu II	0,5129	São Bento	0,1634
Cj. Ceará I		Cartier (Mondubim III)	0,5010	Mondubim II	0,1387
Leste Oeste	1	Jardim Cearense	0,5002	Aracapé	0,1378
Jacarecanga	1	Praia do Futuro	0,4732		
Cristo Redentor	1	Granja Portugal	0,4222		

Fonte: Elaboração própria (2021).

Para considerar eficiente um ecoponto, deve esse *DMU* ter eficiência ótima em algumas variáveis e razoável em outras. Para avaliar esse desempenho, foi sugerida uma eficiência intermediária ou composta, cujos valores serão expostos no próximo item junto com a eficiência normalizada.

#### 4.1.4 A eficiência composta e normalizada dos ecopontos

A eficiência intermediária ou composta é a média aritmética das eficiências otimistas e pessimistas do modelo aplicado, resolvendo a baixa discriminação das *DMUs* e as

falsas deficiências. É um intermediário das duas visões otimistas e pessimistas, conforme equação (17) do item 3.2.5.

Outro aspecto na análise das eficiências operacionais dos ecopontos é a eficiência normalizada, pois as variáveis têm diversas escalas e amplitudes, sendo necessária a conversão a um valor de referência dentro de uma mesma escala, no intervalo de 0 a 1 de acordo com a equação (18) do item 3.2.5, estabelecendo, assim, os parâmetros de análise da eficiência para os ecopontos no auxílio da tomada de decisão pelos gestores.

A Tabela 30 exhibe as eficiências compostas e normalizadas dos 49 ecopontos do estudo pelo modelo *DEA SBM- O- V*.

Tabela 30 – Eficiência composta e normalizada dos ecopontos da pesquisa em 2019

<b>Ecopontos (DMUs)</b>	<b>Eficiência composta</b>	<b>Eficiência normalizada</b>
Damas	0,2702	0,2901
Autran Nunes	0,2809	0,3017
Centro	0,3165	0,3399
Cocó	0,3205	0,3442
Jacarecanga	0,3255	0,3496
Cidade dos Funcionários	0,3525	0,3785
Vila Ellery	0,3526	0,3786
Guararapes	0,3601	0,3867
Cristo Redentor	0,4140	0,4446
Leste Oeste	0,4168	0,4476
Jovita Feitosa	0,4923	0,5287
Vila Velha	0,5000	0,5370
Vicente Pinzon	0,5000	0,5370
Bonsucesso	0,5000	0,5370
Varjota	0,5000	0,5370
Sapiranga	0,5000	0,5370
Pirambu	0,5000	0,5370
Paupina	0,5000	0,5370
Cj, Ceará I	0,5000	0,5370
Luciano Cavalcante	0,5000	0,5370
Pici	0,5042	0,5415
Fátima	0,5588	0,6002
Jóquei Clube	0,6220	0,6680
Vila Peri	0,6319	0,6787
Pirambu II	0,6421	0,6896
Jardim Cearense	0,6473	0,6952
Granja Portugal	0,6638	0,7129
Messejana	0,6683	0,7177
Praia do Futuro	0,6726	0,7224
João XXIII	0,6759	0,7259

(Continua)



Tabela 30 – Eficiência composta e normalizada dos ecopontos da pesquisa em 2019 (Continuação)

<b>Ecopontos (DMUs)</b>	<b>Eficiência composta</b>	<b>Eficiência normalizada</b>
Cartier (Mondubim III)	0,6780	0,7282
Carlito Pamplona	0,6865	0,7373
Centro II	0,7072	0,7595
Cj, Ceará	0,7135	0,7663
Dias Macedo	0,7218	0,7752
Parangaba	0,7231	0,7766
Sítio São João	0,7310	0,7850
Barra do Ceará	0,7323	0,7865
Cj, Esperança	0,7380	0,7926
Jangurussu	0,7445	0,7995
Cidade 2000	0,7484	0,8037
Edson Queiroz	0,8179	0,8784
Cj, Ceará II	0,8571	0,9205
Parque Dois Irmãos	0,8769	0,9417
Mondubim	0,8830	0,9483
José Walter	0,9095	0,9768
São Bento	0,9183	0,9863
Mondubim II	0,9307	0,9995
Aracapé	0,9311	1,0000

Fonte: Elaboração própria (2021).

A Tabela 30 mostra nove ecopontos com 100% eficientes e ineficientes a saber: Vila Velha, Vicente Pinzon, Bonsucesso, Varjota, Sapiranga, Pirambu, Paupina, Conjunto Ceará I e Luciano Cavalcante, sendo, portanto, necessária uma visão intermediária da otimista com a pessimista. Ecopontos como Damas, Autran Nunes, Centro e Cocó possuem os 4 piores indicadores de desempenho operacional entre os 49 analisados.

A Tabela 30 revela que os dois programas *E-carroceiro* e *Recicla Fortaleza*, conjuntamente, são definidores de uma eficiência adequada, pois ecopontos com melhor desempenho são satisfatórios nas análises dos componentes dos dois programas sob duas visões - otimista e pessimista - como Ecopontos São Bento, Mondubim II e Aracapé. Outro aspecto é a análise feita pelo *DEA SBM – O – V* buscar o menor desperdício das bonificações para esses níveis de produções de resíduos.

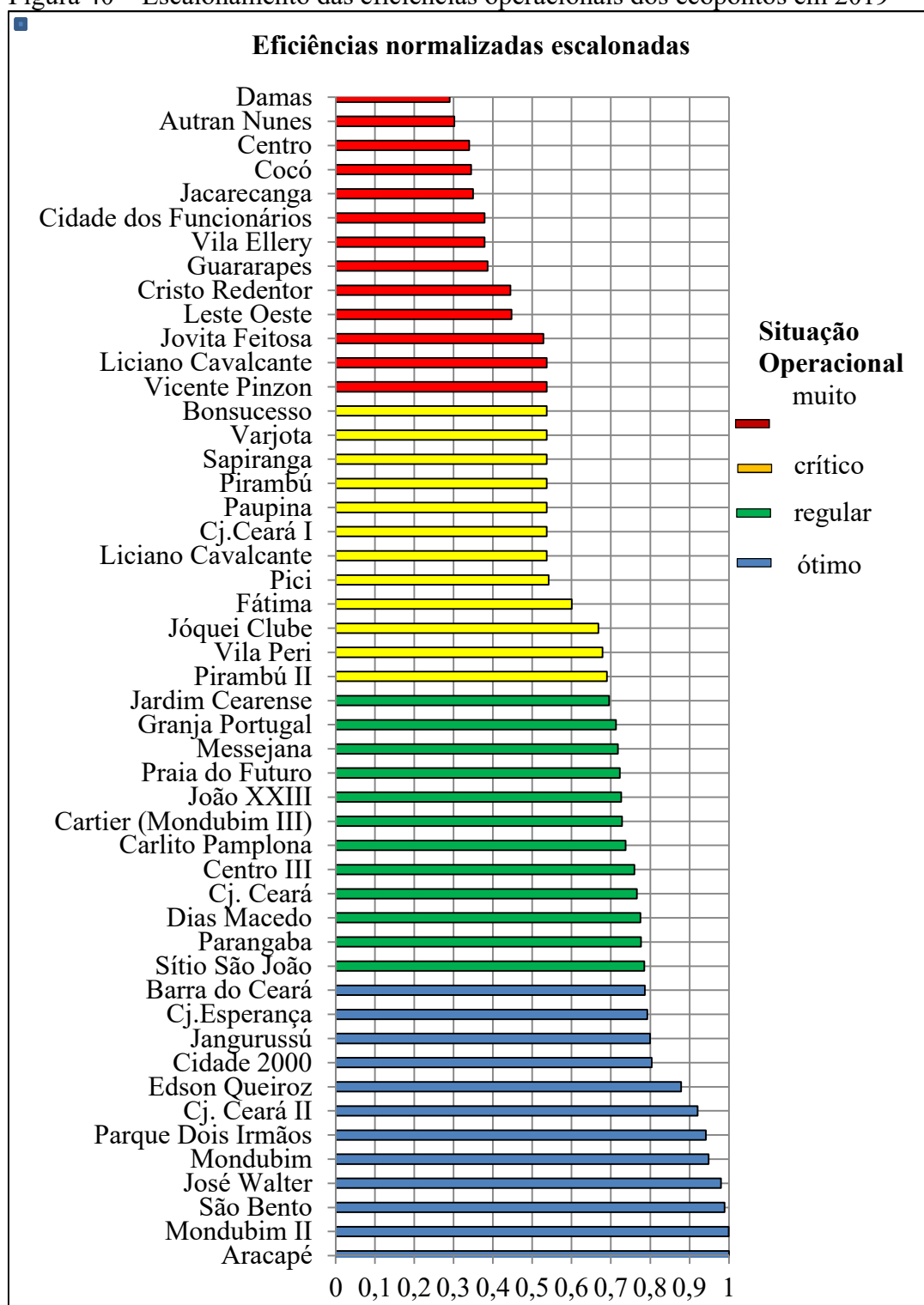
Esse modelo permite a análise de maior número de *DMUs*, mas, como anteriormente explicitado, foram utilizados dados dos ecopontos de um ano completo de 2019.

Na Tabela 30, os dados normalizados são a base para a análise da eficiência operacional dos ecopontos e que permite seu escalonamento ou “ranqueamento”.

#### 4.1.5 O escalonamento e os intervalos das eficiências

Na Figura 39, visualiza-se o escalonamento (“ranqueamento”) das eficiências operacionais dos ecopontos através por via das eficiências normalizadas em ordem crescente.

Figura 40 – Escalonamento das eficiências operacionais dos ecopontos em 2019



Fonte: Elaboração própria (2021).

As tomadas de decisão dos gestores para definir quais ecopontos necessitam de intervenção com menor brevidade, dá-se por meio do escalonamento e intervalos predefinidos.

As eficiências foram divididas em quatro grupos ou quartis pelo método inclusivo e, conforme equação (19) do item 3.2.6, têm-se os seguintes intervalos:

- Muito crítico- eficiências entre menor valor e 13º lugar inclusos no escalonamento;
- Crítico- eficiências entre 14º e 25º lugares, ambos inclusos no escalonamento;
- Regular- eficiências entre 26º e 37º lugares, ambos inclusos no escalonamento; e
- Ótima- eficiências entre 38º lugar inclusive ao maior valor no escalonamento.

Há, conforme o método incluso de determinar os quartis, quatro interstícios que propiciam ao gestor, na ordem do muito crítico ao ótimo, a necessidade de intervenções gerenciais mais urgentes ou mais tardias nos ecopontos, visando a sua melhoria operacional.

As posições são colocadas em ordem crescente, assim como as eficiências operacionais, portanto, a melhor eficiência ocupa o 49º lugar e a pior o 1º lugar na ordem crescente. Na Figura 39, os ecopontos com as barras nas cores vermelha, amarela, verde e azul indicam situações operacionais muito críticas, críticas, regulares e ótimas, respectivamente.

Dessa maneira, menciona-se que o primeiro grupo das situações dos muitos críticos está no intervalo dos Ecopontos Damas e Vicente Pinzon inclusos. O segundo grupo dos críticos está entre os Ecopontos Bonsucesso e Pirambu II inclusos. O terceiro grupo dos regulares está no intervalo fechado, incluindo os Ecopontos Jardim Cearense a Sitio São João. Finalizando, têm-se o último grupo com quadro ótimo de desempenho operacional - entre os inclusos Barra do Ceará e Aracapé.

Os ecopontos com situações de eficiência operacional muito crítica estão abaixo da média das eficiências, que é de 0,6519, necessitando de intervenções como melhorar a produção de entulhos e volumosos com aumentos também de recicláveis e OGR. Isso será possível com uma melhor interação dos dois programas *E-carroceiro* e *Recicla Fortaleza*. Isso é aprimorado com uma participação dos carroceiros cadastrados na coleta de recicláveis também.

Os ecopontos com situação crítica estão quase todos abaixo da média, com exceção dos Ecopontos Jóquei Clube, Vila Peri e Pirambu II, mas com valores não muito superiores à média das eficiências calculadas.

Os ecopontos em situação regular e ótima são assumidos como dotados de um desempenho razoável, não necessitando de intervenções imediatas, somente um acompanhamento para não perder os seus rendimentos, sendo, porém, os regulares necessitados de uma atenção maior do que os ótimos.

A análise por meio do *DEA SBM-O-V* mostra-se satisfatória no estudo das performances operacionais dos dois programas dos Ecopontos, contudo um melhor aperfeiçoamento é associá-la à análise espacial de suas localizações como proposto por Sarra *et al.* (2019). Os resultados de uma modelagem espacial das áreas de influências locais dos ecopontos no estudo da divisão do espaço geográfico da cidade são detalhados no próximo item.

#### **4.2 A análise das influências locais**

A análise das influências locais dos ecopontos é realizada pela modelagem por meio dos polígonos de Voronoi, na divisão do espaço geográfico, no intuito de otimizar e determinar as suas distâncias máximas das fontes geradoras, no caso, os 49 ecopontos dentro do espaço físico da cidade de Fortaleza. Essa modelagem é realizada com qualquer quantidade de pontos geradores, porém de forma didática para continuidade da análise operacional, é escolhido o mesmo quantitativo, conforme item 3.3.8.2 do estudo.

A plataforma computacional que produz os domínios de influências locais dos 49 ecopontos é o QGIS 2.18, um programa de código-fonte aberto (*open source*) e gratuito, que possui um algoritmo para modelagem do espaço geográfico por meio dos polígonos de Voronoi.

As saídas gráficas da modelagem são mapas temáticos com os sistemas de coordenadas geodésicas oficiais SIRGAS 2000, projetadas no formato *Universal Translator Mercator (UTM)*, fuso 24 Sul, que corresponde à área da cidade de Fortaleza (ESPG:31984, SIRGAS 2000 UTM/ zone 24 S).

Os 49 ecopontos foram localizados por estudo de campo e dados da Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Urbanos em planta georreferenciada da cidade de Fortaleza, conforme já demonstrado na Figura 37 - item 3.4.9.2 (FORTALEZA, 2019; e IPLANFOR, 2019).

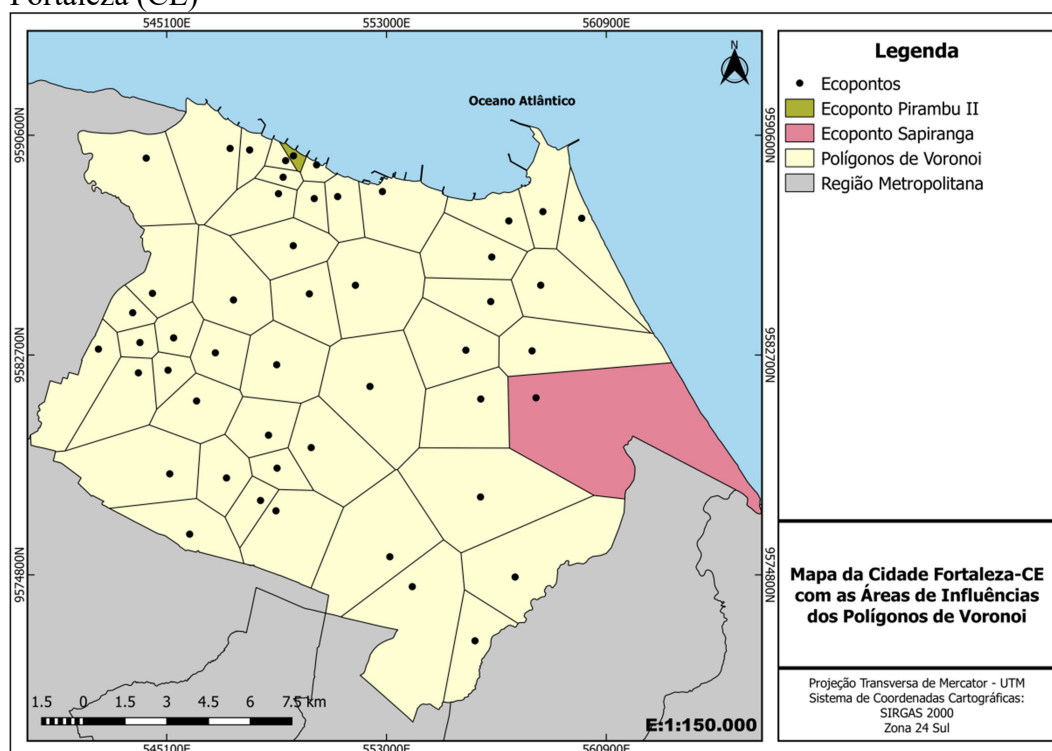
#### 4.2.1 Os resultados das áreas de influências pelos polígonos de Voronoi

Nas áreas de influência, em muitas pesquisas, foi utilizado por muitos pesquisadores o modelo dos polígonos de Voronoi, onde se busca uma melhor distribuição das instalações no espaço geográfico, tendo efeitos na logística com a melhora no fluxo de bens e serviços entre unidades organizacionais e consumidores.

O cálculo das fronteiras definidas pelas linhas limítrofes de cada um dos 49 polígonos de Voronoi, gerados pelo QGIS 2.18, definem a menor distância entre os ecopontos e essa fronteira. Dessa maneira, na tomada de decisão, obtém-se uma melhor visualização de seus domínios de influência locacional na cidade.

Na Figura 40, visualizam-se os 49 polígonos de Voronoi, tendo como pontos geradores a localização dos ecopontos na cidade de Fortaleza, conforme Figura 37.

Figura 41 – Polígonos de Voronoi gerados desde os 49 ecopontos na cidade Fortaleza (CE)



Fonte: Elaboração própria (2021).

A Figura 40 visualiza as áreas de influências locais dos 49 ecopontos da pesquisa, determinados pelo algoritmo da plataforma computacional do QGIS 2.18. O Ecoponto Pirambu II possui a menor área e o Ecoponto Sapiranga a maior. As fronteiras dos polígonos de Voronoi são as menores distâncias máximas nessas áreas para o seu respectivo

ecoponto. Com efeito, na divisão do espaço geográfico da cidade, é factível melhor se planejar as ações de limpeza e seu alcance para os usuários.

O QGIS 2.18 permite que sejam calculadas as superfícies de cada polígono gerado, exposto na Tabela 31. Essa define as medidas das superfícies dos polígonos de Voronoi, sem obstáculos físicos.

Tabela 31 – Dimensões das áreas de influências locais dos Ecopontos pelos Polígonos de Voronoi sem obstáculos físicos em Km<sup>2</sup>

<b>Ecopontos</b>	<b>Áreas (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Ecopontos</b>	<b>Áreas (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Ecopontos</b>	<b>Áreas (Km<sup>2</sup>)</b>
Pirambu II	0,40	Jardim Cearense	4,24	Pici	8,04
Leste Oeste	0,71	Paupina	4,74	José Walter	8,46
Pirambu	0,73	Guararapes	5,01	Parque 2 Irmãos	8,48
Carlito Pamplona	0,92	Vicente Pizon	5,10	Cidade 2000	9,21
Conjunto Ceará	1,48	Jovita Feitosa	5,25	Edson Queiroz	9,57
Cristo Redentor	1,72	Vila Peri	5,29	Vila Velha	9,81
Jacarecanga	1,75	Damas	5,31	Bairro de Fátima	10,07
Conjunto Ceará I	1,92	Praia do Futuro	5,46	Jangurussu	13,09
Bonsucesso	1,97	Granja Portugal	5,89	Dias Macedo	13,11
Mondubim III	2,25	Autran Nunes	6,10	Conjunto Esperança	13,19
Mondubim I	2,33	Cocó	6,18	São Bento	13,66
João XXIII	2,46	Centro	6,39	Aracapé	15,86
Centro II	2,81	Conunto Ceará II	6,44	São João	15,94
Jóquei Clube	3,71	Parangaba	7,16	Messejana	16,01
Varjota	3,93	Luciano Cavalcante	7,18	Sapiranga	27,09
Mondubim II	4,11	Barra do Ceará	7,93		
Vila Ellery	4,20	Cidade dos Funcionários	7,94		

Fonte: Elaboração própria (2021).

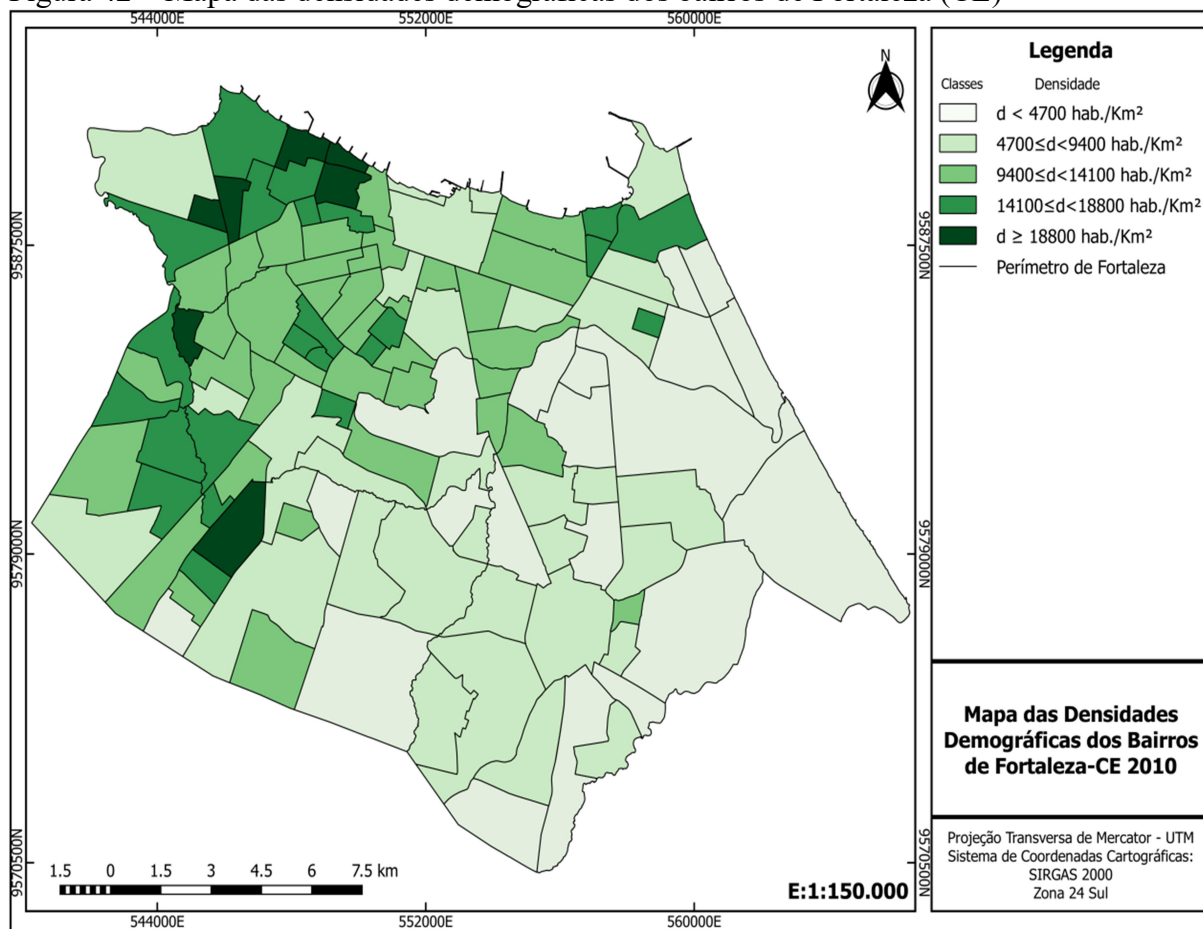
A média aritmética das áreas de influências sem obstáculos dos 49 ecopontos na cidade de Fortaleza, pela modelagem polígonos de Voronoi, é de 6,75 Km<sup>2</sup>, conforme Tabela 31. O ecoponto com menor abrangência é o Pirambu II, com 0,40 Km<sup>2</sup>, e o de maior abrangência é o Ecoponto Sapiranga, com 27,09 Km<sup>2</sup>. As áreas dos dois estão marcadas de verde e róseo, respectivamente, no mapa da cidade, de acordo com a Figura 41.

A maior concentração de ecopontos sucede na região dos bairros Pirambu e Carlito Pamplona, cujas áreas são analisadas sob a óptica de dois parâmetros, a densidade demográfica e o índice de desenvolvimento humano dos bairros (IDH- B).

#### 4.2.2 Os mapas das densidades demográficas e o IDH-B

O mapa das densidades demográficas dos bairros da cidade de Fortaleza é concebido de acordo com o item 3.4.11 e a Tabela 22. Nele se observam as densidades dos bairros divididos em quatro interstícios, do menos denso (cor verde-claro) ao mais denso (verde-escuro) conforme a Figura 41 e Censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010a).

Figura 42 – Mapa das densidades demográficas dos bairros de Fortaleza (CE)

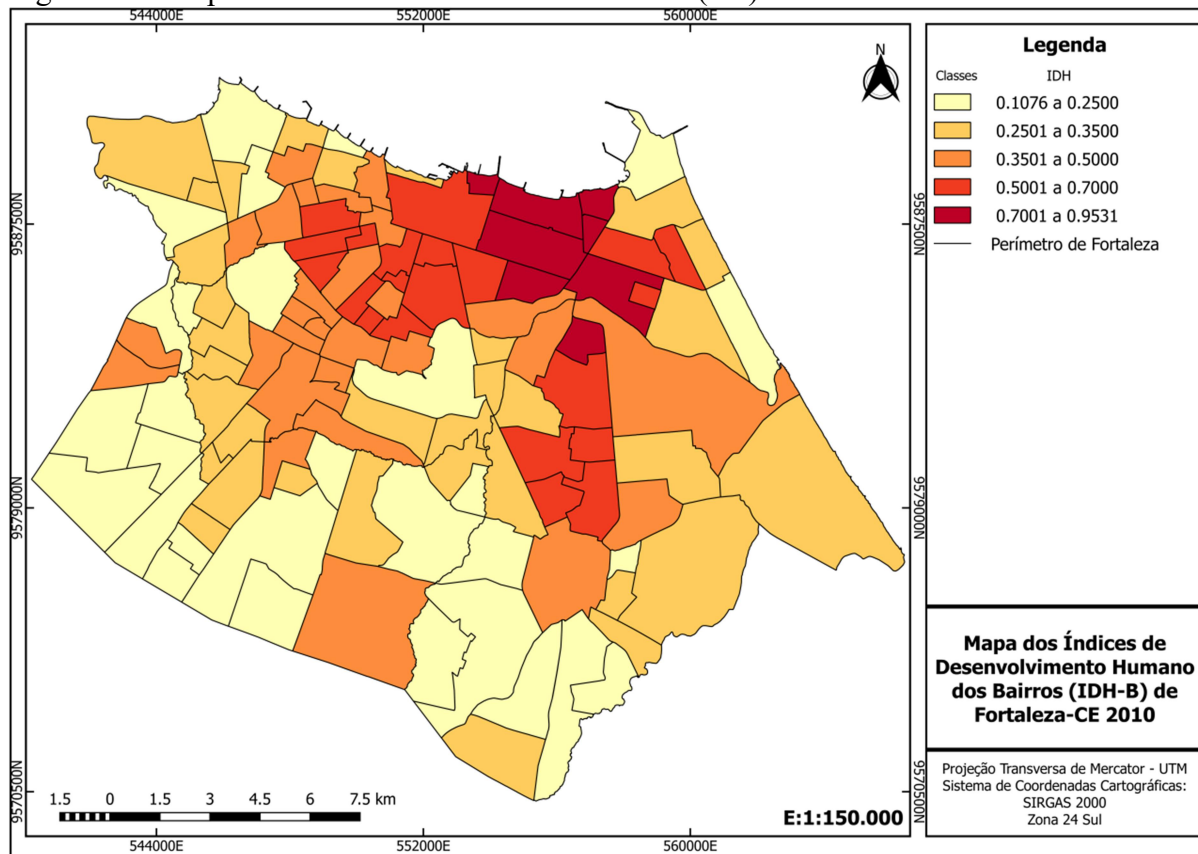


Fonte: Elaboração própria (2021).

A Figura 40 e a Figura 41 revelam que a concentração de ecopontos e as menores áreas de domínios das influências locais coincidem com as áreas de grandes densidades demográficas. Isso é benéfico, pois grandes contingentes populacionais implicam a necessidade de mais equipamentos públicos, como os ecopontos, para atendê-los. Antagonicamente, menores concentrações, como nos bairros Sapiranga e mediações, necessitam de menor número de ecopontos para satisfazer a demanda dos usuários.

Outro indicador que revela a condição socioeconômica dos bairros, segundo descrito no item 3.4.12, é o IDH- B (FORTALEZA, 2014b), cuja mostra geográfica está no mapa da Figura 42.

Figura 43 – Mapa do IDH-B dos bairros de Fortaleza (CE)



Fonte: Adaptado SMDE (FORTALEZA, 2014b).

Na Figura 42, constata-se os baixos índices de desenvolvimento humano (IDH-B) nos bairros Palmeiras, Jangurussu, Autran Nunes, Pirambu e outros, cujas superfícies estão em uma tonalidade de amarelo mais claro. Os tons mais escuros do amarelo indicam bairros de melhores condições socioeconômicas ou de um maior IDH- B.

Como os ecopontos são estabelecimentos impulsionadores de geração de renda local por meio das distribuições de bônus aos usuários, visualiza-se a necessidade de situar mais equipamentos nessas áreas mais carentes e com grandes densidades demográficas. Ecopontos nos bairros Pirambu, Carlito Pamplona, Barra do Ceará alcançam esses argumentos, porém em outras áreas, como Palmeiras e Autran Nunes, isso não acontece. Então, o estudo comparativo de áreas de influências, densidades demográficas e IDH- B são ferramentas que auxiliam na tomada de decisão de localizar novos ecopontos.

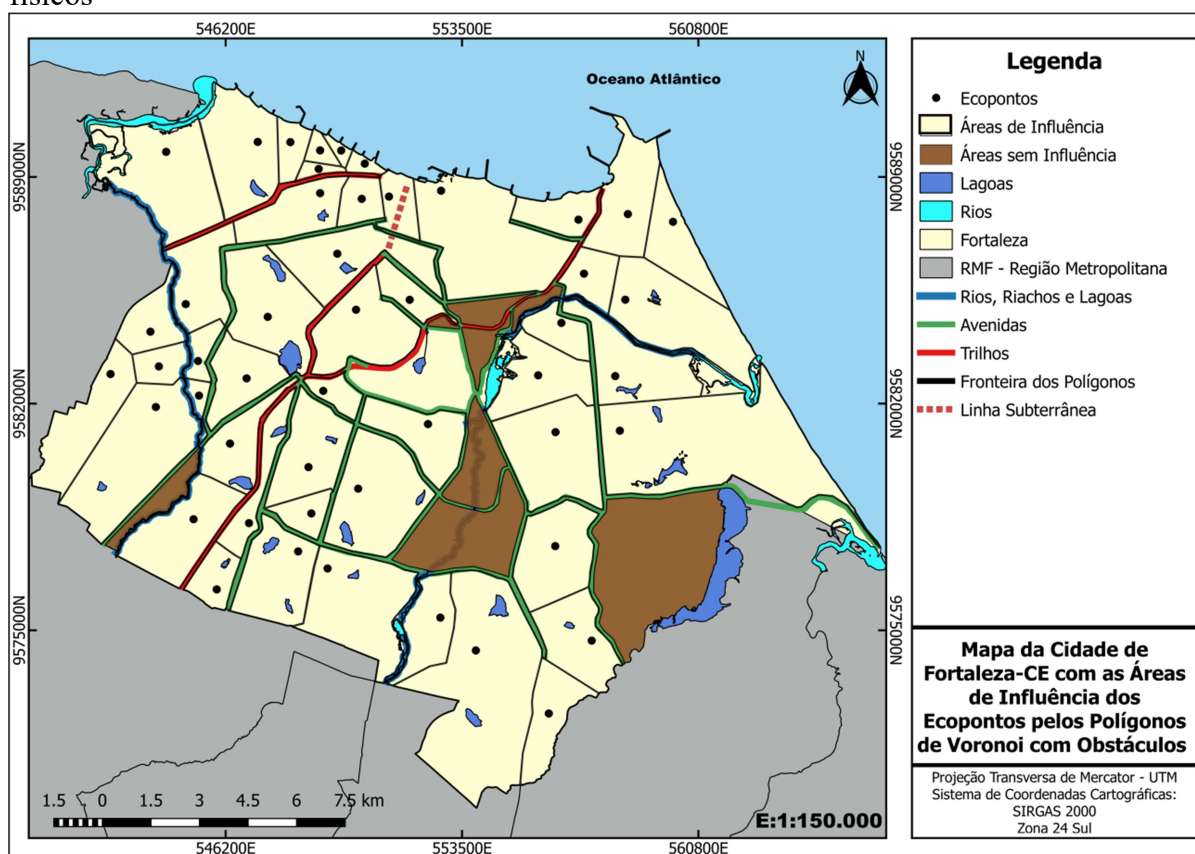


#### 4.2.3 Os polígonos de Voronoi com obstáculos físico.

Os obstáculos físicos, como rios, lagoas, riachos, linhas férreas, linhas de metrô e vias de grande fluxo de veículos, constituem entraves ao fluxo normal dos usuários ao acesso a equipamentos públicos e privados. Os limites estabelecidos por esses obstáculos físicos e as fronteiras definidas pelos polígonos de Voronoi na modelagem das suas áreas de influências delimitam as novas áreas de influências com obstáculos físicos.

A Figura 43 mostra as áreas de influências dos ecopontos pelos polígonos de Voronoi com obstáculos físicos, onde são visualizadas as novas configurações de algumas áreas.

Figura 44 – Áreas de Influências dos Ecopontos pelos Polígonos de Voronoi com obstáculos físicos



Fonte: Elaboração própria (2021).

A Figura 43 mostra as linhas azuis como os rios, riachos e lagoas, as vermelhas como os trilhos das linhas de metrô, as verdes as vias de tráfego de veículos conforme definidas no item 3.4.13, e as pretas as fronteiras dos polígonos de Voronoi. A linha

pontilhada em vermelho corresponde ao trecho subterrâneo do metrô, não considerada como obstáculo físico.

As áreas em marrom correspondem às superfícies sem influência, pois estão delimitadas somente por obstáculos físicos, necessitando, assim, do planejamento de novas unidades de ecopontos, da necessária implantação de equipamentos nessas áreas para ocupar esses vazios dos domínios de sua influência.

A plataforma QGIS 2.18, utilizada nesta pesquisa, calcula as novas áreas de influências com obstáculos físicos em Km<sup>2</sup>, conforme Tabela 32.

Tabela 32 – Dimensões das áreas de influências locais dos ecopontos pelos polígonos de Voronoi com obstáculos físicos em Km<sup>2</sup>

<b>Ecopontos</b>	<b>Áreas (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Ecopontos</b>	<b>Áreas (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Ecopontos</b>	<b>Áreas (Km<sup>2</sup>)</b>
Pirambu II	0,40	Mondubim II	2,80	Messejana	6,34
Carlito Pamplona	0,51	Conjunto Ceará I	2,92	Damas	6,45
Pirambu	0,56	Vila Peri	3,77	Conj. Esperança	6,49
Leste Oeste	0,71	Jangurussu	3,86	Jovita Feitosa	6,53
Bonsucesso	0,71	Joquei Clube	3,95	Barra do Ceará	7,23
João XXIII	1,29	Paupina	3,98	Pici	7,62
Parangaba	1,39	Praia do Futuro	4,07	Cidade dos Funcionários	8,45
Cristo Redentor	1,55	Vila Ellery	4,31	Parque 2 Irmãos	8,48
Mondubim III	1,66	Autran Nunes	4,61	José Walter	8,90
Conj. Ceará	1,75	Dias Macedo	4,61	Cidade 2000	9,06
Jacarecanga	1,75	Luciano Cavalcante	5,02	Vila Velha	10,49
Fátima	1,94	São Bento	5,06	Granja Portugal	11,07
Centro II	2,00	Jardim Cearense	5,61	Centro	12,40
Aracapé	2,09	Vicente Pizon	5,88	São João	18,45
Guararapes	2,14	Mondubim I	6,01	Sapiranga	19,19
Cocó	2,43	Conj. Ceará II	6,05		
Varjota	2,70	Edson Queiroz	6,21		

Fonte: Elaboração própria (2021).

A Tabela 32 expõe as medidas das áreas de influência locais dos ecopontos pelos polígonos de Voronoi com obstáculos físicos, cuja média é de 5,13 Km<sup>2</sup>, menor do que a modelagem clássica pelos polígonos de Voronoi (sem obstáculos físicos), que é de 6,75 Km<sup>2</sup>. Alguns ecopontos tiveram seus territórios diminuídos em número de 29 unidades, sendo a maior diminuição o Ecoponto Aracapé, com perda de 13,77 Km<sup>2</sup>.

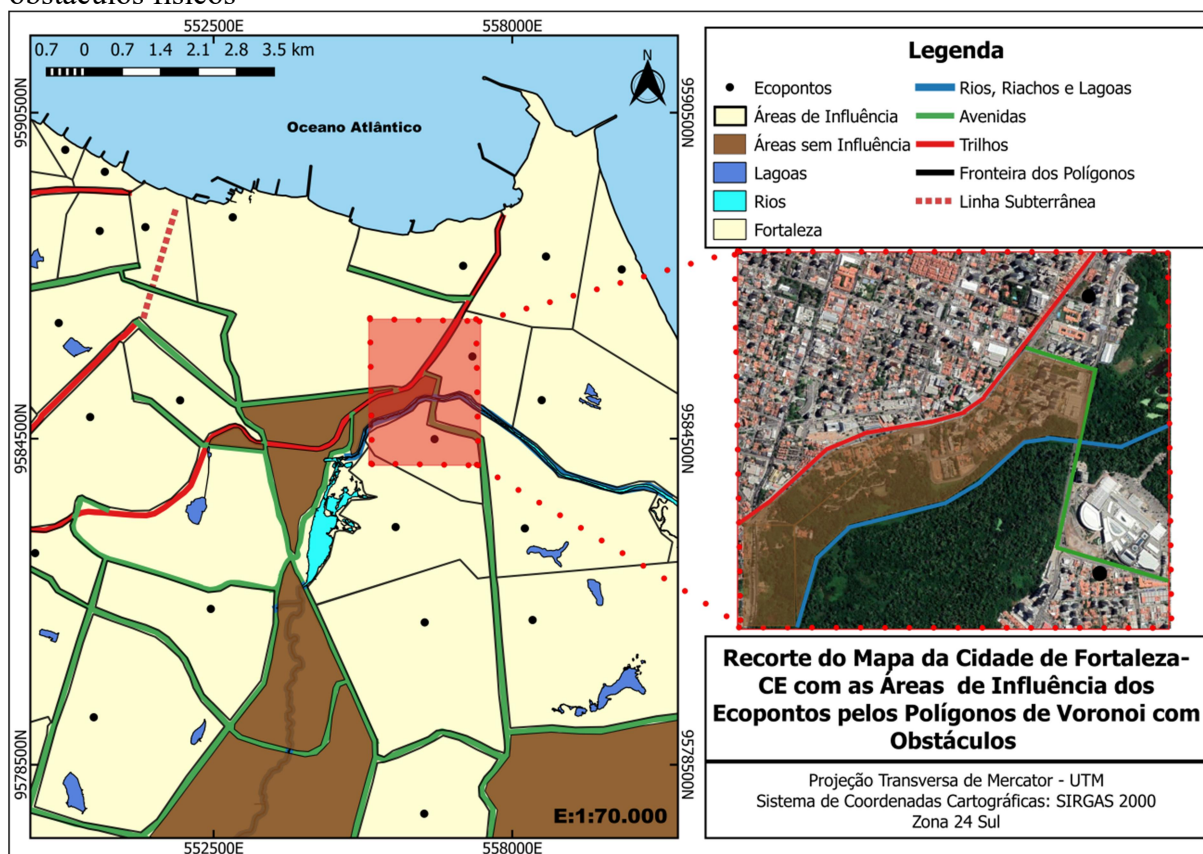
A Tabela 32 mostra também que 16 ecopontos tiveram suas áreas aumentadas, sendo o maior aumento no Ecoponto Centro, com ganho de 6,01 Km<sup>2</sup>. Somente quatro ecopontos ficaram inalterados as suas áreas.

Os ecopontos de menores e maiores dimensões de domínios de influência permanecem sendo o Ecoponto Pirambu II e Ecoponto Sapiranga, respectivamente.

Algumas áreas, de acordo com a Figura 44, não possuem áreas de influência (áreas em marrom), num total de oito e seus valores somados correspondem a 30,11 Km<sup>2</sup>, cujas áreas devem ser necessárias às implementações futuras de outros ecopontos, pois suas fronteiras são formadas por obstáculos físicos.

Com o auxílio do aplicativo gratuito *Google Earth*, desenvolvido pela *Google Corporation*, elabora-se um mapa temático, realçando os obstáculos físicos, conforme a Figura 44, de um recorte detalhando os obstáculos físicos.

Figura 45 – Recorte das áreas de influências dos ecopontos pelos polígonos de Voronoi com obstáculos físicos



Fonte: Elaboração própria (2021).

Como se comprova na Figura 445, na imagem capturada do *Google Earth*, com destaque do mapa da cidade de Fortaleza, há os limites definidos pela modelagem dos

polígonos de Voronoi e os obstáculos físicos. Aa área marcada com a cor marrom, constitui área sem influência, onde o acesso dos usuários a esse equipamento público é dificultado pela existência de rios, linhas do metrô e vias de grande fluxo de veículos.

A modelagem pelos polígonos de Voronoi com obstáculos físicos constitui importante ferramenta para o planejamento urbano na implantação de mais ecopontos, pelo fato de que áreas sem influências necessitam de cobertura por novas unidades situadas no âmbito dos seus limites.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O texto desta Tese relata uma pesquisa realizada acerca de um relevante indicador, que é a composição gravimétrica dos resíduos domiciliares, revelando um importante potencial para coleta seletiva dos resíduos recicláveis no Município de Fortaleza.

A pesquisa expõe o ambiente do ecoponto, desenvolvendo dois importantes programas, *E- carroceiro* e o *Recicla Fortaleza*, onde são bonificados os usuários pela entrega de resíduos nesses estabelecimentos públicos. Outros programas são também estabelecidos, como os ecopolos com o ciclo monitoramento e lixeiras subterrâneas; ações de fiscalização e monitoramento como o *Planeta Limpo*; programas de educação ambiental com parcerias público-privadas de revitalização de locais dos “pontos de lixo” e outros, tendo como polo irradiador o **ecoponto**.

Nesse contexto, surgem dois objetivos exploratórios das atividades desenvolvidas no ecoponto e sua distribuição espacial na cidade, a análise do desempenho operacional por meio do modelo matemático *DEA SBM- O –V* com uma metodologia multicritério e a definição das áreas de influências locais dos ecopontos, mediante os polígonos de Voronoi.

A análise do desempenho operacional dos Ecopontos é realizada pelas envoltórias de dados ótimos (fronteiras de eficiências) que servem de referência para definir os desempenhos das variáveis escolhidas para abalizar a sua eficiência operacional. O estudo utiliza o método das folgas intrínsecas entre os bens e serviços que são produzidos a taxas variáveis em relação aos insumos, razão pela qual o método é o *DEA SBM – O –V (Data Enveloped Analysis do Slacks-Based Measure orientado a outputs com taxas variáveis)*, ou modelo não paramétrico de envoltória de dados baseados nas medidas das folgas das variáveis orientando as saídas (resultados) com taxas variáveis.

A modelagem *DEA SBM- O-V* encontra as eficiências pelos modelos clássico ou otimista e o modelo invertido ou pessimista. Para resolver o problema da baixa discriminação, utiliza-se a eficiência composta, uma visão intermediária da otimista com a pessimista.

A eficiência composta por possuir escalas diferentes, pela via de um critério positivo, é normalizada, resultando na eficiência operacional dos ecopontos, que balizaram a tomada de decisão pelos gestores.

Após escalonamento de forma crescente das eficiências normalizadas, elas são divididas em quatro grupos (quartis), dando origem às categorias em situação muito crítica, crítica, regular e ótima. As duas primeiras situações (muito crítica e crítica) nesses ecopontos

mostram a necessidade de intervenções urgentes pelos gestores para melhor aproveitamento dos programas *E-carroceiro* e *Recicla Fortaleza*. Isso orienta os gestores na ordem do muito crítico ao ótimo na brevidade de intervenções, como:

1. Ampliar com a implantação do programa *E-carroceiro* em mais ecopontos;
2. Difundir nos carroceiros cadastrados a maior participação no programa de coleta seletiva *Recicla Fortaleza*;
3. Expandir as políticas de educação ambiental no entorno dos ecopontos, convocando os usuários a participar dos programas de coleta seletiva (*Recicla Fortaleza*) a utilizar os carroceiros cadastrados como meio de coletas dos seus entulhos, podas e volumosos; e
4. Instigar os órgãos das três esferas - Federal, Estadual e Municipal - a colaborar na divulgação e participação dos dois programas *Recicla Fortaleza* e *E-carroceiro*.

Essa metodologia serve, portanto, como o “termômetro” para orientar as ações dos gestores no desenvolvimento das atividades operacionais dos ecopontos.

O planejamento das ações de onde devem ser realizadas as atividades com intuito de melhoria da eficiência produtiva operacional tem definido seu alcance pela divisão do espaço geográfico da cidade por intermédio da modelagem dos polígonos de Voronoi. Nelas, portanto, são estabelecidas as fronteiras de influências de cada ecoponto, delimitando as áreas de execução do planejamento. Com o estudo moldando novas áreas de domínio de influência, considerando obstáculos físicos - como rios, riachos, lagoas, linhas de metrô, avenidas de grande fluxo de veículos - esse planejamento é aperfeiçoado.

O estudo propõe, também, na implantação de novas unidades, a avaliação por dois indicadores relacionados aos bairros da cidade de Fortaleza: as suas densidades demográficas e os seus IDH-B.

No estudo oferecido, os polígonos de Voronoi revelam também áreas sem influência, cuja implantação de futuras novas unidades far-se-ão necessárias nesses locais, pois suas fronteiras são constituídas de obstáculos físicos impeditivos do fluxo normal de acesso das pessoas aos ecopontos.

O ensaio oferece várias inovações, entre as quais o uso, conjuntamente, da análise da eficiência produtiva operacional dos ecopontos pelo modelo *DEA* com o estudo do particionamento do espaço físico da cidade pelos polígonos de Voronoi, por via de mapas temáticos.

A metodologia baseada na análise do desempenho operacional por via do *DEA SBM-O-V* e a definição das áreas de influências locais mediante os polígonos de Voronoi mostraram-se como modelos efetivos para análise dos ecopontos na cidade de Fortaleza.

O experimento revelou-se como promissor para que municípios e empresas concessionárias o utilizem como técnica investigativa, cujos objetivos são complementares entre si, em busca de maximização dos efeitos e minimização dos custos do sistema de limpeza pública da cidade, com ganhos ambientais e financeiros mediante a implantação desses estabelecimentos públicos.

Constitui-se este estudo em modelos que permitem pesquisas futuras na busca de melhorias dos métodos empregados, na demanda da eficiência operacional produtiva dos ecopontos com análise das suas influências locais.

Entre as recomendações mencionam-se:

- utilizar outros indicadores dos bairros onde estão situados os ecopontos na análise operacional por meio do *DEA- SBM- O-V*;
- atualizar a análise operacional pelo modelo *DEA SBM- O-V* para os ecopontos estabelecidos após 2019; e
- atualizar a definição das áreas de influências locais pelo modelo de Polígonos de Voronoi para os ecopontos instalados após 2019.

## REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

ABNT. **ABNT NBR 10007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

ABNT. **ABNT NBR 12810**: resíduos serviços de saúde: gerenciamento extra estabelecimento: requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT. **ABNT NBR ISO 14031**: gestão ambiental: avaliação de desempenho ambiental: diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2004c.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2017**. São Paulo: ABRELPE, 2017. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>. Acesso em 20 nov. 2019. 74 p.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil – 2018/2019**. São Paulo: ABRELPE, 2019. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>.. Acesso em: 20 nov. 2020, 68 p.

ACFOR. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Fortaleza (PMGIRS)**. Fortaleza: ACFOR, 2012. 411 p.

ACFOR. **Relatório de gestão de resíduos sólidos de Fortaleza**. Fortaleza: ACFOR, 2019.

ACFOR. **Concorrência pública nº01/2002 e contrato de concessão com exclusividade dos serviços públicos de limpeza urbana que entre si celebram o município de Fortaleza e Ecofor Ambiental S/A e seus aditivos**. Fortaleza: ACFOR 2020.

AGOVINO, Massimiliano; D'UVAB, Marcella; GAROFALO, Antonio; MARCHESANO, Katia. Waste management performance in Italian provinces: Efficiency and spatial effects of local governments and citizen action. **Journal Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 89, p. 680-695, 2018.

AHN, Taesik; CHARNES, Abraham; COOPER, William W. Efficiency characterizations in different DEA models. **Socio-Economic Planning Sciences Journal**, Amsterdam, v. 22, n. 6, p. 253-257, 1988.

ALBUQUERQUE, Erickson M. de; MODESTO, Celina A. C.; SILVEIRA, Thyago de A.; VITAL, Saulo R. de O. Análise da distribuição espacial das escolas Municipais de João Pessoa – PB. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 5., 2014, Recife. **Anais [...]**. Recife: UFPE, 2014. p. 7.

AMC. **Relatórios anuais do fluxo de veículos nas principais vias de Fortaleza**. Fortaleza: AMC: PMF, 2019.



ANDRIOLI, Rosane de Fátima; DIEHL, Carlos A.; HANSEN, Peter B. Proposta de modelo flexível para apoio à decisão de externalização: uma aplicação em logística de transporte. **Revista Gestão Organizacional**, Chapecó, v. 13, n. 2, p. 116-129, 2015.

ARAÚJO, Lúcia P. de S.; PAIXÃO, Adriano N. da; PAIXÃO, Márcia C. S. Análise da Eficiência Técnica da Prestação dos Serviços de Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos nos municípios paraibanos, *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS*, 18., 2018, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: IBRAOP, 2019. p. 13. Disponível em: [http://www.ibraop.org.br/sinaop2018/wp-content/uploads/sites/6/2018/11/A11\\_Lucia.pdf](http://www.ibraop.org.br/sinaop2018/wp-content/uploads/sites/6/2018/11/A11_Lucia.pdf). Acesso em: 25 maio 2019.

BANKER, Rajiv. D.; CHARNES, Abraham; COOPER, William W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science Journal**, Maryland, v. 30, n. 9, p. 1078-1092, 1984.

BARROS, Nicole P. do Rêgo. **Metodologia de avaliação de desempenho operacional de empresas de serviços públicos**: aplicação ao setor de saneamento. 2015. 88 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia para a Qualidade e Inovação) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

BERNARDI, José Vicente; LANDIM, Paulo M. B. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados** Rio Claro: UNESP, 2002. 31 p. (Texto Didático 10). Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>. Acesso em: 2 out. 2019.

BERTANZA, Giorgio; ZILIANI, Emanuele; MENONI, Laura; Techno-economic performance indicators of municipal solid waste collection strategies. **Revista Waste Management**, Amsterdam, v. 74, p. 86-97, 2018.

BEZERRA, Denílson V. **Avaliação de eficiência de redes corporativas utilizando análise envoltória de dados (DEA)**. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Computação) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2010.

BRASIL. **Decreto-lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943**. Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). Rio de Janeiro: Presidência da República, 1943. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto-lei/del5452.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del5452.htm). Acesso em: 20 maio 2020.

BRASIL. **Lei federal nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico (PNSB) e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2007. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm). Acesso em: 20 maio 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Instituinto a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 20 maio 2020.

BRASIL. Ministério da Economia. Subsecretaria de Inspeção do Trabalho. **Guia de elaboração e revisão de normas regulamentadoras em segurança e saúde no trabalho**,

Brasília, DF: SIT, 2018. 64 p. Disponível em:  
[https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/manuais/CGNOR\\_guia\\_normas.pdf](https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/manuais/CGNOR_guia_normas.pdf). Acesso em: 20 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Economia. Subsecretaria de Inspeção do Trabalho. **Normas regulamentadoras, NRs**. Brasília, DF: SIT, 2019. Disponível em:  
<https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-menu/sst-normatizacao/sst-nr-portugues?view=default>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Economia. Subsecretaria de Inspeção do Trabalho. **Norma regulamentadora - limpeza pública**: Portaria SIT n.º 588, de 30 de janeiro de 2017. Brasília, DF: SIT, 2017. Disponível em:  
[http://www.fundacentro.gov.br/Arquivos/sis/EventoPortal/AnexoConteudoProgramatico/Norma\\_Regulamentadora\\_-\\_Limpeza\\_Urbana%20\(1\).pdf](http://www.fundacentro.gov.br/Arquivos/sis/EventoPortal/AnexoConteudoProgramatico/Norma_Regulamentadora_-_Limpeza_Urbana%20(1).pdf). Acesso em: 10 abr. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Departamento de Gestão Estratégica. Secretaria Executiva. **Painel nacional de indicadores ambientais (PNIA), referencial teórico, composição e síntese dos indicadores da versão-piloto**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2012. Disponível em:  
[https://www.mma.gov.br/images/noticias\\_arquivos/banner\\_pnia\\_2012.pdf](https://www.mma.gov.br/images/noticias_arquivos/banner_pnia_2012.pdf). Acesso em: 12 abr. 2020.

CÂMARA, Gilberto; ORTIZ, Manuel J. **Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral**. 2002. Brasília, DF: INPE, 2002. 18 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/analise.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2020.

CANDELORO, Mauro; LEKKAS, Anastasios M.; SØRENSEN, Asgeir J Voronoi-diagram-based dynamic path-planning system for underactuated marine vessels. **Journal Control Engineering Practice**, Amsterdam, v. 61, p. 41-54, 2017.

CARNASCIALI, Ana Maria dos S. **Determinação das áreas de abrangências de pontos pelo diagrama de Voronoi com obstáculos**. 2010. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências da Terra) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

CARVALHO JÚNIOR, Francisco H. de. **Estudos de indicadores de sustentabilidade e sua correlação com a geração de resíduos sólidos urbanos na cidade de Fortaleza – CE**. 2013. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

CHARNES, Abraham; COOPER, William W.; RHODES, Edwardo L. Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal Operational Research**, Ed. Elsevier, Amsterdam, v. 2, n. 6, 429-444, 1978.

COELHO, André L. N. Sistema de Informações Geográficas (SIG) como suporte na elaboração de planos diretores municipais. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 10, n. 30, p. 93-110, 2009.

CEGÁS. **Cegás é a primeira distribuidora do Brasil a injetar o gás natural renovável em sua rede de gasodutos.** Fortaleza: CEGÁS, 2018. Disponível: <http://www.cegas.com.br/gas-natural/o-gas-natural/o-produto/>. Acesso em: 2 fev. 2019.

COOPER, William W.; SEIFORD, Lawrence M.; TONE, Karou. **Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and dea-solver software.** 2. ed. New York: Springer Science and Business Media Publishers, 2007. 483 p.

CORREIA, Valquíria M. A.; DE AQUINO, Marisete D.; THOMAZ, Antônio C. F.; CORREIA, Marcílio L. V. Estudo de caso: aspectos e impactos perceptíveis na localização de lixões municipais utilizando a ferramenta M-MACBETH. **Revista DAE**, São Paulo, v. 66, n. 211, p. 35- 49, 2018.

COUTINHO, Cadidja; RUPPENTHA, Raquel; ADAIME, Martha Bohrer; MACHADO, Marcos V. Pentáculo Ambiental: instrumento para verificação das atitudes ambientais de estudantes de Ibirubá/RS. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 1469-1478, 2016.

CUI, Can; WANG, Jiechen; PU, Yingxia; MA, Jinsong; CHEN, Gang. GIS-based method of delimitating trade area for retail chains. **International Journal of Geographical Information Science**, London, v. 26, n. 10, p. 1863-1879, 2012.

DA SILVA, Christian Luiz; FUGII, Gabriel M.; SANTOYO, Alain H. Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal perante as políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao Município de Curitiba. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 9, n. 2. p 276-292, 2017.

DAS DORES, Camila C. C. **Análise da eficiência de unidades de saúde utilizando a metodologia DEA com ponderação de resultados:** um estudo de caso das Policlínicas do Estado do Ceará. 2017. 60 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017.

DAVIS, Neema; GAURAV, Raina; KRISHNA, Jagannathan, Taxi Demand-Supply Forecasting: Impact of Spatial Partitioning on the Performance of Neural Networks. *In*: CONFERENCE ON NEURAL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS, 32., 2018, Montreal. **Annals** [...]. Montreal: NIPS, 2018. 7 p. Disponível em: <https://nips.cc/Conferences/2018>. Acesso em: 20 maio 2020.

DE ALMEIDA, Mariana R.; MARIANO, Enzo B.; REBELATTO, Daisy A. do N. Análise por envoltória de dados: evolução e possibilidades de aplicação. *In*: SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DE PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 9., 2006, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: EAESP-FGV, 2006. 17 p.

DIAS, David M.; MARTINEZ, Carlos B.; BARROS, Raphael T.V.; LIBÂNIO, Marcelo. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 325-332, 2012.

DO CARMO, Cynthia M. **Avaliação da eficiência técnica das empresas de saneamento brasileiras utilizando a metodologia DEA**. 2003. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Produção, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

DNIT. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 384 p. Disponível em: [http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/manual\\_estudos\\_trafego.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/manual_estudos_trafego.pdf). Acesso em: 20 maio 2020.

ENTANI, Tomoe; MAEDA, Yutaka; MIDEO, Tanaka. Dual models of interval DEA and its extension to interval data. **European Journal of Operation Research**, Amsterdam, v. 136, p. 32-45, 2002.

EXPÓSITO, Alfonso; VELASCO, Francisco. Municipal solid-waste recycling market and the European 2020 Horizon Strategy: A regional efficiency analysis in Spain. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 172, p. 938-948, 2018.

FERREIRA, Bruna S. T.; SILVA, Maria E. F.; BRÁS, Isabel P. L. Indicadores de qualidade na prestação de serviços de gestão de resíduos urbanos: caso de estudo. **Revista Millenium**, Viseu, v. 2, n. 48, p. 91-109, 2015.

FIDELIS, Reginaldo; COLMENERO, João Carlos. Evaluating the performance of recycling cooperatives in their operational activities in the recycling chain. **Journal Resources, Conservation & Recycling**, Amsterdam, v. 130, p. 152-163, 2018.

FIRMEZA, Sérgio de M. **Caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares de fortaleza como fator determinante do seu potencial reciclável**. 2005. 145 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

FITZ, Paulo R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2008. 159 p.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. **Decreto nº 13.151, de 06 de maio de 2013**. Regulamenta a administração do Fundo Municipal de Limpeza Urbana e dá outras providências. Fortaleza: PMF, 2013a. Disponível em: <https://diariooficial.fortaleza.ce.gov.br/?num-diario=&content-diario=&ano-diario=2013&mes-diario=05&current=2>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. **Decreto nº 13.732, de 28 de dezembro de 2015**. Estabelece os requisitos para elaboração, as modalidades, o conteúdo mínimo e o prazo de validade do plano de gerenciamento de resíduos sólidos no Município de Fortaleza e dá outras providências. Fortaleza: PMF, 2015a. Disponível em: <https://diariooficial.fortaleza.ce.gov.br/?num-diario=15677&content-diario=&ano-diario=&mes-diario=&current=>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. **Decreto nº 13.577, de 05 de maio de 2015**. Altera dispositivos do Decreto no 10.696, de 02 de fevereiro de 2000, que regulamentou a Lei nº 8.408 de 24 de dezembro de 1999, e dá outras providências (regulamenta a lei 10340 de 28 de

abril de 2015). Fortaleza: PMF, 2015b. Disponível em:  
<https://diariooficial.fortaleza.ce.gov.br/?num-diario=15618&content-diario=&ano-diario=&mes-diario=&current=>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. **Decreto nº 13.919, de 02 de dezembro de 2016.** Dispõe sobre o credenciamento de transportadores de resíduos sólidos recicláveis e de produtos e embalagens objetos de logística reversa e dá outras providências. Fortaleza: PMF, 2016a. Disponível em: <https://diariooficial.fortaleza.ce.gov.br/?num-diario=15911&content-diario=&ano-diario=&mes-diario=&current=>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. **Decreto nº 13.920, de 02 de dezembro de 2016.** Estabelece os prazos de suspensão para os transportadores de resíduos sólidos além de regulamentar documentos necessários ao controle e fiscalização da atividade e dá outras providências. Fortaleza: PMF, 2016b. Disponível em:  
<https://diariooficial.fortaleza.ce.gov.br/?num-diario=15911&content-diario=&ano-diario=&mes-diario=&current=>. Acesso em: 18 abr. 2020.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. **Lei complementar nº 0137, de 08 de janeiro de 2013.** Dispõe sobre a organização administrativa da Prefeitura Municipal de Fortaleza e dá outras providências. Fortaleza: PMF, 2013b. Disponível em:  
<https://diariooficial.fortaleza.ce.gov.br/?num-diario=&content-diario=&ano-diario=2013&mes-diario=01&current=3>. Acesso em: 18 abr. 2020.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. **Lei complementar nº 0200, de 01 de abril de 2015.** Cria a Taxa de Credenciamento e Vistoria para Transporte de Resíduos Sólidos e acrescenta dispositivos à Lei Complementar nº 159, de 23 de dezembro de 2013, que institui o Código Tributário do Município de Fortaleza. Fortaleza: PMF, 2015c. Disponível em:  
<https://diariooficial.fortaleza.ce.gov.br/?num-diario=15499&content-diario=&ano-diario=todos&mes-diario=&current=>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. **Lei nº 10.540, de 09 de novembro de 2016.** Dispõe sobre a proibição da utilização de veículos de tração animal em estabelecimentos de comercialização de material de construção e/ou similares, na forma que indica. Fortaleza: PMF, 2016c. Disponível em: <https://diariooficial.fortaleza.ce.gov.br/?num-diario=15517&content-diario=&ano-diario=&mes-diario=&current=>. Acesso em: 23 abr. 2020.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. **Lei nº 9.942, de 13 de dezembro de 2012.** Institui o Programa Municipal de Tratamento e Reciclagem de Óleos e Gorduras de Origem Vegetal ou Animal e uso Culinário. Fortaleza: PMF, 2012. Disponível em:  
<https://diariooficial.fortaleza.ce.gov.br/?num-diario=14937&content-diario=&ano-diario=&mes-diario=&current=>. Acesso em: 23 abr. 2020.

FORTALEZA. Prefeitura Municipal. **Lei nº 10.340, de 28 de abril de 2015.** Altera os arts. 1º ao 33º da Lei 8.408, de 24 de dezembro de 1999, e dá outras providências (lei atual de resíduos sólidos). Fortaleza: PMF, 2015d. Disponível em:  
<https://diariooficial.fortaleza.ce.gov.br/?num-diario=15517&content-diario=&ano-diario=&mes-diario=04&current=>. Acesso em: 23 abr. 2020.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos. **Relatório de Gestão de Resíduos Sólidos de Fortaleza**. Fortaleza: SCSP, 2014a.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos. **Relatório de Gestão de Resíduos Sólidos de Fortaleza**. Fortaleza: SCSP, 2015e.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos. **Relatório de Gestão de Resíduos Sólidos de Fortaleza**. Fortaleza: SCSP, 2016d.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos. **Relatório de Gestão de Resíduos Sólidos de Fortaleza**. Fortaleza: SCSP, 2017.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos. **Relatório de Gestão de Resíduos Sólidos de Fortaleza**. Fortaleza: SCSP, 2018.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Conservação e Serviços Públicos. **Relatório de Gestão de Resíduos Sólidos de Fortaleza**. Fortaleza: SCSP, 2019.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico de Fortaleza. **Desenvolvimento humano, por bairro, em Fortaleza**. Fortaleza: SMDE 2014b. 10 p.

Disponível em:

<https://salasituacional.fortaleza.ce.gov.br:8081/acervo/documentById?id=22ef6ea5-8cd2-4f96-ad3c-8e0fd2c39c98>. Acesso em: 12 dez. 2019.

FORTALEZA. Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente. **Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas do Município de Fortaleza**. Fortaleza: SEUMA, 2015f. 232 p.

FORTUNE, Steven. A sweepline algorithm for Voronoi Diagrams. **Algorithmica**, New York, v. 2, p. 153-174, 1987.

GALLARDO, Antonio; CARLOS, Mar; COLOMER, Francisco Javier O.; EDO-ALCÓN, Natalia. Analysis of the waste selective collection at drop-off systems: Case study including the income level and the seasonal variation. **Revista Waste Management & Research**, London, v. 36, n. 1, p. 30-38, 2018.

GODECKE, Marcos V.; NAIME, Roberto H.; FIGUEIREDO, João Alcione S.; O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 8, n. 8, p. 1700-1712, 2012.

GOLANY, Boaz; ROLL, Yaakov. An Application procedure for DEA. **Omega International Journal of Management Science**, Amsterdam, v. 17, n. 3, p. 237-250, 1989.

GOMES, Claudia da C.; OLIVEIRA, Rafael S. de. Agentes de limpeza pública: um estudo sobre a relação prazer/sofrimento no ambiente laboral. **Revista Psicologia: ciência e profissão**, Brasília, DF, v. 33, p. 138-153, 2013. Número especial.

GRZESICA, Dariusz. Design of polish logistics network. **Journal Procedia Engineering**, Amsterdam, v. 161, p. 259-263, 2016.

GUADALUPE, Diogo de C.; MOURA, Ana Clara M. The model of voronoi's polygons and density: diagnosis of spatial distribution of education services of EJA in Divinópolis, Minas Gerais, Brazil. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE INPUT SMART CITY - PLANNING FOR ENERGY, TRANSPORTATION AND SUSTAINABILITY OF THE URBAN SYSTEM, 8., 2014, Nápoles. **Anais** [...]. Nápoles: [s. n.], 2014. 13 p.

HAMMOND, Allen; ADRIAANSE, Albert; RODENBURG, Eric; BRYANT, Dirk; WOODWARD, Richard. **Environmental indicators**: A systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable. Washington D.C: World Resource Institute, 1995. 58 p.

HOORNERG, Daniel; FREIRE, Mila. **Building sustainability in an urbanizing world**: A partnership report. Washington, DC: World Bank, 2013. 216 p. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/622651468320375543/Main-report>. Acesso em: 2 nov. 2019.

HUANG, You-Ti; PAN, Tze-Chin; KAO, Jehng-Jung. Performance assessment for municipal solid waste collection in Taiwan. **Journal of Environmental Management**, Amsterdam, v. 92, n. 4, p. 1277-1283, 2011.

IGUELMAR MIRANDA, José. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 4. ed., rev. e atual. Brasília, DF: EMBRAPA, 2015. 399 p.

INSTITUTO BANCO PALMAS. **Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP), agente financeiro do programa E-carroceiro**. Fortaleza: Banco Palmas, 2020. Disponível em: <http://www.institutobancopalmas.org>. Acesso em: 20 maio 2020.

IBGE. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 dez. 2019.

IBGE. **Estimativa da população em 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=16985&t=resultados>. Acesso em: 2 fev. 2020.

IBGE. **Estimativa da população em 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=16985&t=resultados>. Acesso em: 2 fev. 2020.

IBGE. **Mapas digitais, bases e referências, bases cartográficas, malhas municipais do Estado Ceará em 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b. Disponível em: [https://geofp.ibge.gov.br/organizacao\\_do\\_territorio/malhas\\_territoriais/malhas\\_municipais/municipio\\_2010/ce/](https://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2010/ce/). Acesso em: 13 maio 2020.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Amostragem por Domicílios Contínua - PNAD contínua de 2016 a 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9171-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-mensal.html?=&t=downloads>. Acesso em: 3 fev. 2020.

IPLANFOR. **Fortaleza 2040, plano de desenvolvimento econômico e social: diagnóstico preliminar**. Fortaleza: IPLANFOR, 2015. 30 p. Disponível em: <http://forum.fortaleza2040.fortaleza.ce.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/ANEXO-III-RES%C3%84DDUOS-S%C3%93LIDOS.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2020.

IPLANFOR. **Fortaleza em mapas: informações georreferenciadas**. Fortaleza: IPLANFOR, 2019. Disponível em <http://mapas.fortaleza.ce.gov.br/#/>. Acesso em 30 mai. 2019.

INSTITUTO E-DINHEIRO BRASIL. **Quem somos nós e comércios cadastrados em Fortaleza (CE)**. Fortaleza: E-Dinheiro, 2020. Disponível em: <http://edinheirobrasil.org>. Acesso em: 20 maio 2020.

IPECE. **Perfil municipal, município de Fortaleza, IPECEDATA, Sistema de Informações Geossocioeconômicas do Ceará**. Fortaleza: IPECE, 2019. 14 p. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml>. Acesso em: 30 maio 2019.

JACOBI, Pedro R.; BESEN, Gina R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

KASTRISIOS, Christos; TSOULOS, Lysandros. Voronoi tessellation on the ellipsoidal earth for vector data. **International Journal of Geographical Information Science**, London, v. 32, n. 8, p. 1541-1557, 2018.

KAZA, Silpa; YAO, Lisa; BHADA-TATA, Perinaz; VAN WOERDEN, Frank. **What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050**. Washington, DC: World Bank, 2018. 295 p. (Urban Development Series). Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em: 12 nov. 2019.

LANGFORD, Eric, Quartiles in elementary statistics. **Journal of Statistics Education**, Chico, v. 14, n 3, p. 1-26, 2006. Disponível em: [www.amstat.org/publications/jse/v14n3/langford.html](http://www.amstat.org/publications/jse/v14n3/langford.html). Acesso em: 1 ago. 2020.

LETA, Fabiana R.; SOARES DE MELLO, João Carlos C. B.; GOMES, Eliane G.; MEZA, Lídia A. Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. **Revista Investigação Operacional**, Lisboa, v. 25, n. 2, p. 229-242, 2005

LIMA, José D. de; JUCÁ, José Fernando T.; NÓBREGA, Cláudia C.; MARIANO, Maria Odete de H.; CARVALHO JÚNIOR, Francisco Humberto de; LIMA, Maria Tereza C. D. de. Modelo de apoio à decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na Região Nordeste do Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, Cidade do México, v. 6, n. 3, p. 11-28, 2013.

LOPES, Daniela de C.; MELO, Evandro de C. **Desenvolvimento de algoritmos**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 31 p. Apostilha de aula do Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <ftp://ftp.ufv.br/dea/Disciplinas/Evandro/Eng691/Material%20Didatico/ApostilaAlgoritmos.pdf>. Acesso em: 25 set. 2020.



LOVELL, Christopher A. K.; FRIED, Harold O.; SCHMIDT, Shelton S. **The measurement of productive efficiency: techniques and applications**. Oxford: Oxford University Press, 1993. 438 p.

MARTÍNEZ, Rayén Q. **Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe**. Santiago: CEPAL, 2007. 228 p. (Series Manuales).

MEDEIROS, Julie E. da Silva F.; DA PAZ, Adriano R.; MORAIS JÚNIOR, Joácio de A.; Análise da evolução e estimativa futura da massa coletada de resíduos sólidos domiciliares no município de João Pessoa e relação com outros indicadores de consumo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n.1, p. 119-130, 2015.

MEZA, Lída A.; BIONDI NETO, Luiz; SOARES DE MELLO, João C. C.; GOMES, Eliane G. Sistema Integrado de Apoio à Decisão (SIAD): um pacote de software para o modelo de análise de envelopamento de dados. **Revista Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 3, p. 493-503, 2005.

MIRANDA, Marcelo Gonçalves. **Análise da eficiência de unidades de negócio do varejo utilizando DEA (Data Envelopment Analysis)**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015.

MORENO-REGIDOR, Pilar; LACALLEB, Jesús G. L. de; MANSO-CALLEJO, Miguel-Ángel. Zone design of specific sizes using adaptive additively weighted Voronoi diagrams, **International Journal of Geographical Information Science**, London, v. 26, n. 10, p. 1811-1829, 2012.

MOURA, Ana Clara M. Aplicação do modelo de polígonos de Voronoi em estudos de áreas de influência de escolas públicas: estudo de caso em Ouro Preto (MG). *In*: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS REGIONAIS E URBANOS, 7., 2009, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: USP, 2009. 25 p. Disponível em: <https://www.revistaaber.org.br/rberu/article/view/55>. Acesso em: 20 nov. 2009.

MUCELIN, Carlos A.; BELLINI, Marta. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 111-124, 2008.

NAÇÕES UNIDAS. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Objetivos para um desenvolvimento sustentável: agenda 2030**. New York: Cúpula das Nações Unidas, 2015. 49 p. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2019.

NANNI, Arthur; BARROS, Felipe Sodré; FILHO Leônidas D.; SOUZA, Marcelo S.; PEREIRA FILHO, Narcélio de Sá; SCHABERLE, Goveia S. **QGIS User Guide Versão 2.18**. [S. l.]: QGIS Project, 2019. 469 p. Versão traduzida para português brasileiro. Disponível em: [https://docs.qgis.org/2.18/pdf/pt\\_BR/QGIS-2.18-UserGuide-pt\\_BR.pdf](https://docs.qgis.org/2.18/pdf/pt_BR/QGIS-2.18-UserGuide-pt_BR.pdf). Acesso em: 20 set. 2020.

NUTEC. **Inauguração da primeira estação de gás natural renovável no Ceará.** Fortaleza: NUTEC, 2018. Disponível: <https://www.nutec.ce.gov.br/inauguracao-da-primeira-estacao-de-gas-natural-renovavel-no-ceara/>. Acesso em: 25 fev. 2019.

O'LEARY, Philip R.; WALSH, Patrick W. **Decision-maker's guide to solid waste management.** EPA 530-R-95-023. Washington, DC: EPA, 1995. v. 2. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.EXE?ZyActionL=Register&User=anonymous&Password=anonymous&Client=EPA&Init=1>. Acesso em: 20 mar. 2019.

PARADI, Joseph C.; SHERMAN, H. David; TAM, Fai Keung. **Data envelopment analysis in the financial services industry.** New York: Springer, 2018. 370 p. (International series in operations research & management science book series, v. 266). Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-69725-3>. Acesso em: 13 maio 2020.

PEDROSA, Nathália L.; SANTOS, Vanessa da F.; PAIVA, Simone de S.; GALVÃO, Marli T. G.; DE ALMEIDA, Rosa L. F.; FRANCO, Ligia R.; KERR, Sansigolo. Assistência especializada para pessoas com aids no Estado do Ceará, Brasil. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 49, n. 77, p. 1-7, 2015.

PÊGO FILHO, Bolivar. **Logística e transportes no Brasil: uma análise do programa de investimentos 2013-2017 em rodovias e ferrovias, relatório de pesquisa.** Brasília, DF: IPEA, 2016. 22 p. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7420/1/RP\\_Log%C3%ADstica\\_2016.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7420/1/RP_Log%C3%ADstica_2016.pdf). Acesso em: 20 ago. 2020.

PEREIRA, Suellen S.; CURI, Rosires C.; CURI, Wilson F. Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma proposta metodológica de construção e análise para municípios e regiões. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, p. 471-483, 2018.

PÉREZ-LÓPEZ, Gemma; PRIOR, Diego; ZAFRA-GÓMEZ, José L. Temporal scale efficiency in DEA panel data estimations: An application to the solid waste disposal service in Spain. **Omega Journal**, Amsterdã, v. 76, n. 1, p. 18-27, 2018.

PIROLI, Edson Luís. **Introdução ao geoprocessamento.** São Paulo: Editora Universidade Estadual Paulista, 2010. 46 p. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/321109871\\_INTRODUCAO\\_AO\\_GEOPROCESSAMENTO](https://www.researchgate.net/publication/321109871_INTRODUCAO_AO_GEOPROCESSAMENTO). Acesso em: 10 maio 2020.

POKOJSKI, Wojciech; POKOJSKA, Paulina. Voronoi diagrams–inventor, method, applications. **Journal Polish Cartographical Review**, Berlim, v. 50, n. 3, p. 141-150, 2018.

POLAZ, Carla Natacha M.; TEIXEIRA, Bernardo A. do N. Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, n.3, p. 411-420, 2009.

NAÇÕES UNIDAS. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano dos Municípios do Brasil.** Brasília, DF: PNUD, 2010.

Disponível em: [http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil\\_m/fortaleza\\_ce](http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/fortaleza_ce). Acesso em: fev. 2019.

RAMOS, Francisco; TRILLES, Sergio; MUÑOZ, Andrés; HUERTA, Joaquín. Promoting pollution-free routes in smart cities using air quality sensor networks. **Sensors Journal**, Basel, v. 18, n. 8, p. 2-19, 2018.

RAMOS, Naiara F.; GOMES, Juliano C.; CASTILHOS JÚNIOR, Armando, B.; GOURDON, Rémy. Desenvolvimento de ferramenta para diagnóstico ambiental de lixões de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 1233-1241, 2017.

REEM, Daniel. The geometric stability of Voronoi diagrams with respect to small changes of the sites. In: ANNUAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL GEOMETRY, 27., 2011, Paris. **Anais** [...]. Paris: Association for Computing Machinery, 2011. 30 p. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1998196.1998234>. Acesso em: 20 fev. 2020.

REZENDE, Flavio Astolpho V. S.; ALMEIDA, Renan M. V.; NOBRE, Flavio F. Diagramas de Voronoi para a definição de áreas de abrangência de hospitais públicos no município do Rio de Janeiro. **Revista Caderno Saúde Pública**, Rio de Janeiro. v. 16, n. 2, p. 467-475, 2000.

ROGGE, Nicky; DE JAEGER, Simon. Evaluating the efficiency of municipalities in collecting and processing municipal solid waste: A shared input DEA-model. **Journal Waste Management**, London, v. 32, n. 10, p. 1968-1978, 2012.

ROGGE, Nicky; DE JAEGER, Simon, Measuring and explaining the cost efficiency of municipal solid waste collection and processing services. **Omega Journal**, Amsterdam, v. 41, n. 4, p. 653-664, 2013.

SANTIAGO, Leila S.; DIAS, Sandra M. F. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 203-212, 2012.

SANTOS, Gemelle O.; SILVA; Luiz Fernando F. da. Os significados do lixo para os garis e catadores de Fortaleza (CE, Brasil). **Revista Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 8, p. 3413-3419, 2011.

SARRA, Alessandro; MAZZOCCHITTI, Marialisa; NISSI, Eugenia; QUAGLIONE, Davide. Considering spatial effects in the evaluation of joint environmental and cost performance of municipal waste management systems. **Journal Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 106, p. 105-116, 2019.

SILVA, Ana Nobre; LIRA, Cristina Ponte; TABORDA, Rui; CATALÃO, João. **Sistemas de informação geográfica: análise espacial**. Lisboa: DGRM, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/312383824>. Acesso em: 20 maio 2020.

SILVA, Ruam M. da. **Utilização da análise envoltória de dados na otimização de um modelo de logística reversa de pneus inservíveis para Fortaleza**. 2015. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SNIS. **Série histórica**. Brasília, DF: SNIS, 2019. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

SNIS. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos, versão republicada**. Brasília, DF: SNIS, 2017. 199 p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>. Acesso em: 15 mar. 2020.

SNIS. **Glossário de informações**. Brasília, DF: SNIS, 2014. 100 p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-rs-2014>. Acesso em: 16 mar. 2020.

SNIS. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos**. Brasília, DF: SNIS, 2018. 247 p. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>. Acesso em: 15 mar. 2020.

SLACK, Nigel; CHAMBLES, Stuart; HARLAND, Christine; HARISSON, Alan; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2006. 525 p.

SOARES DE MELLO, João C. C. B.; MEZA, Lídia A.; GOMES, Eliane G.; BIONDI NETO, Luiz. Curso de análise de envoltória de dados. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 37., 2005, Gramado. **Anais** [...]. Gramado: SBPO, 2005. 28 p.

SOUSA, Sabrina R. **Normalização de critérios ambientais aplicados à avaliação do ciclo de vida**. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

TEIXEIRA, Carlos A.; AVELINO, Catarina; FERREIRA, Fátima; BENTES, Isabel. Statistical analysis in MSW collection performance assessment. **Revista Waste Management**, Amsterdam, v. 34, n. 9, p. 1584-1594, 2014.

THIESSEN, Alfred H. Precipitation Averages for Large Areas. **Monthly Weather Review Journal**, Boston, v. 39, n.7, p. 1082-1089, 1911.

TONE, Karou. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, New York, v. 130, n. 3, p. 498-509, 2001.

USEPA. **Advancing sustainable materials management: Facts and figures**. Washington, DC: USEPA, 2017. Disponível em: <https://www.epa.gov/smm/sustainable-materials-management-smm-web-academy-webinar-facts-and-figures-2017-assessing-trends#descrip>. Acesso em: 5 maio 2020.

VALDEVINO, Adriano A. F.; MEDEIROS, Júlio C. L.; NASCIMENTO, Adriano P.; PESSÔA, Aurélio P. Avaliação da eficiência dos serviços de saneamento básico no combate às endemias nos municípios do Estado do Tocantins. **Revista Informe Gepec**, Toledo, v. 14, n. 2, p. 166-181, 2010.

VILHENA, André; MARCHI, Isabela; ORTEGA, Luiz G.; FORTI, Venancio. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 4. ed. São Paulo: CEMPRE, 2018. 316 p. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/manuais#ctrl-17>. Acesso em: 20 nov. 2019.

VORONOI, Georgii F. Nouvelles applications des parametres continus à la théorie des formes quadratiques. **Journal fuer die Reine und Angewandte Mathematik**, Berlim, v. 133, p. 97-178, 1908.

WANG, Shuwei; SUN, Lishan; RONG, Jian; YANG, Zifan. Transit traffic analysis zone delineating method based on thiessen polygon. **Journal of Sustainability**, Basel, v. 6, n. 4, p. 1821-1832, 2014.

WORLD BANK, **New country classifications by income level: 2016-2017**. Washington, DC: World Bank, 2016. Disponível em: <https://blogs.worldbank.org/opendata/new-country-classifications-2016>. Acesso em: 20 dez. 2019.

YAMADA, Yoshiyasu; MATUI, Tomomi; SUGIYAMA, Manabu, New analysis of efficiency based on DEA., **Journal of the Operations Research Society of Japan**, Tokyo, v. 37, n. 2, p. 158-167, 1994.

YU, Wenhao; CHEN, Yujie; CHEN, Zhanlong; XIA, Zelong; ZHOU, Qi. Service area delimitation of fire stations with fire risk analysis: Implementation and case study. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, Basel, v. 17, n. 6, p. 2030-2055, 2020.

## ANEXO A – ENDEREÇO DOS 49 ECOPONTOS DA PESQUISA EM FORTALEZA

Endereço dos 49 Ecopontos da pesquisa em Fortaleza (CE)

<b>Ecopontos</b>	<b>Endereços</b>
Aracapé	Rua Miguel de Aragão com Rua Nossa Senhora Aparecida
Autran Nunes	Avenida Senador Fernandes Távora com Rua Desembargador Felismino
Bairro de Fátima	Avenida Eduardo Girão com Avenida Luciano Carneiro
Barra do Ceará	Rua Graça Aranha com Travessa 14 de Maio
Bonsucesso	Rua Emílio de Menezes com Luzia Moreira
Carlito Pamplona	Rua Dom Hélio Campos com Avenida Francisco Sá
Centro	Travessa Icó com Avenida Alberto Nepomuceno
Centro II	Rua Guilherme Rocha, 1427
Cidade 2000	Rua Sólon Carvalho
Cidade dos Funcionários	Rua Aluísio Barros Leal com Rua José Plutarco
Cocó	Avenida Padre Antônio Tomás com Avenida Engenheiro Santana Júnior próximo ao túnel
Conj. Ceará	Avenida Ministro Albuquerque Lima com Rua 721
Conj. Ceará I	Rua 432 com a Rua 442
Conj. Ceará II	Rua 1000 com Avenida C
Conj. Esperança Cristo Redentor	Avenida Penetração Norte-Sul com Rua do Canal Avenida Presidente Castelo Branco, 3879, Lagoa do Mel entre Travessa Jacobina e Rua Tomás Gonzaga
Damas	Rua Júlio César com Rua Macedo e Afrodísio Gondim
Dias Macedo	Rua Marechal Bittencourt com Rua Capitão João Ferreira Lima
Edson Queiroz	Rua Vereador José Batista Barbosa com Avenida Hill de Moraes
Granja Portugal	Rua Duas Nações, 1029
Guararapes	Rua Pedro Roberto Pinheiro com Avenida Washington Soares
Jacarecanga	Avenida Sargento Hermínio com Rua José Jatahy
Jangurussu	Avenida Castelo de Castro com Rua Gergelim
Jardim Cearense	Rua Holanda com Rua Coronel Jaime Rolemberg
João XXIII	Rua Travessa Rio de Janeiro com Rua Maceió
Joquei Clube	Rua Perdigão de Oliveira com Rua Silveira Filho
José Walter	Avenida B com Rua 33
Jovita Feitosa	Rua General Bernardo Figueiredo, esquina com a Rua Cruz Saldanha
Leste Oeste	Avenida Castelo Branco, ao lado do número 2958, Escola Hilberto Silva
Luciano Cavalcante	Avenida Monsenhor Carneiro da Cunha com Rua Jaime Leonel
Messejana	Rua Nicolau Coelho com Rua 24 de Novembro
Mondubim I	Rua Mangaba com Rua B
Mondubim II	Rua Carlos Pimenta com Rua Coronel Tibúrcio
Mondubim III	Rua Ônix com Quartzo
Parangaba	Rua Engenheiro José Henrique Frota com Alameda Oxóssi

## Endereço dos 49 Ecopontos da pesquisa em Fortaleza (CE) - continuação

<b>Ecopontos</b>	<b>Endereços</b>
Parque 2 Irmãos	Rua H com Rua K
Paupina	Rua Shirley com Rua Primeiro de Abril
Pici	Rua Pernambuco (UFC), ao lado esquerdo do nº 600
Pirambu	Rua Costa Matos com Rua Santa Inês Vila do Mar
Pirambu II	Rua Santa Rosa com Avenida Nossa Senhora das Graças
Praia do Futuro	Rua José Aureliano Câmara com Avenida César Cals
São Bento	Rua São Benedito
São João	Rua Verde Quarenta Dois com a Rua Verde Treze
Sapiranga	Avenida Edilson Brasil Soares com Rua Bill Cartaxo
Varjota	Rua Meruoca com Avenida Antônio Justa
Vicente Pizon	Rua Veneza com Rua Josias Paula de Sousa
Vila Ellery	Rua Gonçalo de Lagos com Rua Catarina Labourê
Vila Peri	Rua Antônio Costa Mendes, em frente ao n. 455
Vila Velha	Avenida L com Rua Jasmim

Fonte: Fortaleza (2019f).