



PROCEDIMENTO PARA DEFINIÇÃO DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS
RESPONSÁVEIS PELA COLETA DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS DOMICILIARES
COM BASE EM MEDIDAS DE ECOEFICIÊNCIA

Ricardo César da Silva Guabiroba

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Transportes.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro

Agosto de 2013

PROCEDIMENTO PARA DEFINIÇÃO DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS
RESPONSÁVEIS PELA COLETA DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS DOMICILIARES
COM BASE EM MEDIDAS DE ECOEFICIÊNCIA

Ricardo César da Silva Guabiroba

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

Examinada por:

Prof. Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

Prof. Ilton Curty Leal Junior, D.Sc.

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas, D.Sc.

Prof. Luís Alberto Duncan Rangel, D.Sc.

Prof. Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2013

Guabiroba, Ricardo César da Silva

Procedimento para Definição de Consórcios Públicos Responsáveis pela Coleta de Resíduos Recicláveis Domiciliares com Base em Medidas de Ecoeficiência/ Ricardo César da Silva Guabiroba. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

XVI, 129 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marcio de Almeida D’Agosto

Tese (doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 100 – 108.

1. Gestão de Resíduos. 2. Formação de Consórcios. 3. Ecoeficiência. I. D’Agosto, Marcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

“Confia ao SENHOR as tuas obras e teus pensamentos serão estabelecidos”.

Provérbios 16:3.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, por me guiar pelos caminhos da honra e da verdade.

A toda minha família pelo incentivo, acolhimento, carinho e conforto de todas as horas.

Aos amigos pelo apoio e amizade dispensada durante o processo de aprendizado.

A Petrobras Distribuidora pelo incentivo e apoio para a conclusão deste trabalho.

Ao Programa de Engenharia de Transportes da COPPE/UFRJ, docentes e funcionários, por ter oferecido todo o apoio necessário para a realização deste trabalho.

Ao Prof. D. Sc. Márcio de Almeida D'Agosto, pela primorosa e honrosa orientação, por todo valor e por todo conhecimento agregado a este orientando (levando-o a patamares mais altos como profissional e como ser humano), pelo incentivo, pela confiança, pela gentileza, pela atenção, pelo aprendizado e principalmente pela amizade.

A cada professor da Banca Examinadora, D. Sc. Márcio de Almeida D'Agosto, D. Sc. Ilton Curty Leal Junior, D. Sc. Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas, D. Sc. Luís Alberto Duncan Rangel e D. Sc. Hugo Tsugunobu Yoshida Yoshizaki, pela competência e pela dedicação de precioso tempo e atenção na análise, crítica e avaliação da presente Tese.

Aos amigos Prof. D. Sc. Márcio de Almeida D'Agosto, Prof. D. Sc. Ilton Curty Leal Junior e Prof. M. Sc. Marcelino Aurélio Vieira da Silva pelo grande apoio e pela grande contribuição dispensada para que fosse possível concluir a elaboração do artigo P1.

Ao Mestre Brasileiro Prof. D. Sc. Amaranto Lopes Pereira e a Querida Amiga Thereza Maria Afflalo pelo eterno legado deixado a alunos, docentes e funcionários.

Ao CNPQ e a CAPES pelo apoio dispensado aos alunos e professores, incentivando o desenvolvimento de pesquisas e a consequente disseminação do conhecimento.

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

PROCEDIMENTO PARA DEFINIÇÃO DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS
RESPONSÁVEIS PELA COLETA DE RESÍDUOS RECICLÁVEIS DOMICILIARES
COM BASE EM MEDIDAS DE ECOEFICIÊNCIA

Ricardo César da Silva Guabiroba

Agosto/2013

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Programa: Engenharia de Transportes

A formação de consórcios públicos pode ser uma opção para que regiões principalmente de países em desenvolvimento possam implementar a coleta de resíduos recicláveis. Neste contexto, esta Tese propõe um modelo de procedimento para definir consórcios públicos inter-regionais responsáveis pela implementação e pela operação da coleta diferenciada porta-a-porta. Esse procedimento é estruturado em onze etapas necessárias para a geração de opções de particionamento em (k) número de grupos e pela análise dessas opções por meio de medidas de desempenho financeiro e ambiental. Neste sentido, aplicou-se o referido procedimento para a definição de consórcios em uma região localizada no Estado do Rio de Janeiro (Brasil), composta por seis sub-regiões. Após a aplicação proposta, concluiu-se ser mais adequada a opção $k = 2$ grupos. Nessa opção, há a formação de um consórcio público composto por cinco sub-regiões de estudo e uma sub-região não deverá consorciar-se (esta é responsável pela geração de 73% dos resíduos recicláveis produzidos na região de estudo). Assim sendo, a aplicação deste procedimento permite auxiliar a tomada de decisão do analista que necessita implementar a coleta diferenciada porta-a-porta, como ação para aprimorar a gestão de resíduos sólidos de um conjunto de sub-regiões em estudo.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

PROCEDURE FOR DEFINITION OF PUBLIC CONSORTIA RESPONSIBLE FOR
COLLECTION OF DOMESTIC RECYCLABLE WASTE BASED ON
ECOEFFICIENCY MEASURES

Ricardo César da Silva Guabiroba

August/2013

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Department: Transportation Engineering

The formation of public consortia maybe an option for regions, mainly located in developing countries, to it may implement the collection of recyclable waste. In this context, this Thesis proposes a model of procedures for the definition of interregional public consortia responsible for the implementation and operation of door-to-door selective collection. This procedure is structured in eleven steps which are necessary for the generation of options of partitioning in a number (k) of groups and the analysis of these options by means of financial and environmental performance measures. In this sense, the procedure was applied to define consortia in a region located in the State of Rio de Janeiro (Brazil), composed of six subregions. After the proposed application, it is concluded that the most adequate option is $k = 2$ groups. In this option, there is the formation of a public consortium comprising five study subregions and one of the subregions must not enter the consortium (this subregion is responsible for the generation of 73% of recyclable waste produced in the study area). The application of this procedure provides assistance in decision-making on the part of the analyst who needs to implement door-to-door selective collection, as an action for the improvement of solid waste management in a group of studied subregions.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Problemática e motivação.....	1
1.2. Objeto de estudo.....	2
1.3. Hipóteses.....	4
1.4. Objetivos da Tese	4
1.5. Justificativa	4
1.6. Estrutura da pesquisa.....	5
2. ASPECTOS GERAIS DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	7
2.1. Resíduos sólidos - conceituação e classificação	7
2.2. Gestão de resíduos sólidos.....	8
2.3. Logística reversa	9
2.4. Sistemas de coleta diferenciada	10
2.4.1. Sistema de coleta diferenciada porta-a-porta.....	11
2.4.2. Sistema de coleta diferenciada em postos de entrega voluntária	11
2.5. Modelo conceitual de coleta diferenciada de resíduos domiciliares	11
2.6. Considerações finais.....	13
3. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNDO	14
3.1. Geração e composição de resíduos sólidos no mundo	14
3.2. Destinação dos resíduos sólidos em países desenvolvidos.....	18
3.3. Destinação dos resíduos sólidos em países em desenvolvimento.....	20
3.4. Desenvolvimento econômico e gestão de resíduos sólidos	24
3.5. Considerações finais.....	26
4. POLÍTICAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNDO.....	27
4.1. Política de gestão de resíduos sólidos na Europa.....	27
4.2. Política de gestão de resíduos sólidos nos EUA	28
4.3. Política de gestão de resíduos sólidos no Japão e na China	29
4.4. Política de gestão de resíduos sólidos na América Latina.....	30
4.5. Política de gestão de resíduos sólidos no Brasil	31
4.6. Considerações finais.....	34
5. PARTICIONAMENTO E FORMAÇÃO DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS	35
5.1. Conceito de análise de agrupamento	35

5.2. Algoritmos de agrupamento hierárquicos.....	36
5.3. Algoritmos de agrupamento não hierárquicos	37
5.3.1. Algoritmos não hierárquicos (de particionamento) k-means	37
5.3.2. Algoritmos não hierárquicos (de particionamento) k-medoid	39
5.4. Técnicas de validação e avaliação de particionamentos.....	40
5.4.1. Índice PBM	40
5.4.2. Índice Dunn.....	41
5.4.3. Índice Calinski e Harabasz.....	41
5.5. Ferramentas de particionamento	42
5.6. Considerações finais.....	46
6. ECOEFICIÊNCIA APLICADA AO SETOR DE TRANSPORTES	47
6.1. Conceito de ecoeficiência	47
6.2. Recursos da operação de coleta de resíduos recicláveis.....	49
6.3. Impactos ambientais causados pelo transporte de resíduos recicláveis	51
6.3.1. Impactos ambientais causados pelo consumo de energia em transportes.....	52
6.3.2. Impacto ambiental causado pela emissão de CO ₂ em transportes.....	53
6.3.3. Impactos ambientais causados pela emissão de poluentes locais.....	54
6.4. Medidas de desempenho financeiro e ambiental	55
6.5. Considerações finais.....	57
7. PROCEDIMENTO PARA DEFINIÇÃO DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS	58
7.1. Passo 1	59
7.2. Passo 2	59
7.3. Passo 3	59
7.4. Passo 4	61
7.5. Passo 5	62
7.6. Passo 6	63
7.7. Passo 7	63
7.8. Passo 8	64
7.9. Passo 9	64
7.10. Passo 10	65
7.11. Passo 11	66
7.12. Considerações finais.....	68
8. APLICAÇÃO PILOTO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO.....	69

8.1. Passo 1 - definição da região de estudo	69
8.2. Passo 2 - identificação das sub-regiões de estudo Sb_i	70
8.3. Passo 3 - definição e escolha das zonas de geração Z_{ij} e das quantidades G_{ij}	70
8.4. Passo 4 - definição do centróide CSb_i e da quantidade G_i das sub-regiões Sb_i	71
8.5. Passo 5 - definição das quantidades q_i coletadas inicialmente em cada CSb_i	71
8.6. Passo 6 - definição dos particionamentos a serem avaliados.....	74
8.7. Passo 7 - definição dos grupos GP_{kz} , centróides C_{kz} e quantidades Q_{kz}	74
8.8. Passo 8 - determinação da(s) medida(s) MDF de cada particionamento	76
8.8.1. Medida MDF1	76
8.8.2. Medida MDF2	79
8.8.3. Medida MDF3	79
8.9. Passo 9 - determinação da(s) medida(s) MDA de cada particionamento.....	80
8.9.1. Medida MDA1	80
8.9.2. Medida MDA2	81
8.9.3. Medida MDA3	82
8.10. Passo 10 - Agregação: medidas MDF e MDA de cada particionamento	83
8.11. Passo 11- Análise dos resultados e definição do(s) consórcio(s).....	89
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
Anexo I: Relatório sobre a visita técnica a recicladora Owens-Illinois	109
Anexo II: Relatório sobre a visita técnica a empresa de sucata Balprensa	110
Anexo III: Relatório sobre a visita técnica a cooperativa Esperança	111
Anexo IV: Relatório sobre a visita técnica a empresa recicladora Klabin.....	113
Anexo V: Relatório sobre a visita técnica a empresa de coleta COMDEP.....	115
Anexo VI: Relatório sobre a visita técnica ao aparista R-TEC	117
Anexo VII: Particionamento utilizando a ferramenta XLSTAT	119
Anexo VIII: Estimativa da distância total percorrida em cada grupo GP_{kz}	122
Anexo IX: Cálculo de T e W para os particionamentos em $k = 2, \dots, 5$ grupos.....	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Objeto de estudo.	2
Figura 2.1: Modelo conceitual de coleta diferenciada de resíduos domiciliares.....	12
Figura 3.1: Quantidade gerada de resíduos sólidos urbanos em diferentes países.	15
Figura 3.2: Destinação de resíduos sólidos nos EUA ao longo das décadas.....	20
Figura 3.3: Destinação de resíduos sólidos no Japão ao longo dos anos.	20
Figura 3.4: Disposição final de resíduos sólidos no Brasil em 2009 e 2010.....	22
Figura 3.5: Percentagem de reciclagem em relação ao consumo em 2009.....	22
Figura 3.6: Municípios com coleta diferenciada no Brasil.	24
Figura 4.1: Municípios em consórcios públicos no Brasil.	33
Figura 7.1: Procedimento para a definição de consórcios públicos intermunicipais.....	60
Figura 7.2: Ilustração dos Passos 1 a 4 do procedimento.....	62
Figura 7.3: Ilustração dos Passos 5 a 10 do procedimento.....	67
Figura 8.1: Estado do Rio de Janeiro e a região de estudo.....	70
Figura 8.2: Grupos GP_{kz} e seus respectivos centróides C_{kz}	75
Figura 8.3: Medidas MDF e MDA agregadas para cada opção de particionamento em (k) número de grupos.	88
Figura 8.4: Opções de particionamento de acordo com a taxa de coleta (TC).....	93
Figura A7.1: Seleção da função Cluster k -means da ferramenta XLSTAT.	119
Figura A7.2: Preenchimento do Menu Cluster k -means da ferramenta XLSTAT.	120
Figura A7.3: Apresentação dos resultados segundo a ferramenta XLSTAT.	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Agentes visitados relacionados com o objeto de estudo da Tese.....	3
Tabela 3.1 (a): Taxas de geração e composição de resíduos sólidos no mundo.....	16
Tabela 3.1 (b): Taxas de geração e composição de resíduos sólidos no mundo.	17
Tabela 3.2: Destinação de resíduos sólidos na Europa.	19
Tabela 3.3: Quantidade coletada de resíduos sólidos em toneladas em 2009.....	23
Tabela 3.4: Características da gestão de resíduos sólidos de acordo com a renda de países.	25
Tabela 5.1: Características dos algoritmos <i>k-means</i> e <i>k-medoid</i>	38
Tabela 5.2: Ferramentas computacionais com módulo para execução de técnica de particionamento (<i>clusterização</i>).	44
Tabela 5.3: <i>Checklist</i> de requisitos básicos para ferramentas de particionamento.....	45
Tabela 6.1: Itens de custo fixo e variável de um veículo-tipo.....	50
Tabela 6.2: Indicadores e medidas associados ao transporte de resíduos recicláveis.....	56
Tabela 8.1: Características das sub-regiões de estudo Sb_i	72
Tabela 8.2: Coordenadas geográficas das zonas de geração Z_{ij} e dos centróides CSb_i e suas quantidades geradas G_{ij} e G_i e coletadas q_i	73
Tabela 8.3: Quantidade de resíduos recicláveis Q_{kz} coletados em cada grupo GP_{kz}	75
Tabela 8.4: Custos fixos e variáveis do veículo-tipo caminhão leve.....	77
Tabela 8.5: Número de veículos de coleta e distância percorrida em cada grupo GP_{kz} ..	78
Tabela 8.6: Medida MDF1 em (kg) de resíduos recicláveis /R\$.	78
Tabela 8.7: Medida MDF2 em (t) de resíduos recicláveis /número de veículos.	79
Tabela 8.8: Medida MDF3 em (%) - taxa de utilização da frota.	80
Tabela 8.9: Medida MDA1 em (kg) de resíduos recicláveis / (MJ).	81
Tabela 8.10: Medida MDA2 em (kg) de resíduos recicláveis / (kg) de CO ₂	82
Tabela 8.11: Medida MDA3 em (kg) de resíduos recicláveis / (g) de poluentes locais.	83
Tabela 8.12: Medidas MDF e MDA de cada opção de particionamento.....	84
Tabela 8.13: Medidas MDF e MDA normalizadas (série padrão).	86
Tabela 8.14: Matriz de diferenças (1 - matriz da série padrão).....	86
Tabela 8.15: Coeficientes Grey e medida MDF agregada.	87
Tabela 8.16: Coeficientes Grey e medida MDA agregada.....	87
Tabela 8.17: Opções de particionamento de acordo com o peso da medida MDA.....	89

Tabela 8.18: Hierarquia de opções de particionamento.	90
Tabela 8.19: Medidas Pseudo-F aplicadas às opções de particionamento $k = 2, \dots, 5$	91
Tabela 8.20: Taxas de utilização da frota para a opção de particionamento $k = 4$	94
Tabela A1.1: Tabela de Preço de Resíduo Enfardado (R\$/kg).	113
Tabela A8.1: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 1$ grupo.	122
Tabela A8.2: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 2$ grupos.	123
Tabela A8.3: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 3$ grupos.	124
Tabela A8.4: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 4$ grupos.	125
Tabela A8.5: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 5$ grupos.	126
Tabela A8.6: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 6$ grupos.	127
Tabela A9.1: Cálculo de T para os particionamento $k = 2, \dots, 5$ grupos.	128
Tabela A9.2: Cálculo de W para o particionamento em $k = 2$ grupos.	128
Tabela A9.3: Cálculo de W para o particionamento em $k = 3$ grupos.	128
Tabela A9.4: Cálculo de W para o particionamento em $k = 4$ grupos.	129
Tabela A9.5: Cálculo de W para o particionamento em $k = 5$ grupos.	129

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (5.1)	35
Equação (5.2)	41
Equação (5.3)	41
Equação (5.4)	42
Equação (5.5)	42
Equação (5.6)	42
Equação (5.7)	42
Equação (6.1)	47
Equação (6.2)	48
Equação (6.3)	48
Equação (6.4)	49
Equação (6.5)	50
Equação (7.1)	61
Equação (7.2)	61
Equação (7.3)	63
Equação (8.1)	84
Equação (8.2)	85
Equação (8.3)	85
Equação (8.4)	85
Equação (8.5).....	85

LISTA DE SIGLAS

ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ABEAÇO	Associação Brasileira da Embalagem de Aço
ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABIVIDRO	Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APUV	Associação de Papeleiros Unidos Venceremos
BRACELPA	Associação Brasileira de Celulose e Papel
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CLARA	<i>Clustering Large Applications</i>
CLARANS	<i>Clustering Large Applications based on Randomized Search</i>
COMDEP	Companhia Municipal de Desenvolvimento de Petrópolis
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra – Escola de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
EEA	<i>European Environmental Agency</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ETC/SCP	<i>European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production</i>
EUA	Estados Unidos da América
EUROSTAT	Gabinete de Estatísticas da União Europeia
FAPERJ	Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro
GEE	Gases de Efeito Estufa
GIS	<i>Geographic Information System</i>
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBM	<i>International Business Machines</i>
IBRD	International Bank for Reconstruction and Development
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
JCPRA	<i>Japan Containers and Packaging Recycling Association</i>
LTC	Laboratório de Transporte de Carga
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MDA	Medida de Desempenho Ambiental
MDF	Medida de Desempenho Financeiro
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MMEJ	Ministério do Meio Ambiente do Japão
MP	Material Particulado
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OR/MS	<i>Institute for Operations Research and Management Sciences</i>
PAM	<i>Particioning Around Medoids</i>
PBM	Pakhira, Bandyopadhyay e Maulik
PET ¹	Politereftalato de Etileno
PET ²	Programa de Engenharia de Transporte
PEV	Ponto de Entrega Voluntária
PLASTIVIDA	Instituto Socioambiental dos Plásticos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PO	Papel Ondulado
PROCONVE	Programa de Redução de Emissões de Veículos Automotores
REN21	<i>Renewable Energy Policy Network for the 21st Century</i>
SAS	<i>Statistical Analysis System</i>
SEA	Secretaria Estadual do Ambiente
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>

1. INTRODUÇÃO

Este Capítulo tem o objetivo de apresentar os aspectos introdutórios desta Tese. Neste sentido, apresenta-se inicialmente a problemática e a motivação para o desenvolvimento deste trabalho. Em seguida, o objeto de estudo é determinado, assim como as hipóteses central e secundárias. O objetivo geral e os objetivos específicos também são definidos. Na sequência, apresenta-se a justificativa para a elaboração de um procedimento voltado a atender a motivação do estudo e, finalmente, apresenta-se a estrutura da pesquisa.

1.1. Problemática e motivação

Cada vez mais se verifica ao redor do mundo iniciativas voltadas a implementar práticas de reciclagem. Essa prática é viabilizada por meio da participação da população no que diz respeito à separação dos resíduos (recicláveis e não recicláveis) e por meio da coleta diferenciada. O sistema mais comum de coleta diferenciada é a coleta porta-a-porta, em que veículos recolhem os resíduos recicláveis em cada residência. O referido sistema é geralmente implementado pelo poder público e faz parte do serviço de limpeza urbana.

A implementação da reciclagem e da coleta diferenciada porta-a-porta de resíduos pode ser requisito obrigatório estabelecido por políticas públicas de gestão em nível federal, estadual e municipal. No entanto, dois empecilhos podem ocorrer de modo a dificultar o atendimento desses requisitos por municípios: baixo potencial financeiro para sustentar a operação dessas práticas pelos municípios e baixa quantidade de resíduos recicláveis gerados que não justifica a mobilização de estrutura para a implementação das práticas.

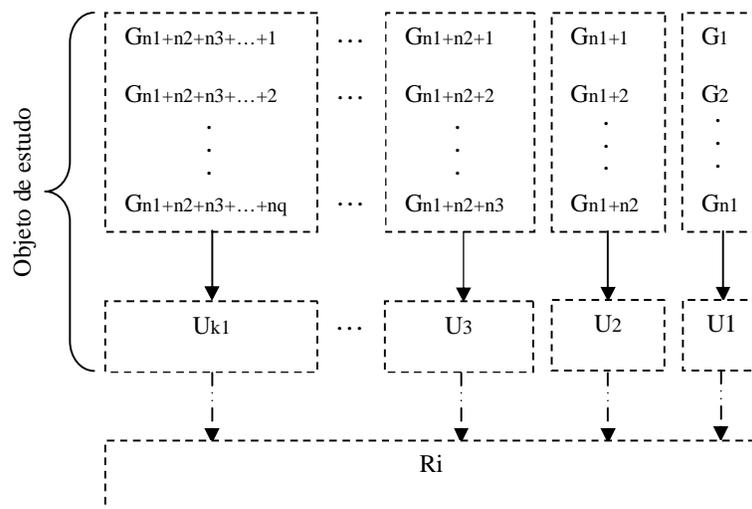
Neste contexto, uma possível solução para esses problemas seria implementar de modo conjunto as referidas práticas, em especial a coleta diferenciada porta-a-porta, a partir da formação de consórcios públicos. Esses consórcios seriam formados com o intuito de compartilhar recursos e a ratear custos de coleta. A definição desses consórcios faz parte da gestão de resíduos de municípios ou de sub-regiões (conforme aborda este trabalho). É tendência que políticas de gestão de resíduos estabeleçam como princípio, preceitos de ecoeficiência, como estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil ¹.

¹ Política Nacional de Resíduos Sólidos - Art. 6º: Princípios da Política - Parágrafo V: Ecoeficiência.

Assim sendo, a motivação para o desenvolvimento deste trabalho é auxiliar o analista que avalia a possibilidade de formação de consórcios públicos, sobretudo em regiões localizadas em países em desenvolvimento, onde políticas de gestão de resíduos sólidos estão sendo implementadas ou aprimoradas. Ao analista sugere-se considerar na referida análise medidas de desempenho financeiro e medidas de desempenho ambiental (essas últimas medidas tratam-se de medidas de ecoeficiência).

1.2. Objeto de estudo

O objeto de estudo desta Tese trata-se da cadeia de suprimento de unidades de triagem de resíduos sólidos recicláveis. O início da cadeia envolve um conjunto de residências, onde esses resíduos são gerados. Após a geração, os resíduos recicláveis são separados pelos moradores, coletados e transportados até unidades de triagem. As unidades podem ser administradas por cooperativas, por poder público ou outros agentes, como aparistas e sucateiros. Essa cadeia é apresentada a partir da Figura 1.1.



Legenda:

G: Geradores de resíduos sólidos recicláveis;

U_{ki} : Unidades de triagem;

nq : número de geradores que suprem uma unidade de triagem U_{k1} ;

R_i : Reciclador cliente de unidades de triagem U_{k1} .

Figura 1.1: Objeto de estudo.

Cabe citar que o referido objeto de estudo é parte da cadeia de suprimento de unidades de reciclagem. Com o intuito de elevar o conhecimento sobre essa cadeia na prática, de

modo a embasar a construção desta Tese, foram realizadas 6 visitas técnicas a agentes, entre eles cooperativas, sucateiros, aparistas e recicladores. A Tabela 1.1 apresenta um conjunto de informações sobre essas visitas, inclusive o Anexo onde está disponível o relatório com elementos relevantes para a elaboração deste trabalho.

Tabela 1.1: Agentes visitados relacionados com o objeto de estudo da Tese.

Nome do agente	Município	Tipo de agente	Resíduo reciclável	Data da visita	Observação	Relatório
Owens-Illinois	Rio de Janeiro	Reciclador	Vidro	16/12/2011	A	Anexo I
Balpresa	Mesquita	Sucateiro	Metais	28/12/2011	B	Anexo II
Esperança	Petrópolis	Cooperativa	Vários	16/02/2012	C	Anexo III
Klabin	Guapimirim	Reciclador	Papel	28/02/2012	D	Anexo IV
Comdep	Petrópolis	Coletor	Vários	11/04/2012	E	Anexo V
R-TEC	Paraíba do Sul	Aparista	Papel	22/06/2012	F	Anexo VI

A: Maior reciclador de vidro do estado do Rio de Janeiro; B: Maior sucateiro de ferro e aço do Brasil; C: Uma das três cooperativas de catadores de Petrópolis; D: Maior reciclador de papel da América do Sul; E: Empresa de coleta de resíduos em Petrópolis; F: Compra papel da cooperativa Esperança.

Destaca-se a visita a empresa que realiza a coleta de resíduos em Petrópolis e a visita a uma das cooperativas atuantes no mesmo município. A referida empresa é responsável pela coleta diferenciada porta-a-porta em operação. Neste sentido, foi possível coletar informações sobre planejamento, veículos, mão-de-obra e abrangência do programa de coleta estabelecido no município desde junho de 2010.

Já a cooperativa trata-se de um centro de triagem onde os resíduos recicláveis passam por processos de separação, prensagem, enfardamento e pesagem. Esses resíduos são doados pela empresa de coleta do município e são vendidos pela cooperativa a clientes, entre eles, um aparista localizado no município de Paraíba do Sul. Ambos os municípios (Petrópolis e Paraíba do Sul) pertencem à região de aplicação desta Tese.

1.3. Hipóteses

A hipótese central deste trabalho é descrita: o procedimento proposto auxilia o analista a decidir sobre a formação de consórcios públicos voltados à operação conjunta da coleta diferenciada porta-a-porta em uma região de estudo. Há ainda hipóteses secundárias:

- Pode ser recomendável mais de uma opção de formação de consórcio de acordo com os pesos atribuídos às medidas de desempenho financeiro e ambiental;
- Definidos pelo analista os pesos das medidas de desempenho financeiro e ambiental, é possível hierarquizar as opções da região de estudo;
- A opção de particionamento sugerida para a formação de consórcio após a aplicação do procedimento está em acordo com as melhores opções apontadas por uma técnica de validação de particionamento a ser definida.

1.4. Objetivos da Tese

Esta Tese tem como principal objetivo elaborar um procedimento voltado a identificar componentes de consórcios públicos, com intento de ratear custos de coleta de resíduos recicláveis, considerando preceitos da ecoeficiência ao associar na análise medidas de desempenho ambiental, em conformidade com os princípios básicos inerentes à gestão de resíduos requerida por políticas vigentes em um conjunto selecionado de países.

Como objetivos específicos, almeja-se verificar se é recomendável formar um ou mais consórcios públicos na região definida para a aplicação do procedimento proposto, além de determinar a hierarquia de opções de particionamento (que definem os consórcios) de acordo com única medida de desempenho determinada a partir da média ponderada de medidas de desempenho financeiro e ambiental de cada uma dessas opções.

1.5. Justificativa

Esta Tese visa a auxiliar o analista que avalia a possibilidade de formação de consórcios públicos (motivação). Para atender a essa necessidade, foi elaborado um procedimento em onze passos (objetivo). Um procedimento foi utilizado, pois apresenta um conjunto sequencial de ações de maneira organizada e concatenada, que permitirá ao analista ter uma visão das etapas e do todo para o alcance do objetivo tratado.

Neste contexto, o procedimento começa pela definição das áreas de estudo, partindo da região (Passo 1), suas divisões ou sub-regiões (Passo 2) e as subdivisões das sub-regiões (Passo 3). Neste Passo 3, define-se ainda se todas ou parte das subdivisões (ou zonas) de cada sub-região serão consideradas. Após essa definição, calcula-se o centróide de cada área referente ao conjunto de subdivisões escolhidas de cada sub-região (Passo 4).

Em seguida, define-se a meta de coleta mensal (Passo 5) e os particionamentos (a serem avaliados) dos centróides calculados no Passo 4, cada particionamento com (k) número de grupos (Passo 6). No Passo 6, o analista define os particionamentos e, em seguida, estes são realizados (Passo 7). Após o Passo 7, define-se as medidas de análise de custo financeiro (Passo 8) e de custo ambiental (Passo 9) que são agregadas na etapa seguinte (Passo 10). Por fim, realiza-se a análise dos resultados (Passo 11).

1.6. Estrutura da pesquisa

A presente Tese está estruturada em nove Capítulos. O presente e primeiro (1) retrata os aspectos introdutórios do estudo proposto ao apresentar a problemática e motivação, o objeto de estudo, as hipóteses, os objetivos e as justificativas do trabalho. O Capítulo seguinte (2) aborda a contextualização da coleta diferenciada porta-a-porta de resíduos recicláveis domiciliares, no que diz respeito à logística reversa e à gestão de resíduos.

Após essa etapa que define e conceitua o objeto da pesquisa, apresenta-se o Capítulo (3) voltado a criar um panorama da gestão de resíduos de diferentes países. Esse panorama envolve a definição da geração e composição de resíduos sólidos e dos tratamentos que esses países normalmente utilizam. O Capítulo (3) visa a destacar ainda as diferenças na gestão de resíduos sólidos de países desenvolvidos e em desenvolvimento.

O Capítulo seguinte (4) tem por objetivo apresentar um conjunto de leis e políticas de diferentes países. Após essa abordagem, é reforçada a diferença no nível de evolução da gestão de resíduos de países. Neste sentido, esse Capítulo apresenta aspectos da gestão de resíduos de países em desenvolvimento. Essa gestão busca igualar-se com a gestão de países desenvolvidos, o que motiva o desenvolvimento do tema deste trabalho.

Apresentados os aspectos introdutórios, a contextualização do objeto da Tese, a gestão de resíduos de diferentes países (inclusive do país onde será aplicado o procedimento elaborado neste trabalho) e as políticas motoras para o desenvolvimento dessa gestão, apresenta-se os Capítulos (5) e (6) voltados a embasar a elaboração do procedimento descrito no Capítulo (7) composto por um conjunto de onze etapas.

O Capítulo (5) apresenta tipos de algoritmos de agrupamento e algoritmos que podem ser utilizados para efetuar o particionamento em grupos (grupos com dois ou mais sub-regiões formam consórcios). Essa abordagem é necessária para a realização do Passo 7 do procedimento proposto. Além de auxiliar a definição do algoritmo, apresenta-se um conjunto de ferramentas voltadas a particionar um conjunto de dados.

Já o Capítulo (6) tem a principal função de definir medidas de desempenho financeiro e medidas de desempenho ambiental. Essas medidas estão associadas ao transporte capaz de realizar a coleta diferenciada porta-a-porta. A definição dessas medidas é necessária para auxiliar a aplicação do procedimento nos Passos 8 e 9. Além disso, esse Capítulo aborda o conceito da ecoeficiência e os impactos causados pela atividade de transporte.

O Capítulo (7) traz a abordagem inédita da Tese que se refere ao procedimento voltado a definir consórcios públicos. O procedimento proposto contempla a definição da região de estudo, das sub-regiões, da quantidade de resíduos recicláveis gerados e coletados e das opções de grupos de sub-regiões. Define ainda medidas financeiras e ambientais (ou de ecoeficiência) e, por fim, os consórcios a serem implementados.

Esse procedimento é aplicado em uma região localizada no estado do Rio de Janeiro. O Capítulo (8) apresenta essa aplicação e apresenta ainda a discussão dos resultados. Por fim, o Capítulo (9) apresenta as considerações finais do trabalho, entre elas, sugestões para novas abordagens em outros trabalhos, comentários sobre o alcance dos objetivos, limitações do estudo e observações sobre as hipóteses descritas neste Capítulo.

2. ASPECTOS GERAIS DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Este Capítulo tem o objetivo de contextualizar a coleta diferenciada porta-a-porta de resíduos sólidos domiciliares. Por meio desta coleta, esses resíduos são transportados de unidades residenciais até unidades intermediárias de processamento. Destas unidades, os resíduos seguem para unidades onde são beneficiados ou reciclados. Cabe destacar que a gestão de resíduos sólidos envolve todo este processo que deve ser implementado considerando-se as peculiaridades de cada local.

Neste contexto, apresenta-se neste Capítulo a conceituação e a classificação de resíduos sólidos, bem como apresenta-se a definição de gestão de resíduos. São abordados ainda conceitos e aspectos gerais da logística reversa, além da definição de sistemas de coleta diferenciada. Em seguida, apresenta-se um modelo conceitual de coleta diferenciada de resíduos domiciliares em que são definidos os agentes e os fluxos da referida cadeia. Por último, são expostas as considerações finais do Capítulo.

2.1. Resíduos sólidos - conceituação e classificação

Resíduo pode ser definido como todo subproduto inevitável e indesejável de atividades humanas (Rathi, 2006). Já os resíduos sólidos são definidos como materiais, objetos, substâncias, ou bens descartados no estado sólido, resultantes de atividades humanas em sociedade (ABNT, 2004). De acordo com IBAM (2001), os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com sua proveniência: (1) resíduo sólido residencial gerado em edificações residenciais; (2) resíduo sólido comercial gerado em edificações comerciais e (3) resíduo sólido público encontrado em logradouros públicos, como folhas, galhadas e restos de embalagens, papéis e alimentos.

Há ainda o (4) resíduo sólido domiciliar especial composto por entulho de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus e (5) resíduo sólido de fontes especiais, como lixo industrial, lixo radioativo, lixo de portos, aeroportos e terminais rodoferroviários, lixo agrícola e resíduo sólido de serviços de saúde. Segundo IBAM (2001), os tipos de resíduos sólidos: (1) doméstico e (2) comercial, juntos, constituem o chamado “resíduo domiciliar”. Alguns dos resíduos sólidos domiciliares são o papel, o plástico, o vidro e o metal. Esses resíduos apresentam valor de mercado que varia de acordo com requisitos, como sua separação prévia na fonte e sua limpeza.

2.2. Gestão de resíduos sólidos

Segundo Giusti (2009), as atividades humanas sempre geraram resíduos sólidos. Essa geração não acarretava grandes problemas quando a população era pequena e nômade. No entanto, essa geração tornou-se um problema com o aparecimento e o crescimento de grandes aglomerações urbanas. Neste sentido, tornou-se necessária a implementação de um processo de gestão a fim de promover uma destinação adequada a esses resíduos.

De acordo com EEA (2010), a gestão de resíduos é a coleta, o transporte, a recuperação e a disposição dos resíduos, incluindo a supervisão dessas operações e o tratamento dos locais de disposição. De acordo com EPA (2002), a gestão de resíduos é um abrangente programa de prevenção, de coleta, de reciclagem, de compostagem e de disposição de resíduos sólidos, coexistindo de modo integrado. Esta definição ressalta a integração necessária entre as atividades sob gestão que devem respeitar as peculiaridades locais.

Segundo IBAM (2001), a gestão de resíduos é o envolvimento de diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil com o propósito de realizar a limpeza urbana, a coleta, o tratamento e a disposição final dos resíduos, elevando assim a qualidade de vida da população e promovendo a limpeza da cidade. Essa definição menciona ainda que se deve considerar as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos e as características sociais, culturais e econômicas dos cidadãos.

Neste sentido, as definições apresentadas assinalam que as atividades sob gestão devem ser a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição de resíduos. Segundo Tayibi *et al.* (2007), Abu Qdais (2007), Hui *et al.* (2006) e Kum *et al.* (2005), há diversos fatores que podem influenciar essas atividades, como fatores ambientais, políticos, sócio-culturais, econômicos, mercadológicos, legislativos e técnicos.

Uma gestão de resíduos sólidos praticada de modo inadequado tem como consequência uma baixa cobertura de coleta, falta de tratamento ou disposição adequada dos resíduos gerados (Ayininuola e Muibi, 2008), um serviço de coleta irregular e abertura para atuação do setor informal (Manaf *et al.*, 2009). De acordo com Alam *et al.* (2008) e Damghani *et al.* (2008), para a população e para o meio ambiente, as consequências

diretas são alarmantes: contaminação de águas subterrâneas, proliferação de pragas e de doenças e risco de explosão em vazadouros a céu aberto².

As causas principais da falta de gestão de resíduos sólidos ou da dificuldade de alcançar sua efetividade incluem a falta de políticas e de legislações públicas adequadas, a falta de vontade política e de compromisso da sociedade, experiência técnica insuficiente, a falha na implementação e no controle de leis, recursos financeiros escassos, a alocação inadequada de recursos disponíveis e tecnologias limitadas de tratamento e disposição (Vidanaarachchi *et al.*, 2006; Liao *et al.*, 2009 e Moghadam *et al.*, 2009).

Finalmente, cabe destacar que as políticas públicas, voltadas a implementar ou melhorar a gestão de resíduos, quando existentes, devem priorizar ações para evitar a geração de resíduos sólidos. Essas políticas devem seguir uma ordem de prioridade: (1) prevenir; (2) minimizar a geração de resíduos; (3) recuperar (reciclar e compostar); (4) incinerar e (5) dispor de modo adequado³ (Henry *et al.* 2006; Tinmaz e Demir, 2006; Kofoworola, 2007; Al-Khatib, 2007; Ngoc e Schnitzer, 2009; Banar *et al.*, 2009).

2.3. Logística reversa

De acordo com Leite (2003), a logística reversa é uma área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes ao retorno de bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio de canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor ecológico, legal, logístico, econômico, de imagem corporativa, entre outros. De acordo com Stock (1992), logística reversa é um termo que se refere ao retorno de produtos ou resíduos a locais onde serão reciclados, substituídos, descartados, reutilizados, reparados ou remanufaturados.

Com a logística reversa, a tendência é aumentar o controle do ciclo de vida de produtos. Segundo Lacerda (2009), a vida de um produto, do ponto de vista logístico, não termina com sua entrega ao cliente. Produtos tornam-se obsoletos, danificam-se, não funcionam, de modo que devem ser direcionados para processamento. Do ponto de vista financeiro,

² O termo vazadouro a céu aberto, aqui introduzido, refere-se ao local onde se faz a disposição não controlada de resíduos, usualmente em grande quantidade.

³ A disposição em aterros sanitários é o modo mais adequado de disposição de resíduos sólidos no solo.

fica evidente que além dos custos de compra de matéria-prima, custos de produção, custos de armazenagem e estocagem, o ciclo de vida de um produto inclui ainda outros custos que estão relacionados a todo o gerenciamento de seu fluxo reverso.

Segundo Trigueiro (2003), as empresas tendem a desenvolver a logística reversa de seus produtos por duas razões. A primeira razão é a necessidade de atendimento a legislações ambientais relativas ao controle do ciclo de vida de seus produtos. Nesta conjuntura, as empresas passam a ser responsáveis legalmente pelos impactos ambientais causados por seus produtos. Já a segunda razão trata-se da necessidade de atender às expectativas dos consumidores cada vez mais conscientes quanto a questões ambientais. Neste sentido, a credibilidade de empresas “verdes” é atualmente uma vantagem competitiva.

Min e Ko (2008) apontam outra razão para o desenvolvimento da logística reversa: lixo possui valor financeiro. Isto é uma oportunidade estratégica para a redução de custos ao substituir matérias-primas virgens por resíduos recicláveis. Este fato gera a demanda por resíduos recicláveis domiciliares e justifica o desenvolvimento da coleta diferenciada. Mesmo com os riscos relativos à incerteza de fornecimento e à qualidade dos resíduos, apontados por Kara *et al.* (2007), é possível encontrar no mercado diversas empresas engajadas em produzir a partir de resíduos recicláveis domiciliares.

2.4. Sistemas de coleta diferenciada

Existem dois tipos de coleta de resíduos sólidos domiciliares: a coleta indiferenciada e a coleta diferenciada ou seletiva. Segundo Mattsson *et al.* (2003), a coleta indiferenciada caracteriza-se pelo recolhimento de resíduos recicláveis e não recicláveis sem distinção ou separação prévia na fonte. Já a coleta diferenciada trata-se do recolhimento apenas de resíduos recicláveis, previamente separados na fonte geradora, com destino a centros de triagem ou unidades de reciclagem (SMA-SP, 2002). Neste contexto, para a eficácia dos sistemas de coleta diferenciada, Thomas (2001) destaca a importância da participação da população no processo de separação dos resíduos sólidos na fonte.

Cabe destacar as principais vantagens que a coleta diferenciada apresenta. Dentre elas, é possível citar o aumento da vida útil de aterros sanitários com a redução dos resíduos a serem direcionados para esses locais de disposição final, a redução de custos de matéria-

prima para empresas, a geração de oportunidades de trabalho e renda a famílias carentes e a redução da exploração de matérias-primas virgens (Lima, 2006). Já as desvantagens mais significantes tratam-se do aumento do custo para a realização da coleta, o gasto de recursos para a conscientização da população e o aumento da poluição atmosférica com a utilização de mais veículos necessários para a realização da coleta diferenciada.

2.4.1. Sistema de coleta diferenciada porta-a-porta

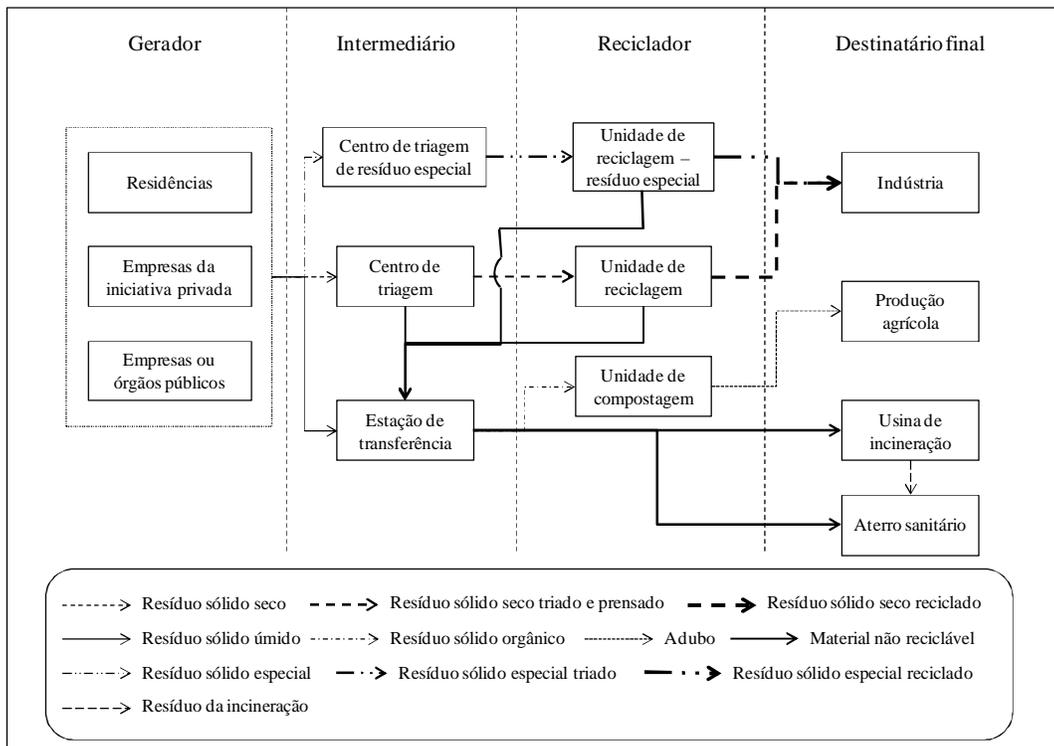
Segundo González-Torre *et al.* (2003), esse sistema de coleta trata do recolhimento dos resíduos sólidos recicláveis domiciliares por veículos que visitam cada ponto de geração de uma determinada localidade. O ponto de geração e de armazenamento dos resíduos é quase que coincidente. Em casas, os recipientes de armazenamento são individuais e em apartamentos esses recipientes são compartilhados. Devido ao grande número de pontos a serem visitados nesse sistema, o custo operacional é geralmente alto. No entanto, é o sistema mais utilizado no mundo, pois é fácil de implementar além de garantir uma participação maior da população (Lima, 2006).

2.4.2. Sistema de coleta diferenciada em postos de entrega voluntária

Segundo Bassani (2011), esse sistema trata da coleta de resíduos sólidos recicláveis por veículos que devem visitar postos de entrega voluntária (PEVs), conhecidos ainda como pontos verdes. A responsabilidade da população é levar os resíduos sólidos recicláveis até esses postos, geralmente localizados em praças públicas ou outros locais de fácil acesso. Devido ao menor número de pontos a serem visitados neste sistema, seu custo operacional é menor comparado ao custo do sistema de coleta porta-a-porta. No entanto, esse sistema é mais dependente da participação da população. Além disso, os recipientes de armazenamento são vulneráveis ao vandalismo (Lima, 2006).

2.5. Modelo conceitual de coleta diferenciada de resíduos domiciliares

O modelo proposto fundamentado por pesquisa nacional e internacional é apresentado a partir da Figura 2.1, segundo LTC/PET/COPPE/UFRJ (2012). Esse modelo considera o processo de coleta diferenciada de resíduos sólidos domiciliares. Esses resíduos podem ser classificados em resíduos secos, úmidos ou especiais. Os resíduos secos podem ser recicláveis, como papéis, plásticos, metais e vidros. É necessário citar ainda os agentes pertencentes a essa cadeia: geradores, intermediários, recicladores e usuários finais.



Fonte: LTC/PET/COPPE/UFRJ (2012).

Figura 2.1: Modelo conceitual de coleta diferenciada de resíduos domiciliares.

O modelo tem início com a geração e a separação dos referidos resíduos em residências, empresas da iniciativa privada ou empresas e órgãos públicos. Usualmente, os resíduos especiais devem ser destinados a um centro de triagem de resíduo especial que receba o tipo de resíduo em questão⁴. Cada resíduo especial deve ser direcionado para a unidade de reciclagem específica, onde será reciclado, para posteriormente, ser destinado a uma indústria que possa utilizar o material reciclado em seu processo produtivo.

Os resíduos sólidos domiciliares secos e úmidos devem ser recolhidos a partir da coleta diferenciada porta-a-porta (foco deste estudo) ou coleta em postos de entrega voluntária. Os resíduos secos que incluem os resíduos recicláveis (foco deste estudo) normalmente são encaminhados a um centro de triagem, que pode ser gerido por poder público ou por

⁴ Dependendo do volume gerado, é possível que o resíduo especial seja levado até um ponto de entrega voluntária – PEV e transportado posteriormente para o centro de triagem ou coletado no gerador e levado diretamente para o centro de triagem.

cooperativas de reciclagem. No centro de triagem, os resíduos recebidos são separados, prensados e enfardados (quando possível) e, posteriormente, são transportados para uma unidade de reciclagem. Nesta unidade, os resíduos sólidos secos passam por processo de reciclagem que irá variar de acordo com o tipo de resíduo. Posteriormente, os resíduos reciclados são encaminhados a indústria que irá utilizá-los em seu processo produtivo.

Caso os centros de triagem ou unidades de reciclagem recebam resíduos recicláveis, é necessário direcioná-los a uma estação de transferência, e posteriormente, a usinas de incineração ou aterros sanitários. A essas estações direciona-se ainda os resíduos sólidos úmidos que devem ser triados. Os resíduos sólidos orgânicos devem ser encaminhados para uma unidade de compostagem, onde poderão ser transformados em adubo que será utilizado, posteriormente, na produção agrícola. Os demais resíduos úmidos geralmente são direcionados a usinas de incineração ou aterros sanitários. Destaca-se ainda que os resíduos da incineração inertes podem ser destinados a aterros sanitários.

2.6. Considerações finais

O aumento da obsolescência e da descartabilidade de produtos fez aumentar o volume de resíduos sólidos recicláveis e a responsabilidade de empresas para o investimento em logística reversa. O aumento do volume de resíduos recicláveis domiciliares trata-se de um desafio ainda para o poder público, responsável pela implementação e pela operação da coleta diferenciada porta-a-porta. Essa implementação faz parte da gestão de resíduos de uma região política e faz-se necessária para viabilizar o processo de reciclagem.

Cabe mencionar que as particularidades locais devem ser consideradas em decisões com relação à gestão de resíduos sólidos. Neste contexto, deve-se considerar a composição e a geração de cada região, bem como hábitos e cultura da população. Considera-se ainda a inclusão social de catadores atuantes principalmente em países em desenvolvimento. Nesses países, o desafio é ainda mais latente, pois é necessária a gestão da escassez de recursos que devem atender prioritariamente os campos da saúde, educação e segurança.

3. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNDO

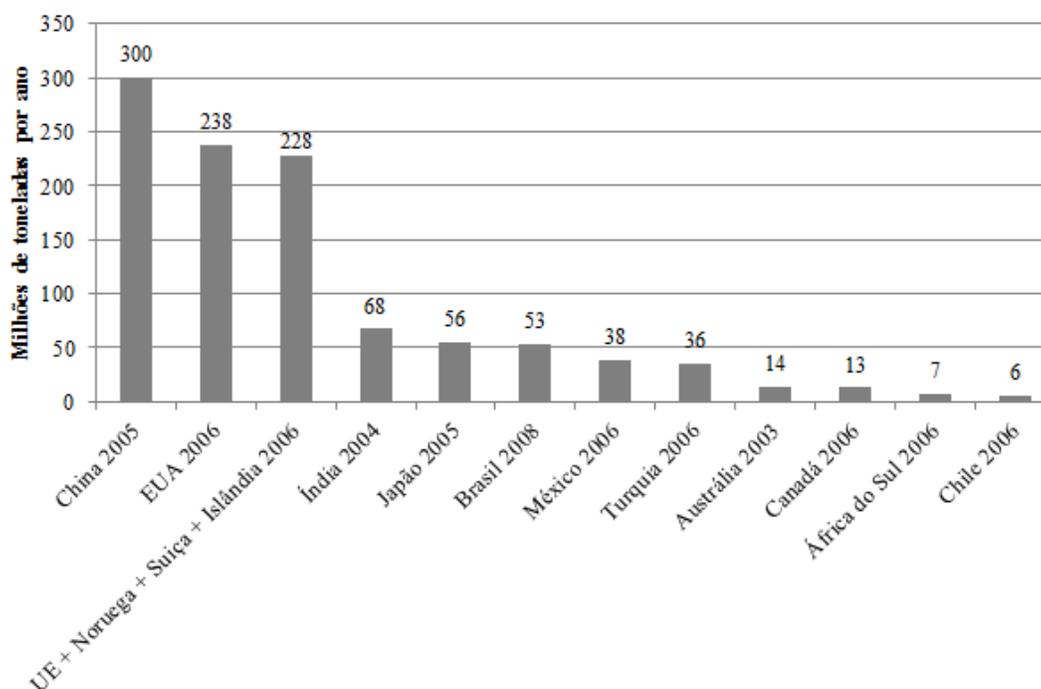
Este Capítulo tem o objetivo de apresentar um panorama da gestão de resíduos sólidos de diferentes países, de modo a identificar particularidades intrínsecas a cada país. Em especial, pretende-se verificar a associação entre o nível de desenvolvimento dos países e o nível de evolução da gestão de resíduos sólidos. Uma das principais ações voltadas a desenvolver essa gestão é a implementação de práticas de reciclagem incentivadas pela estruturação da coleta diferenciada porta-a-porta de resíduos sólidos domiciliares.

Nesta conjuntura, este Capítulo apresenta a geração e a composição de resíduos sólidos de diferentes países. Em seguida, apresenta-se os principais métodos de tratamento e o quanto são utilizados por esses países. Apresenta-se ainda as características da gestão de resíduos sólidos comuns a países com baixo, médio e alto nível de renda. Dentre essas características, aborda-se a existência de estratégia ambiental, além da existência de informalidade no setor de reciclagem. Por fim, são apresentadas as considerações finais.

3.1. Geração e composição de resíduos sólidos no mundo

Segundo Chen *et al.* (2010), a China é o país que mais gera resíduos sólidos no mundo. De acordo com a ABRELPE (2009), essa geração foi de 300 milhões de toneladas em 2005, conforme apresenta a Figura 3.1. A segunda maior geração é dos EUA em 2006 com a produção de 238 milhões de toneladas. Segundo EPA (2009), essa geração saltou para 250 milhões de toneladas em 2008 (aumento de 5%). A Figura 3.1 menciona ainda a geração de resíduos sólidos na Europa igual a 228 milhões de toneladas, terceira maior geração. Cabe ainda destacar a geração de resíduos sólidos no Japão em 2005. O Japão apresenta maior geração que o Brasil e apenas 65% da população desse país.

A Tabela 3.1 (a e b) apresenta a geração per capita mensal de resíduos sólidos de 48 países para que seja possível compará-las. De um modo geral, verifica-se que a geração per capita de países em desenvolvimento é menor que a geração per capita de resíduos sólidos de países desenvolvidos. O país de menor geração per capita verificada é o Nepal com a produção de 12,5 kg de resíduos sólidos por habitante. O país de maior geração per capita é a Noruega, produzindo cinco vezes mais resíduos que o Nepal. Cabe destacar ainda que, apesar da China ser o país que mais gera resíduos sólidos, sua geração per capita é uma das mais baixas, igual a 19,2 kg por habitante por mês.



Fonte: ABRELPE (2009).

Figura 3.1: Quantidade gerada de resíduos sólidos urbanos em diferentes países.

Comparando a geração per capita dos EUA com a geração per capita de outros países, verifica-se que esta é a segunda maior, mesma colocação da geração de resíduos sólidos absoluta dos EUA. Segundo EPA (2009), a geração per capita de resíduos sólidos nos EUA vem crescendo ao longo dos anos, passando de 50,5 kg em 1980 para 62,1 kg por habitante por mês em 2008 (crescimento de 23% em 28 anos). No Caso da Europa, a geração média per capita alcançou 38,3 kg de resíduos sólidos por habitante em 1995 (EEA, 2008). Segundo EUROSTAT (2010), essa geração atingiu 43,7 kg em 2008 e estima-se que alcance 56,7 kg mensais em 2020 (crescimento de 50% em 25 anos).

No Brasil, de acordo com a ABRELPE (2010), a geração de resíduos sólidos alcançou a marca de quase 61 milhões de toneladas em 2010 com uma geração diária de mais de 195 mil toneladas. De 2009 para 2010, o crescimento dessa geração foi de 4 milhões de toneladas, equivalente a taxa de crescimento de 6,8%, bem superior a taxa anual de crescimento da população brasileira no mesmo período igual a 1% (IBGE, 2011).

Tabela 3.1 (a): Taxas de geração e composição de resíduos sólidos no mundo.

País	Cidade	Ano	Geração de resíduos (kg/habitante/mês)	Composição dos resíduos sólidos (%)						Fonte
				Resíduos orgânicos	Papel/papelão	Plástico	Metal	Vidro	Outros	
Jordânia	Amman	ne	ne	63,0	11,0	16,0	2,0	2,0	6,0	Guermoud <i>et al.</i> (2009)
Marrocos	Agadir	ne	ne	67,5	18,0	2,5	5,6	0,8	5,6	Guermoud <i>et al.</i> (2009)
Tunísia	Tunis	ne	ne	68,0	11,0	7,0	4,0	2,0	8,0	Guermoud <i>et al.</i> (2009)
Nepal	Kathmandu	2003	12,5	70,0	8,5	9,5	ne	2,5	9,5	Pokhrel <i>et al.</i> (2005)
Índia	Nova Déli	2000	14,6	31,8	6,6	1,5	2,5	1,2	56,4	Sharholy <i>et al.</i> (2008)
Quênia	Nairóbi	1999	15,3	53,0	16,7	12,6	2,4	2,0	13,3	Henry <i>et al.</i> (2006)
Nigéria	Abuja	2006	17,7	55,5	11,3	18,1	5,1	4,5	5,5	IMAM <i>et al.</i> (2008)
China	*	2006	19,2	59,0	8,0	10,0	1,0	3,0	19,0	ABRELPE (2009) / Huang (2005)
Camboja	Phnom Penh	2002	19,8	65,0	3,8	13,2	1,0	4,9	12,1	Kum <i>et al.</i> (2005)
Polônia	*	2005	20,7	38,0	9,5	10,0	8,0	11,5	23,0	OECD (2006)
Eslováquia	*	2005	22,5	38,0	13,0	7,0	3,0	8,0	31,0	OECD (2006)
Camarões	Yaundé	2002	24,0	75,0	ne	ne	ne	ne	25,0	Parrot <i>et al.</i> (2009)
República Tcheca	*	2005	24,0	18,3	7,8	3,8	2,3	4,3	63,5	OECD (2006)
Egito	*	2000	24,3	60,0	10,0	12,0	2,0	3,0	13,0	Badran <i>et al.</i> (2006)
Malásia	Kuala Lumpur	2003	24,3	44,2	15,5	19,3	2,7	2,7	15,6	Manaf <i>et al.</i> (2009)
Cingapura	*	2008	25,6	13,4	21,2	11,5	14,6	1,0	38,5	Zhang <i>et al.</i> (2010)
Paquistão	Lahore	1999	25,6	67,0	5,0	18,5	0,5	2,2	6,8	Batool <i>et al.</i> (2009)
Irã	Tehran	2005	26,8	42,6	22,3	11,4	9,0	1,6	13,1	Damghani <i>et al.</i> (2008)
Sri Lanka	*	1998	27,1	66,0	13,0	8,0	3,0	2,0	8,0	Vidanaarachchi <i>et al.</i> (2006)
Argélia	Mostaganem	2004	27,4	64,6	15,9	10,5	1,9	2,8	4,3	Guermoud <i>et al.</i> (2009)
México	*	2005	28,3	50,7	14,9	6,1	3,3	6,4	18,5	OECD (2006)
Coréia	*	2005	31,7	28,0	24,0	8,0	7,0	5,0	28,0	OECD (2006)
Canadá	*	2006	31,9	23,8	46,8	2,7	13,1	5,7	7,9	ABRELPE (2009)
Macedônia	Veles	2002	32,3	32,7	24,5	7,0	6,1	7,2	22,6	Hristovski <i>et al.</i> (2007)

Obs.: * - dados média nacional; ne = não especificado.

Tabela 3.1 (b): Taxas de geração e composição de resíduos sólidos no mundo.

País	Cidade	Ano	Geração de resíduos (kg/habitante/mês)	Composição dos resíduos sólidos (%)						Fonte
				Resíduos orgânicos	Papel/papelão	Plástico	Metal	Vidro	Outros	
Japão	*	2005	33,5	33,5	33,3	13,3	3,4	4,9	11,6	OECD (2006)
Brasil	*	2009	35,0	60,0	25,0	3,0	4,0	3,0	5,0	ABRELPE (2009)
Grécia	*	2005	36,8	47,0	20,0	8,5	4,5	4,5	15,5	OECD (2006)
Turquia	*	2005	36,8	64,2	6,5	2,6	1,1	2,1	23,5	OECD (2006)
Bélgica	*	2005	38,3	39,0	17,0	5,0	3,0	7,0	29,0	OECD (2006)
Hungria	*	2005	38,3	29,4	14,6	16,7	1,8	2,2	35,3	OECD (2006)
Finlândia	*	2005	39,3	33,0	40,0	10,0	5,0	5,0	7,0	OECD (2006)
Portugal	*	2005	39,3	34,0	21,0	11,0	4,0	7,0	23,0	OECD (2006)
Suécia	*	2005	40,2	30,0	44,0	7,0	2,0	8,0	9,0	OECD (2006)
Islândia	*	2005	43,2	26,2	26,0	16,5	2,8	4,4	24,1	OECD (2006)
França	*	2005	45,0	31,8	19,7	8,7	3,2	10,2	26,4	OECD (2006)
Itália	*	2005	45,0	29,5	28,1	4,9	2,5	13,1	22,0	OECD (2006)
Áustria	*	2005	46,5	35,0	22,0	11,0	5,0	8,0	19,0	OECD (2006)
Reino Unido	*	2005	48,3	40,0	18,0	8,0	8,0	7,0	19,0	OECD (2006)
Alemanha	*	2005	49,9	13,8	34,1	22,5	5,2	12,3	12,1	OECD (2006)
Holanda	*	2005	51,8	35,0	26,0	19,0	4,0	4,0	12,0	OECD (2006)
Espanha	*	2005	54,2	48,9	20,5	11,7	4,1	7,6	7,2	OECD (2006)
Suíça	*	2005	54,2	29,0	20,0	15,0	2,8	4,2	29,0	OECD (2006)
Austrália	*	2006	56,6	47,0	23,0	4,0	5,0	7,0	14,0	ABRELPE (2009)
Luxemburgo	*	2005	59,3	45,0	22,0	0,8	4,0	12,0	16,2	OECD (2006)
Dinamarca	*	2005	61,8	29,1	26,7	0,8	6,4	4,8	32,2	OECD (2006)
Irlanda	*	2005	61,8	25,1	31,3	10,5	4,3	5,3	23,4	OECD (2006)
EUA	*	2008	62,1	25,9	31,0	12,0	8,4	4,9	17,8	EPA (2008)
Noruega	*	2005	63,3	30,1	32,8	8,6	4,4	3,6	20,4	OECD (2006)

Obs.: * - dados média nacional.

A Tabela 3.1 apresenta ainda a composição dos resíduos sólidos gerados de diferentes países. De um modo geral, verifica-se que a maior parte dos resíduos gerados é orgânica em países em desenvolvimento. Na China, Huang (2005) estima que 59% dos resíduos sólidos seja orgânico, enquanto nos EUA apenas 26%. Na Europa, é possível verificar que a Alemanha apresenta o menor percentual de resíduos orgânicos (14%). Já o maior percentual é apresentado pela Espanha (49%). No Brasil, de acordo com IBAM (2001) e Brollo e Silva (2001), o percentual de resíduos orgânicos varia de 50% a 60%. Estima-se ainda que 25% seja papel, 3% plástico, 4% metal e 3% vidro (total de 35%).

3.2. Destinação dos resíduos sólidos em países desenvolvidos

Na Europa, os resíduos sólidos gerados foram destinados basicamente a quatro tipos de tratamento ou disposição. Segundo EUROSTAT (2010), em média, 23% dos resíduos sólidos foram reciclados, 17% passaram pelo processo de compostagem, 40% foram dispostos principalmente em aterros sanitários ou outros locais de disposição e 20% foram incinerados em 2008. A Tabela 3.2 apresenta o percentual de resíduos sólidos que são processados por cada tipo de tratamento citado. Verifica-se que a Alemanha é o país Europeu com o maior percentual de reciclagem. Em contrapartida, na Bulgária, toda a quantidade gerada de resíduos sólidos é descartada em aterros sanitários ou outros métodos de disposição, como aterros controlados e vazadouros a céu aberto.

Cabe destacar ainda que o percentual de reciclagem é superior a 10% em 18 dos 27 países. O aumento desse percentual é altamente incentivado na Europa, pois permite a redução da dependência da importação de materiais primários. Além disso, contribui com a geração de emprego e renda. Mais de 150 mil pessoas estavam empregadas na indústria de reciclagem em 2006 (UNEP, 2011). Nos EUA, a quantidade disposta em aterros sanitários vem seguindo um comportamento constante ao longo dos anos, apesar da quantidade gerada de resíduos sólidos ter aumentado. Isto pode ser verificado por meio da Figura 3.2, que revela ainda um crescimento na quantidade de resíduos tratados por meio de reciclagem, compostagem e incineração na década de 1990 (EPA, 2009).

Segundo EPA (2009), a prática de reciclagem vem sendo bastante incentivada nos EUA. Estimou-se que a recuperação de resíduos sólidos foi responsável por evitar a emissão de 182 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente em 2008, comparável à

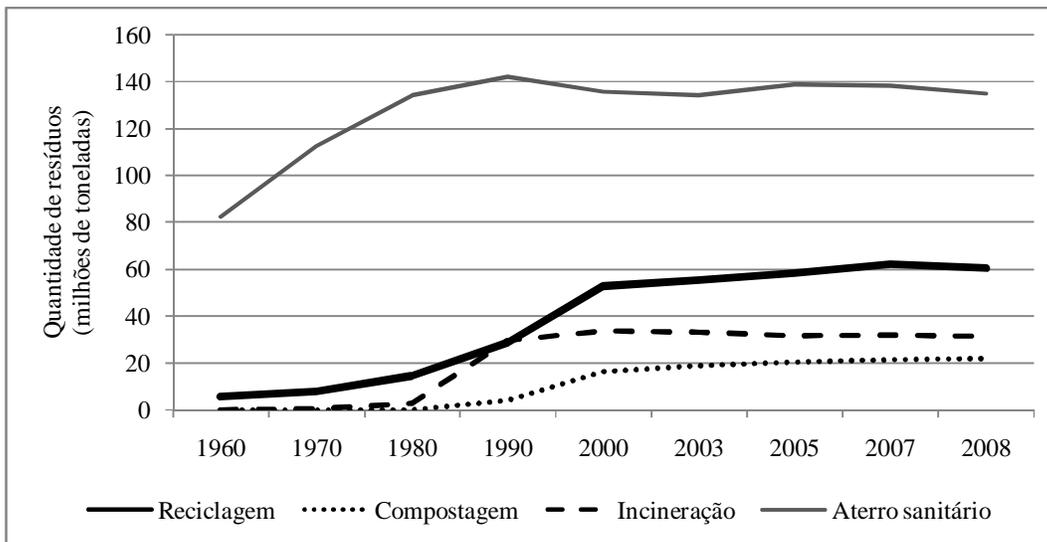
eliminação das emissões de 33 milhões de automóveis. No Japão, MMEJ (2010) aponta o esforço voltado à redução do desperdício e ao aumento da reciclagem e incineração, que podem ser constatados por meio da Figura 3.3. Verifica-se um aumento do volume de resíduos sólidos reciclados de 3,3 milhões de toneladas em 1990 para 9,5 milhões de toneladas em 2007 (crescimento de 189% em 17 anos). Destaca-se ainda a redução da quantidade de resíduos sólidos disposta em aterros sanitários desde 1990.

Tabela 3.2: Destinação de resíduos sólidos na Europa.

Países	Tratamento dos resíduos (%)			
	Reciclagem	Compostagem	Aterro sanitário*	Incineração
Alemanha	48	17	1	34
Suécia	35	13	3	49
Bélgica	35	25	5	35
Holanda	32	27	2	39
Irlanda	32	3	62	3
Eslovênia	31	2	66	1
Áustria	29	40	4	27
Luxemburgo	25	20	19	36
Finlândia	25	8	50	17
Dinamarca	24	18	4	54
Reino Unido	23	12	55	10
Grécia	21	2	77	0
França	18	15	36	31
Estônia	18	8	74	0
Hungria	15	2	74	9
Espanha	14	20	57	9
Chipre	13	0	87	0
Itália	11	34	44	11
Portugal	9	8	64	19
Polônia	9	4	86	1
Letônia	6	1	93	0
Eslováquia	3	5	82	10
Lituânia	3	1	96	0
Malta	3	0	97	0
República Tcheca	2	2	83	13
Romênia	1	0	99	0
Bulgária	0	0	100	0
Média	23	17	40	20

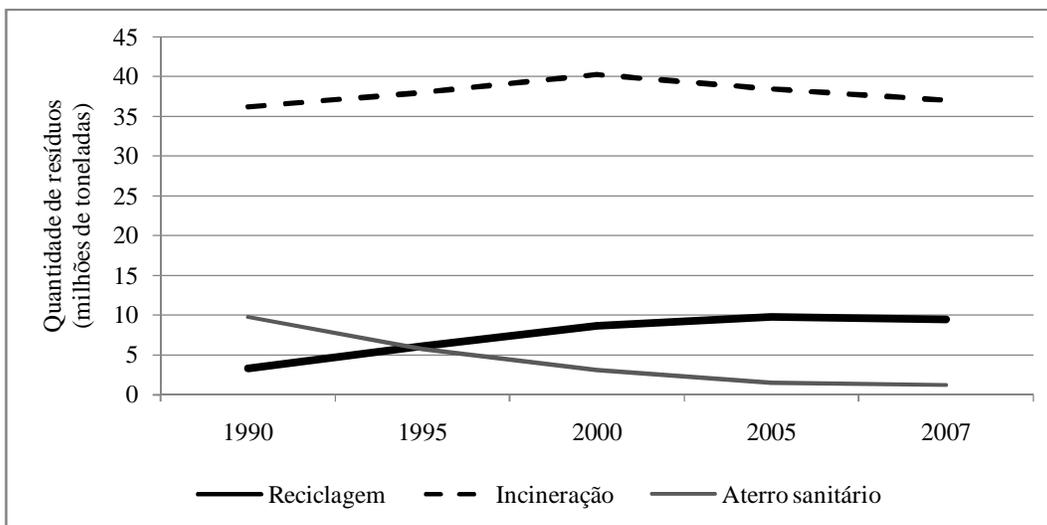
* Aterros sanitários ou outros métodos de disposição.

Fonte: EUROSTAT (2010).



Fonte: EPA (2009).

Figura 3.2: Destinação de resíduos sólidos nos EUA ao longo das décadas.



Fonte: MMEJ (2010).

Figura 3.3: Destinação de resíduos sólidos no Japão ao longo dos anos.

3.3. Destinação dos resíduos sólidos em países em desenvolvimento

Na China, o investimento em equipamentos e infraestrutura para a gestão de resíduos sólidos aumentou 21 vezes entre 1990 e 2004 (Chen *et al.*, 2010). Em Pequim, capital do país, aproximadamente 1,638 milhões de toneladas de resíduos foram recicladas em 2006, 7,3% superior à quantidade reciclada em 2005 (Zhen-Shan *et al.*, 2009). Huang *et*

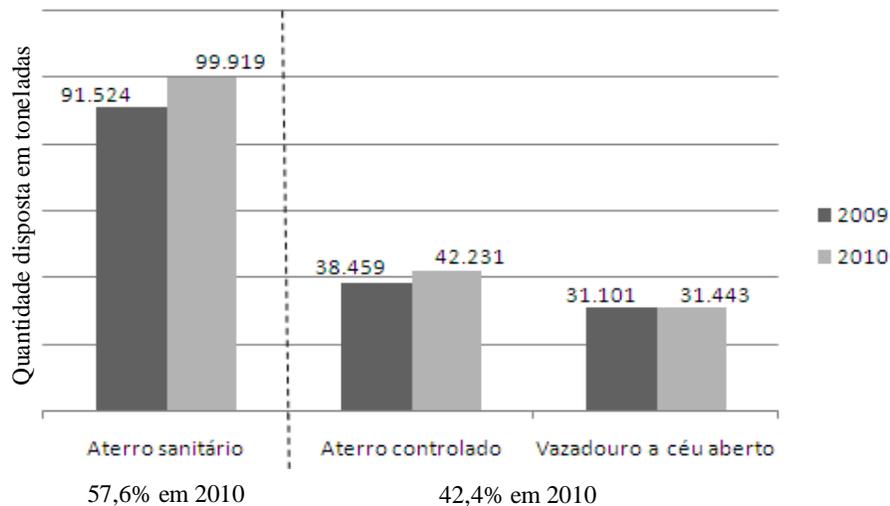
al. (2005) destacam a grande participação do setor informal para a realização de práticas de reciclagem na China. O autor ressalta que são mais de 2 milhões de catadores que se envolveram em atividades de coleta, em parte devido ao alto índice de desemprego no país. Apesar do crescimento das quantidades recicladas, Jin *et al.* (2006) salientam os problemas enfrentados na China, como baixa participação da população, baixo nível de serviço de coleta e baixa oferta de recipientes de armazenamento de resíduos sólidos.

Como a China, a Índia depende em grande parte do setor informal para viabilizar práticas de reciclagem. Segundo Talyan *et al.* (2008), há por volta de 100 mil catadores em Nova Déli, capital do país, capazes de coletar de 10 a 15 kg de resíduos recicláveis por dia. Segundo Sharholy *et al.* (2008), o setor informal é responsável pela coleta de 17% dos resíduos sólidos em Nova Déli. O setor informal é bastante atuante ainda em países africanos. No município de Lagos, cidade mais populosa da Nigéria, estima-se que de 5% a 8% dos resíduos sólidos sejam reciclados (Kofoworola, 2007). No entanto, em geral, Imam *et al.* (2008) destacam que o mais comum é encontrar resíduos sólidos espalhados ou amontoados em ruas, estradas e rios em diversos municípios da Nigéria.

Em Camarões, Parrot *et al.* (2009) destacam a grande quantidade de resíduos descartada em ruas, principalmente devido à ineficiência do serviço de coleta. No município de Yaundé, capital do país, a falta de infraestrutura (apenas 30% dos 1.000 quilômetros de vias são pavimentados) torna as vias intransitáveis em épocas de chuva. Isto impede a realização de operações de coleta. Ainda assim, estima-se que 5% dos resíduos sólidos recicláveis sejam reciclados com o auxílio do setor informal. Este contexto pode ainda ser estendido para o Quênia. No município de Nairóbi, capital do país, Henry *et al.* (2006) salientam que a operação de coleta é eficiente apenas em centros de negócio do município e em comunidades mais ricas. Em locais periféricos, a operação de coleta é pouco eficiente, contribuindo para que os resíduos sejam descartados em ruas.

Nos países da América Latina, estima-se que as taxas de reciclagem e de compostagem sejam de apenas 1,9% e de 0,3%, respectivamente (IBAM, 2006). De um modo geral, esses tratamentos são viabilizados pelo setor informal e grande parte dos resíduos ainda é disposta em vazadouros a céu aberto. No Brasil, a maior parte dos resíduos sólidos gerados é disposta em aterros sanitários, aterros controlados ou vazadouros a céu aberto

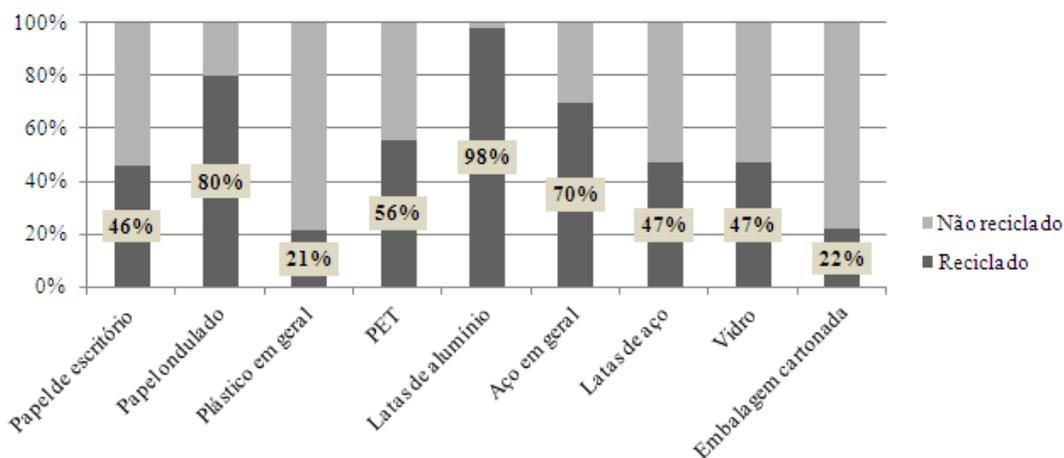
(ABRELPE, 2010), com volumes dispostos apresentados por meio da Figura 3.4. Cabe destacar ainda que menos de 1% dos resíduos sólidos gerados é incinerado (CEMPRE, 2008) e 3% é compostado em 80 usinas de compostagem no Brasil (Creddo, 2010).



Fonte: ABRELPE (2010).

Figura 3.4: Disposição final de resíduos sólidos no Brasil em 2009 e 2010.

Já a reciclagem é um método de tratamento de resíduos em ascensão no Brasil. A Figura 3.5 apresenta os percentuais de reciclagem em relação ao consumo desses materiais em 2009, indicando altos índices de reciclagem de latas de alumínio e papel ondulado.



Fonte: BRACELPA (2011), PLASTIVIDA (2011), ABIPET (2011), ABAL (2011), TETRAPAK (2011), ABEAÇO (2011), ABIVIDRO (2011) e CEMPRE (2011).

Figura 3.5: Percentagem de reciclagem em relação ao consumo em 2009.

De acordo com a UNEP (2011), a reciclagem no Brasil gera em torno de US\$ 2 bilhões e evita a emissão de 10 milhões de toneladas de gases de efeito estufa. Ressalta-se ainda o potencial de aumento da quantidade de resíduos direcionada à reciclagem. Estima-se que há resíduos recicláveis com valor de US\$ 5 bilhões que ainda são descartados em aterros sanitários, aterros controlados ou vazadouros a céu aberto. Além disso, existe grande potencial de exportação, especialmente de fardos prensados de plásticos, para países, como a China, Taiwan, EUA e países europeus. No mercado nacional, segundo CEMPRE (2008), algumas usinas siderúrgicas chegam a operar com mais de 85% de matéria-prima proveniente do comércio de sucatas.

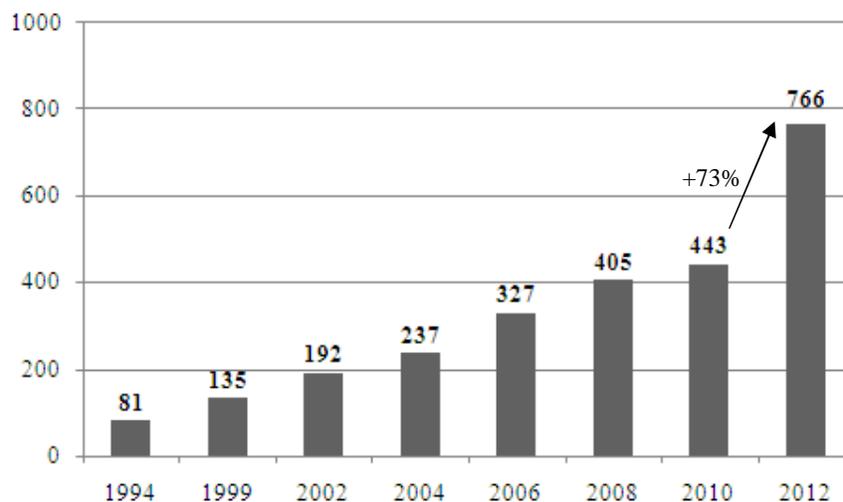
No entanto, para o desenvolvimento de práticas de reciclagem, necessita-se estimular o desenvolvimento da coleta diferenciada. A Tabela 3.3 apresenta a quantidade recolhida em 2009 por meio da coleta diferenciada e da coleta indiferenciada. É possível verificar que a coleta diferenciada é pouco expressiva e recolhe apenas 2,4% dos resíduos sólidos gerados no Brasil. Segundo CEMPRE (2012), apenas 14% dos municípios brasileiros desenvolveram programas de coleta diferenciada em 2012. São um total de 27 milhões de brasileiros (14% da população) com acesso a programas de coleta diferenciada.

Tabela 3.3: Quantidade coletada de resíduos sólidos em toneladas em 2009.

Coleta	Coleta em toneladas em 2009	%
Coleta indiferenciada	49.030.679	97,6
Coleta diferenciada	1.217.875	2,4
Total	50.248.554	100

Fonte: estimativa realizada pelo IPEA (2010).

A Figura 3.6 apresenta o número de municípios brasileiros que exerceram a prática da coleta diferenciada em 2012. Apresenta ainda o crescimento do número de municípios que aderiram a essa prática ao longo dos anos. Destaca-se que o número de municípios cresceu 73% de 2010 para 2012. Dentre os sistemas de coleta, o sistema porta-a-porta é o mais utilizado. De acordo com SNIS (2008), dos 372 municípios consultados sobre sua gestão de resíduos sólidos, 199 relataram que praticam a coleta diferenciada. Desses municípios, 152 (76%) dizem realizar a coleta diferenciada porta-a-porta.



Fonte: CEMPRE (2012).

Figura 3.6: Municípios com coleta diferenciada no Brasil.

Finalmente, cabe salientar a conclusão de Fehr *et al.* (2000) que analisaram modelos de sistemas de coleta diferenciada no Brasil, como os de Brasília, de Belo Horizonte, de Curitiba e de Porto Alegre. Os autores concluíram que cada município apresenta um modelo diferente de coleta que varia de acordo com as condições locais. Concluíram ainda que não há dois modelos idênticos e a cópia de um modelo não é conveniente. No entanto, ideias básicas podem ser adaptadas, respeitando as particularidades locais.

3.4. Desenvolvimento econômico e gestão de resíduos sólidos

Segundo Asase *et al.* (2009), a gestão de resíduos sólidos é realizada de modo efetivo em países desenvolvidos e de modo pouco efetivo em países em desenvolvimento. A Tabela 3.4 apresenta as diferenças entre a gestão de resíduos de países, com base em seu nível de renda. Nos países desenvolvidos ou de alta renda, o objetivo é reduzir a geração e os resíduos enviados a aterros sanitários, desenvolvendo práticas de reciclagem. Nos países em desenvolvimento ou de baixa renda, a preocupação ainda é a erradicação de vazadouros a céu aberto. IBRD (1999) destaca outra preocupação relativa à eliminação da informalidade no setor e o desenvolvimento da coleta diferenciada e da reciclagem.

Tabela 3.4: Características da gestão de resíduos sólidos de acordo com a renda de países.

Itens	Renda dos países		
	Baixa	Média	Alta
Geração de resíduos (kg/habitante/mês)	12,5-20,8	20,8-45,8	29,2-62,5
Taxa de coleta formal de resíduos	< 70%	70% - 95%	> 95%
Gestão de resíduos prevista em lei	Não há ou é fraca a estratégia ambiental nacional, baixa aplicação de leis e falta de estatísticas.	Há uma estratégia ambiental nacional, ministério do meio ambiente, leis com aplicação insuficiente e poucas estatísticas.	Há uma estratégia ambiental nacional, ministério do meio ambiente, leis aplicadas efetivamente e estatísticas satisfatórias.
Coleta e reciclagem informal	Significativa, coleta grande volumes, tendência da formação de cooperativas e associações.	Existente e em processo de institucionalização.	Quase não existe
Resíduos orgânicos (%)	50-80	20-65	20-40
Papel/ papelão (%)	4-15	15-40	15-50
Plástico (%)	5-12	7-15	10-15
Metal (%)	1-5	1-5	5-8
Vidro (%)	1-5	1-5	5-8
Tratamento de resíduos	Vazadouros a céu aberto > 50%. Reciclagem informal = 15%.	Utilização de locais para a disposição final > 90%, início da coleta diferenciada, reciclagem organizada = 5%, coexistência com a reciclagem informal.	Coleta diferenciada, incineração e reciclagem > 20%.

Fonte: UNEP (2011).

De acordo com a UNEP (2011), há diferenças significativas entre a gestão de resíduos sólidos de países de baixa, média e alta renda. Ao observar a gestão de resíduos sólidos de países mencionados neste estudo, constata-se ser coerente essa abordagem. Os países de baixa renda, principalmente da América Latina, África e Ásia possuem, realmente, estratégias ambientais fracas ou inexistentes, reciclagem e coleta realizadas de modo desorganizado pelo setor informal e grande parte dos resíduos sendo descartados em vazadouros a céu aberto. Destaca-se ainda a baixa abrangência do sistema de coleta e a baixa geração de resíduos, resultado da baixa renda da população.

Na medida em que vão desenvolvendo políticas de gestão ambiental estratégicas, alguns países em desenvolvimento conseguem formalizar gradualmente o setor de reciclagem. Nestes casos, é possível verificar a atuação simultânea do setor formal e informal. Cabe destacar ainda a implementação da coleta diferenciada, em geral conduzida pelo poder público de um município, condado ou sub-região. Essa coleta incita o desenvolvimento da reciclagem formal que chega a recuperar cerca de 5% dos resíduos sólidos gerados.

3.5. Considerações finais

Este Capítulo apresentou um panorama da gestão de resíduos de países desenvolvidos e de países em desenvolvimento. De um modo geral, algumas características da gestão de resíduos de países desenvolvidos podem ser citadas: desenvolvimento de mais de um tipo de tratamento de resíduos, incluindo a compostagem, a reciclagem e a incineração; reciclagem realizada de modo formal; investimentos consideráveis do poder público; coleta diferenciada funcional administrada pelo poder público municipal e redução da quantidade de resíduos sólidos direcionada a aterros sanitários.

Em alguns países em desenvolvimento, a gestão de resíduos atual pode ser comparada à gestão praticada pela Europa no século XVII. Contudo, há países em desenvolvimento preocupados em desenvolver sua gestão, com o objetivo de se aproximar da excelência dos modelos de gestão alcançada por diferentes países desenvolvidos. Muitos dos países em desenvolvimento estabelecem políticas públicas voltadas a erradicar vazadouros a céu aberto, a implementar práticas de reciclagem com o intuito de aumentar a vida útil de aterros sanitários e a implementar a coleta diferenciada de resíduos domiciliares.

4. POLÍTICAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNDO

O Capítulo anterior apresentou aspectos relevantes sobre a gestão de resíduos de países desenvolvidos e de países em desenvolvimento. Fatos importantes indicam o alto nível de desenvolvimento da gestão de resíduos de países desenvolvidos. Um dos fatos trata-se da grande quantidade de resíduos sólidos recicláveis recolhidos por meio da coleta diferenciada. A partir do sucesso dessa coleta, geralmente dirigida pelo poder público, é possível alcançar altos índices de reciclagem de diversos tipos de resíduos.

Mundialmente, o processo de desenvolvimento da coleta diferenciada e de práticas de reciclagem vem sendo conduzido por leis e por políticas de gestão de resíduos sólidos. Neste contexto, este Capítulo apresenta um conjunto de políticas de gestão vigentes na Europa, nos EUA, no Japão, na China e na América Latina. Apresenta ainda a política vigente no Brasil que institui a logística reversa como o instrumento capaz de devolver os resíduos ao setor empresarial. Por fim, são apresentadas as considerações finais.

4.1. Política de gestão de resíduos sólidos na Europa

Ao redor do mundo, algumas políticas de sucesso de gestão de resíduos sólidos podem ser identificadas. Uma dessas políticas de sucesso é estabelecida pela União Europeia. Segundo ETC/SCP (2010), essa política pode ser dividida em duas fases: antes e depois do ano de 1990. No período de 1975 a 1990, a legislação de resíduos sólidos de países da União Europeia exigia apenas que fossem criados planos de gestão. Muitos países já possuíam planos elaborados, mas grande parte ainda estava sendo preparada. Exigia-se ainda que os países registrassem estatísticas e mantivessem um banco de dados sobre sua gestão de resíduos. Neste período, a política de gestão não estabelecia objetivos e metas obrigatórias, deixando essa decisão a cargo de cada país.

Após 1990, metas e objetivos foram estabelecidos para todos os países componentes da União Europeia. Além disso, foram estabelecidos padrões de emissões e requerimentos técnicos para plantas de tratamento, como plantas de incineração e aterros sanitários. Dentre os objetivos estabelecidos, é possível citar a redução máxima de resíduos sólidos biodegradáveis enviados a aterros sanitários e o aumento dos índices de reciclagem de cinco diferentes tipos de resíduos sólidos: veículos inservíveis, embalagens, resíduos de construção e de demolição, pilhas e baterias e equipamentos elétricos eletrônicos. Para

o estabelecimento de metas de reciclagem, diretivas ou atos legislativos foram criados para cada tipo de resíduo sólido.

Dentre os países europeus, cabe destacar a Alemanha como país pioneiro na adoção de políticas voltadas a aprimorar a gestão de resíduos sólidos. De uma política que previa a coleta dos resíduos gerados, a valorização ou a deposição desses resíduos, passou-se a aplicar os princípios de evitar e de valorizar os resíduos antes do descarte. Os objetivos dessa nova política de resíduos foram estabelecidos por meio da Lei de Minimização e Eliminação de Resíduos de 1986. Em 1994, foi estabelecida a Lei de Economia de Ciclo Integral e Gestão de Resíduos, que substituiu a norma de 1986. Com essa nova política, ampliou-se a responsabilidade do fabricante a todo o ciclo de vida de seu produto, desde a fabricação, passando pela distribuição e uso, até sua eliminação (Juras, 2012).

4.2. Política de gestão de resíduos sólidos nos EUA

Outro destaque mundial quanto a políticas de gestão de resíduos trata-se dos EUA que estabeleceram sua Lei de Resíduos Sólidos em 1965. Em 1976, essa lei foi reforçada e complementada por meio da Lei de Conservação e Recuperação de Recursos, com o objetivo de solucionar os problemas provocados pela crescente quantidade de resíduos urbanos e industriais gerados. Essa nova lei estabeleceu metas nacionais para a proteção da saúde humana e proteção ao meio ambiente, para a conservação de energia e recursos naturais, para a redução da geração de resíduos sólidos e para assegurar que o manejo dos resíduos seja realizado de modo ambientalmente adequado (EPA, 2012).

Em 1984, foram aprovadas emendas relacionadas à Lei de Conservação e Recuperação de Recursos com o intuito de dar tratamento diferenciado a resíduos não perigosos e perigosos. Para os resíduos não perigosos, foram estabelecidos critérios nacionais para a concepção e para a implementação de aterros sanitários. Esses critérios são mínimos de modo que fica a cargo de cada estado desenvolver seu próprio programa de gestão. Para os resíduos perigosos, foram estabelecidos critérios e padrões técnicos para geradores, transportadores e instalações de tratamento, armazenamento e disposição (EPA, 2012).

Mais tarde, em 1990, uma nova lei ambiental foi estabelecida nos EUA, intitulada Lei de Prevenção da Poluição. Essa lei incentivou a redução da geração de resíduos na fonte

e a implementação de práticas de reciclagem. Estabeleceu ainda que a última opção é a disposição dos resíduos, obrigatoriamente realizada de modo ambientalmente seguro. Antes de optar pela disposição, deve-se verificar se é possível evitar a geração, reduzir a geração ou se é possível tratar os resíduos sólidos (EPA, 2012).

4.3. Política de gestão de resíduos sólidos no Japão e na China

A gestão de resíduos no Japão é realizada sob o controle da Lei de Gestão de Resíduos e Limpeza Pública criada em 1970. A quantidade de resíduos domiciliares e industriais cresceu rapidamente até 1990. A partir deste ano, essa quantidade permaneceu estável, em virtude da conscientização da população e do sucesso de políticas de redução de resíduos. Outro fato relevante é o aumento da quantidade que passa pelo processo de reciclagem que tem reduzido a quantidade de resíduos disposta em aterros sanitários. Esse aumento deve-se em grande parte à criação de políticas e leis voltadas a incentivar a implementação de práticas de reciclagem, como a Lei de Reciclagem de Recipientes e Embalagens criada em 1997 (Nakamura, 2007).

A Lei de Reciclagem de Recipientes e Embalagens estabelece que os consumidores, os municípios, as entidades empresariais e cada cidadão devem cooperar ativamente para construir uma sociedade orientada para a reciclagem. A partir dessa lei, papéis têm sido atribuídos a entidades empresariais para o uso eficaz dos recursos. A lei prevê ainda a definição de taxas de reciclagem a serem alcançadas por municípios. Neste sentido, essa taxa é definida com base na quantidade de resíduos recolhidos pela coleta diferenciada planejada pelos municípios e com base na quantidade de resíduos que pode ser tratada por meio da reciclagem. Essas referidas quantidades são apuradas pelo governo japonês em planos de gestão elaborados a cada 5 anos (JCPRA, 2003).

Outro país asiático, a China promulgou em 1996 sua primeira lei voltada à prevenção e ao controle da poluição ambiental causada por resíduos sólidos. Essa lei foi alterada em 2004 a partir da criação de emendas. Neste sentido, a lei estabelece que o Estado deve implementar ações para a redução da quantidade de resíduos sólidos gerados. A lei cita ainda que o Estado deve adotar políticas e medidas que promovam a recuperação plena de resíduos sólidos. O princípio da responsabilidade legal também é mencionado na lei.

Neste contexto, a lei reconhece a responsabilidade de produtores, consumidores e outros agentes para prevenir e controlar a poluição causada por resíduos (China, 2012).

Na China, leis nacionais tipicamente delegam a responsabilidade pela limpeza pública, coleta, armazenamento, transporte e tratamento dos resíduos sólidos a municípios. Essas leis estabelecem apenas padrões básicos. Já as políticas estabelecidas pelos municípios traçam normas de serviços a serem prestados e requisitos para cada gerador de resíduos. Os municípios definem ainda as práticas ilegais e aplicam sanções quando essas práticas são identificadas. No entanto, é necessário ressaltar a sobreposição de leis existentes na China relativas a resíduos sólidos. Destaca-se ainda a necessidade de melhorias das leis existentes, devido ao aumento da quantidade gerada de resíduos (World Bank, 2005).

4.4. Política de gestão de resíduos sólidos na América Latina

De um modo geral, os países em desenvolvimento enfrentam dificuldades similares ao tentar desenvolver políticas nacionais específicas sobre gestão de resíduos sólidos. Este é o caso de alguns países da América Latina, como o Brasil, o México, a Colômbia e o Chile. Muitos desses países desenvolvem projetos de gestão de resíduos, mas poucos projetos sobrevivem, pois não há monitoramento e acompanhamento, nem a adoção de mecanismos econômicos, administrativos e legais auto-sustentáveis. Apesar de não ter estabelecido políticas oficiais de gestão de resíduos, a maioria dos países da América Latina tem obtido progresso no desenvolvimento de práticas de reciclagem por meio da atuação do setor informal (Un-habitat, 2010).

No México, foi instituído em 2009 o Programa Nacional de Gestão de Resíduos, como um instrumento exigido pela lei nacional de resíduos sólidos. Os principais objetivos desse programa são o desenvolvimento de ações para a redução da geração de resíduos, o incentivo ao reuso e a reciclagem, a redução de resíduos sólidos direcionados a aterros sanitários, a promoção da participação integrada do governo e da indústria, o apoio ao aumento da infraestrutura para a coleta, para a reciclagem e para a disposição final e a criação de sistemas de informação sobre a gestão de resíduos (Llamas, 2009).

Na Colômbia, foi estabelecido por lei em 1994 o quadro institucional para a promoção da participação privada na oferta de serviços públicos, incluindo serviços relacionados à

gestão de resíduos. Esse serviço de gestão foi regulamentado em 1996 e, em 2002, um decreto foi sancionado para integrar a concepção desse serviço com preceitos da gestão ambiental. A partir de 2002, políticas de gestão de resíduos têm focado na eliminação de vazadouros a céu aberto, na substituição destes por aterros sanitários e na formalização de serviços de coleta realizados por cooperativas (Sarmiento, 2012).

No Chile, um primeiro decreto com força de lei instituiu em 1967 o código sanitário relacionado a resíduos. Historicamente, a preocupação do Chile tem sido em destinar adequadamente os resíduos sólidos. Com o intuito de ampliar a abordagem da gestão desses resíduos, o conselho nacional do meio ambiente do Chile aprovou em 2005 a Política de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Essa política tem como objetivo a promoção de um sistema de gestão desses resíduos que minimize os riscos relacionados a danos à saúde da população e ao meio ambiente. Em 2010, a Lei Nacional do Meio Ambiente foi alterada incluindo o papel do Ministério do Meio Ambiente em propor políticas, regulamentos, planos e programas relacionados a resíduos (Chile, 2011).

4.5. Política de gestão de resíduos sólidos no Brasil

Em 2010, foi regulamentada no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) a partir da Lei 12305. Essa lei foi elaborada em conformidade com a Lei 11445 de 2007 que rege a Política Federal de Saneamento Básico. Entre os serviços de saneamento, há o manejo de resíduos sólidos, além do serviço de abastecimento de água potável, do esgotamento sanitário e do serviço de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. A Política Federal de Saneamento Básico estabelece aos municípios a obrigatoriedade em elaborar um plano de gestão de resíduos, além de um plano de abastecimento de água e um plano de esgotamento sanitário (Brasil, 2007).

A PNRS está coerente ainda com a Política Nacional sobre Mudança do Clima, criada a partir da Lei 12187 de 2009. Essa política institui como um de seus objetivos a redução das emissões de gases de efeito estufa oriundas das atividades humanas em diferentes fontes, inclusive aquelas referentes a resíduos sólidos urbanos. O plano sobre mudanças do clima deve considerar ações para a recuperação do gás metano em instalações de tratamento de resíduos e ações para o aumento do volume de resíduos reciclados. De um

modo geral, essa política visa a desenvolver e aprimorar tecnologias limpas como forma de minimizar os impactos ambientais (Brasil, 2009).

Neste contexto, a PNRS visa à gestão integrada e ambientalmente adequada de resíduos sólidos, bem como a responsabilidade compartilhada entre: (1) poder público; (2) setor empresarial, como fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes e (3) demais segmentos da sociedade. A política visa a considerar ainda os princípios da prevenção e da precaução, do poluidor-pagador, da ecoeficiência, da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, do reconhecimento do resíduo como bem econômico e de valor social e do direito à informação e ao controle social. Esses princípios devem ser considerados para elaboração obrigatória de planos de gestão a nível nacional, estadual e municipal e de planos de gestão exigidos de geradores específicos (Brasil, 2010).

O plano de gestão municipal exigido pela PNRS deve apresentar um diagnóstico da situação dos resíduos gerados no respectivo território, contendo a origem, o volume, a caracterização dos resíduos e as formas adotadas de destinação e de disposição final. Cabe destacar que se tornou proibido a criação de vazadouros a céu aberto a partir da aprovação da lei. Além disso, a lei estabeleceu a obrigação de erradicar os vazadouros e de substituí-los por aterros sanitários. No entanto, antes da disposição nesses aterros, deve-se verificar se é possível evitar a geração de resíduos e verificar se os resíduos podem ser reutilizados ou reciclados (Brasil, 2010).

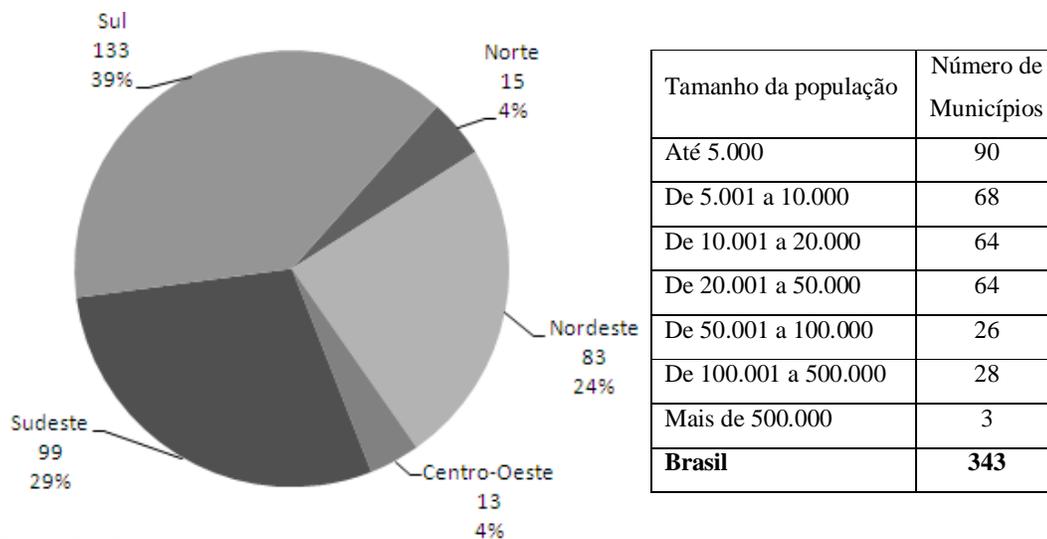
Para o desenvolvimento do mercado de reciclagem, a PNRS prevê o apoio à indústria e o envolvimento de cooperativas nos processos de coleta diferenciada e de reciclagem. O objetivo é a organização de catadores em cooperativas e a proibição de sua atuação em vazadouros a céu aberto, enquanto esses vazadouros ainda estão em operação. Segundo Vilhena (2010), uma das principais vantagens da PNRS é a promoção de um ambiente regulatório estável ao favorecer a atração de investimentos para o setor de reciclagem, capazes de auxiliar a transição da informalidade para a formalidade com a geração de trabalho e de renda para catadores envolvidos em cooperativas.

A PNRS cita ainda a necessidade de estruturação da coleta diferenciada. Neste sentido, a logística reversa é apresentada como um instrumento de desenvolvimento econômico

e social, caracterizado por um conjunto de ações, meios e procedimentos para coletar e devolver os resíduos sólidos ao setor empresarial para reaproveitamento em seu ciclo de vida ou em outros ciclos produtivos. Para a coleta dos resíduos sólidos domiciliares, a PNRS incentiva a formação de consórcios compostos por municípios, principalmente de baixa população e arrecadação, com o objetivo de superar as fragilidades de gestão, de racionalizar e ampliar a escala no tratamento dos resíduos e de ter um órgão voltado a administrar os serviços planejados (Brasil, 2010).

A Lei Federal 11107 de 2005 estabelece as normas gerais de contratação de consórcios públicos. Segundo IBAM (2006), o consórcio público é uma forma de associação e de coordenação entre entes federativos para a gestão de serviços públicos conjuntamente e de modo coordenado. Além disso, um consórcio público tem natureza contratual e exige a definição de obrigações recíprocas entre os consorciados, de modo a atingir metas e objetivos de bem comum estabelecidos em contrato. Neste contexto, equipes técnicas capacitadas e permanentes poderão ser gestores de aterros sanitários, centros de triagem, pontos de entrega voluntária e de processos de coleta diferenciada (Brasil, 2005).

No Brasil, existem 343 municípios envolvidos em consórcios públicos intermunicipais na área de saneamento e/ou manejo de resíduos sólidos (IBGE, 2005). A Figura 4.1 apresenta a distribuição desses municípios de acordo com as regiões brasileiras.



Fonte: IBGE, 2005.

Figura 4.1: Municípios em consórcios públicos no Brasil.

Verifica-se que a maior parte dos municípios envolvidos em consórcios encontra-se nas regiões sul e sudeste (68%), onde há maiores iniciativas voltadas a desenvolver a coleta diferenciada e a reciclagem. A Figura 4.1 apresenta ainda um quadro com a distribuição dos municípios que aderem a consórcios públicos. Averigua-se que a grande maioria dos municípios (83%) possui menos de 50 mil habitantes. Isto demonstra uma tendência dos municípios menores estarem aptos à atuação conjunta quanto à gestão de resíduos.

4.6. Considerações finais

Mundialmente, as políticas de gestão de resíduos sólidos apresentam, como um de seus objetivos, o desenvolvimento da coleta diferenciada e de práticas de reciclagem. Neste sentido, essas políticas estabelecem metas a serem alcançadas e propõem alternativas para o alcance dessas metas. No Brasil, é estabelecido que todos os municípios devem implementar a prática de coleta diferenciada. Para os municípios de pequeno porte, a política apresenta a alternativa de formação de consórcios para a ajuda mútua.

A formação de consórcios para a implementação conjunta da coleta diferenciada, como outras práticas de gestão de resíduos, deve considerar os princípios da ecoeficiência. A política brasileira reforça que esse e outros princípios devem ser considerados para a elaboração obrigatória de planos de gestão. Neste sentido, o transporte responsável pela coleta diferenciada e o transporte de transferência de resíduos entre locais de tratamento devem ser realizados apresentando os menores impactos ambientais possíveis.

5. PARTICIONAMENTO E FORMAÇÃO DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS

Este Capítulo tem o objetivo de abordar a análise de agrupamento particional capaz de definir grupos e, conseqüentemente, definir consórcios públicos intermunicipais. Essa definição pode ser alcançada ao particionar um conjunto de sub-regiões, representadas por pontos em um plano cartesiano. Além das distâncias entre esses pontos, é possível considerar ainda a quantidade de resíduos recicláveis gerada em cada uma dessas sub-regiões de estudo a serem definidas e abordadas no Capítulo 8.

Nesta conjuntura, este Capítulo apresenta a conceituação da análise de agrupamento e os tipos de algoritmos, dentre eles os algoritmos hierárquicos e não hierárquicos. Cabe destacar ainda a abordagem dos algoritmos não hierárquicos *k-means* e *k-medoid* e de três técnicas voltadas a comparar diferentes particionamento em (*k*) numero de grupos. Logo após, apresenta-se um conjunto de ferramentas capazes de particionar em grupos ou consórcios. Finalmente, são apresentadas as considerações finais.

5.1. Conceito de análise de agrupamento

Segundo Linden (2009), a análise de agrupamento (*clustering*) trata-se de um grupo de técnicas computacionais cujo propósito consisteem identificar grupos em um conjunto de dados. Neste sentido, a ideia básica desse particionamento trata-se da alocação de dados, objetos ou pontos a grupos, de acordo com algum critério pré-determinado. Esse critério pode basear-se em uma função de proximidade ou de similaridade, como a distância entre dois objetos. Uma das distâncias mais utilizadas é a distância Euclidiana que pode ser obtida por meio da Eq. 5.1.

$$D_{ki} = \sum_{k=1}^{N_k} \sum_{i=1}^{N_i} \sqrt{(X_{ki} - \bar{X}_k)^2 + (Y_{ki} - \bar{Y}_k)^2}, \text{ onde:} \quad (5.1)$$

D_{ki} : distância euclidiana entre um ponto (*i*) e o centróide do grupo (*k*);

X_{ki} : longitude do centróide do ponto (*i*) pertencente ao grupo (*k*);

Y_{ki} : latitude do centróide do ponto (*i*) pertencente ao grupo (*k*);

\bar{X}_k : longitude do centróide do grupo (*k*);

\bar{Y}_k : latitude do centróide do grupo (*k*);

N_k : número total de grupos do particionamento;

N_i : número total de pontos em estudo.

Lee e Kreng (2006) citam que a maior limitação dos métodos convencionais de análise de agrupamento trata-se da definição prévia do número de grupos, realizada de modo subjetivo pelo analista. Desta forma, o trabalho de agrupamento torna-se de tentativa e erro, pois o analista geralmente não tem ideia sobre o número ideal de grupos. Mesmo com essa limitação, os autores mencionam que a análise de agrupamento é uma das ferramentas mais utilizadas em *data mining*⁵ e classificação de dados. Segundo Gungor e Unler (2007), a análise de agrupamento pode ser realizada em cinco etapas:

- (1) Preparação dos dados e seleção de atributos;
- (2) Seleção da medida de similaridade;
- (3) Seleção do parâmetro e do algoritmo;
- (4) Processamento do algoritmo;
- (5) Validação do número de grupos.

A preparação de dados trata-se da definição dos pontos ou dos objetos que formarão os grupos. Esses pontos ou objetos possuem atributos ou pesos que devem ser definidos e considerados no processo de análise de agrupamento. Deve-se ainda definir a medida de similaridade mais propícia, como a distância ente pontos, o parâmetro, como os pontos centrais iniciais e o algoritmo de particionamento. Após a definição e o processamento do algoritmo, deve-se comparar alguns particionamentos, por meio de uma ou algumas técnicas de validação com o objetivo de verificar o número ideal de grupos.

Segundo Mulder (2013), não existe um algoritmo de agrupamento ideal para todos os conjuntos de dados possíveis e é função do analista definir o melhor algoritmo para o caso em estudo. Segundo Oliveira (2008), os algoritmos de agrupamento mais comuns podem ser divididos basicamente em dois grupos: hierárquicos e não hierárquicos.

5.2. Algoritmos de agrupamento hierárquicos

Os algoritmos hierárquicos realizam uma série de sucessivos agrupamentos (quando são do tipo aglomerativos) ou sucessivas divisões (quando são do tipo divisivos) de objetos

⁵*Data Mining* (mineração de dados): é o processo de explorar grandes quantidades de dados à procura de padrões consistentes, como regras de associação ou sequências temporais, para detectar relacionamentos sistemáticos entre variáveis, detectando assim novos subconjuntos de dados.

ou pontos, de acordo com uma medida de similaridade. Nos algoritmos aglomerativos, cada um dos “n” objetos é considerado inicialmente um grupo. A cada passo, por meio de sucessivas fusões, obtêm-se menos grupos até que os objetos estejam todos reunidos.

Neste contexto, dado um conjunto contendo “n” elementos, é calculada a distância entre todos os elementos, agrupando-se os dois mais similares, o que faz com que o conjunto passe a ter $n - 1$ grupos. Após a referida etapa, calcula-se o centróide⁶ do grupo recém-formado e a distância entre esse centróide e os elementos (pontos) que ainda não foram agrupados. Os elementos mais semelhantes são novamente unidos e esta etapa se repete até que todos os elementos estejam em um único grupo.

Já os algoritmos divisivos apresentam ideia oposta aos algoritmos aglomerativos. Neste caso, o processo realiza uma espécie de decomposição da base de dados. Inicialmente os objetos compõem apenas um grupo. A cada iteração, por meio de sucessivas divisões, o número de grupos aumenta até que todos os elementos estejam separados. Cabe destacar que os algoritmos divisivos tendem a ser menos utilizados que os aglomerativos, pois são menos eficientes e exigem maior capacidade computacional (Matos, 2007).

5.3. Algoritmos de agrupamento não hierárquicos

Os algoritmos de agrupamento podem ser não hierárquicos ou de particionamento. De acordo com Doni (2004), esses algoritmos agrupam elementos em (k) grupos definidos previamente. Neste sentido, a ideia central da maioria dos algoritmos não hierárquicos trata-se da escolha de uma partição inicial dos elementos e a alteração dos elementos de cada grupo a cada iteração do algoritmo até obter-se a melhor configuração possível. Os algoritmos não hierárquicos mais conhecidos são o algoritmo *k-means* e o *k-medoid*. A Tabela 5.1 apresenta as principais características desses dois tipos de algoritmos.

5.3.1. Algoritmos não hierárquicos (de particionamento) k-means

De acordo com Lattin *et al.* (2011), o objetivo do algoritmo de particionamento *k-means* é encontrar o melhor particionamento em (k) número de grupos previamente definidos pelo analista, tornando máxima a similaridade dentro dos grupos e, ao mesmo tempo,

⁶ Centróide é um ponto central que representa um conjunto de elementos que formam um grupo.

tornando mínima a similaridade entre os grupos. Proposto por MacQueen (1967), o algoritmo *k-means* tem início com a escolha aleatória de pontos a serem considerados centróides iniciais de grupos (número de centróides iniciais igual ao número de grupos definidos). Após essa escolha, os pontos são associados aos centróides mais próximos, definindo os membros de cada grupo. Novos centróides de cada um desses grupos são calculados e essas etapas são repetidas até os grupos não sofrerem mais alterações.

Tabela 5.1: Características dos algoritmos *k-means* e *k-medoid*.

Algoritmo	<i>k-means</i>	<i>k-medoid</i>
Diferença	O centro dos grupos é determinado por uma média (cálculo de centróides).	O centro dos grupos é um objeto representativo (<i>medoid</i>) localizado mais ao centro de cada grupo.
Vantagens	Facilidade de implementação; Eficiente para grandes bases de dados; Simplicidade de processamento.	Mais robusto; Distâncias não precisam ser recalculadas.
Desvantagens	Pode encontrar mínimos locais; Qualidade da solução depende da escolha aleatória dos centróides iniciais.	Processamento mais custoso; Não aplicável a grandes bases de dados.
Algumas Variantes	<i>Fuzzy c-means</i> , <i>x-means</i> e <i>k-means ++</i> .	CLARA e CLARANS.

Fonte: baseado em Kaufman e Rousseeuw (1987), Bradley *et al.* (1998), Doni (2004), Lattin *et al.* (2011).

De acordo com Bradley *et al.* (1998) e Jain (2010), o algoritmo *k-means* é um dos mais utilizados para agrupamento pela facilidade de implementação, eficiência e simplicidade de processamento. No entanto, esse algoritmo apresenta pontos fracos, como a escolha inicial dos centróides. Dependendo dessa escolha, o algoritmo pode chegar a soluções muito pobres. Além disso, não é aplicável em casos em que o número de grupos deve ser encontrado pelo algoritmo (Fonseca e Beltrame, 2009). Neste contexto, heurísticas adicionais foram propostas a fim de mitigar esses pontos fracos.

A partir da utilização dessas heurísticas, foram criadas diversas variantes do algoritmo *k-means* básico. Uma dessas variantes trata-se do algoritmo *fuzzy c-means* proposto por Dunn (1973) e aprimorado por Bezdek (1981). Esse algoritmo permite que certo dado possua um determinado grau de relação com cada um dos “c” grupos que se deseja obter. O grau de relação ou grau de pertinência entre um dado e um grupo é um valor

que pertence ao intervalo $[0,1]$. Um grau de pertinência próximo a 1 significa que o dado e o grupo em questão são similares e próximo a zero indica dissimilaridade entre o dado e o grupo analisado. Vale ressaltar que o cálculo dos centróides utiliza a função de pertinência, que é atualizada constantemente até a convergência do algoritmo.

Outra variante trata-se do algoritmo *x-means* proposto por Pelleg e Moore (2000). Esse algoritmo encontra o melhor número de grupos para a realização do particionamento. A inovação inclui uma nova maneira de exploração de dados com testes estatísticos que auxiliam o algoritmo *k-means* básico. Na nova configuração, com apenas uma varredura o algoritmo seleciona o subconjunto mais promissor de grupos para refinamento. Essa nova técnica garante a convergência com maior rapidez em comparação com o emprego repetido do algoritmo *k-means* para diferentes valores de (k) .

Por fim, destaca-se o algoritmo *k-means ++* proposto por Arthur e Vassilvitskii (2007). No algoritmo *k-means* básico, a qualidade da solução depende da escolha aleatória dos pontos, dados ou objetos que representarão os centróides iniciais. No algoritmo *k-means ++*, esses pontos, dados ou objetos são definidos antes da execução das iterações do *k-means* básico. Essa definição inicial garante a melhoria da qualidade de solução. Além disso, tem-se a vantagem do algoritmo *k-means ++* convergir mais rapidamente que o algoritmo básico, mesmo considerando o tempo para a definição dos centróides iniciais.

5.3.2. Algoritmos não hierárquicos (de particionamento) *k-medoid*

Medoids são pontos, dados ou objetos centrais que representam um grupo. Proposto por Kaufman e Rousseeuw (1987), o algoritmo *k-medoid* é habitualmente utilizado quando não é possível determinar os centróides dos grupos em uma aplicação. Esse algoritmo é similar ao algoritmo *k-means* básico: (1) um conjunto de *medoids* é escolhido de modo aleatório; (2) as distâncias entre os pontos e os *medoids* são calculados; (3) os dados são agrupados a cada *medoid* de acordo com a medida de similaridade ou proximidade; (4) novos *medoids* são definidos e (5) os grupos são refeitos até o alcance da convergência.

Segundo Doni (2004), o algoritmo *k-medoid* é mais robusto que o algoritmo *k-means*, pois esse algoritmo é menos influenciado por ruídos. Além disso, o algoritmo *k-medoid* tem a vantagem de não necessitar que as distâncias ou medidas de similaridade sejam

recalculadas a cada iteração do algoritmo. Por outro lado, o referido algoritmo apresenta desvantagens significativas, como processamento mais custoso em comparação com o algoritmo *k-means*, o que o torna não aplicável a grandes bases de dados.

O algoritmo *k-medoid* básico é também conhecido como algoritmo de particionamento PAM (*Partitioning Around Medoids*). De acordo com Bogorny (2003), esse algoritmo é efetivo para pequenas bases de dados. Para grandes bases de dados, comumente utiliza-se a variante do algoritmo *k-medoid* básica conhecida como CLARA (*Clustering Large Applications*). A ideia desse algoritmo é estratificar a base de dados em um conjunto de amostras. Para cada amostra, aplica-se o algoritmo PAM e define-se os grupos. Por sua vez, o algoritmo CLARA define, não o particionamento de dados, e sim das amostras.

Para a melhoria da qualidade de solução do CLARA, propôs-se o algoritmo CLARANS (*Clustering Large Applications based on Randomized Search*). Segundo INPE (2001), esse algoritmo segue o mesmo princípio do algoritmo CLARA. A cada passo pelo qual passa o algoritmo, verifica-se parte dos dados separados em amostras. No entanto, no algoritmo CLARANS, os dados que irão compor cada um dos subconjuntos de amostras são definidos de modo aleatório e dinâmico. O resultado produzido por esse algoritmo é melhor que o resultado produzido pelo algoritmo CLARA. Além disso, esse algoritmo converge para o resultado mais rapidamente que o algoritmo de particionamento PAM.

5.4. Técnicas de validação e avaliação de particionamentos

Após a convergência de um algoritmo de particionamento para diferentes valores de (k) grupos, é possível utilizar técnicas de validação e avaliação com o objetivo de comparar esses particionamentos. A maneira quantitativa com que se dá uma técnica de validação é alcançada por meio de algum tipo de índice, como índice PBM, índice Dunn e índice Calinski e Harabasz. Além desses índices, entre os mais comuns segundo Pires (2008), há vários outros com desempenho que varia de acordo com a aplicação.

5.4.1. Índice PBM

Proposto por Pakhira *et al.* (2004), o índice PBM (inicial do nome dos autores: Pakhira, Bandyopadhyay e Maulik) é obtido a partir da composição de três fatores, conforme Eq. 5.2. O primeiro fator faz com que o índice seja inversamente proporcional ao número de

grupos. Neste contexto, o referido índice tende a ser maior a partir de particionamentos em menores números de grupos. Cabe destacar que quanto maior o índice PBM melhor é o particionamento. Neste sentido, particionamentos em menores números de grupos tendem a apresentar melhores índices PBM.

$$\text{Índice PBM} = (\text{fator 1} * \text{fator 2} * \text{fator 3})^2 = \left(\frac{1}{k} * \frac{E_1}{E_k} * D_k \right)^2 \quad (5.2)$$

k : número de grupos do particionamento;

E_1 : somatório das distâncias de todos os pontos ao centro da base de dados;

E_k : somatório das distâncias dos pontos ao centróide em um mesmo grupo;

D_k : maior distância encontrada entre os grupos formados, tomados dois a dois.

Como o primeiro, o segundo fator diminui em particionamentos com maiores números de grupos. Esse fator trata-se da relação entre E_1 e E_k que representa as densidades dos grupos formados. Por fim, o terceiro fator representa a medida da maior distância entre os grupos formados, tomados dois a dois. Esse fator pode aumentar a partir do aumento do número de grupos (k) em um particionamento.

5.4.2. Índice Dunn

O índice proposto por Dunn (1974) trata-se da razão entre a menor distância entre dados de diferentes grupos e a maior distância entre dados pertencentes a um mesmo grupo, conforme Eq. 5.3. Quanto maior o índice de Dunn, melhor é o particionamento em (k) número de grupos. Destaca-se ainda a principal desvantagem desse índice que se trata do alto custo computacional, quando é alta a quantidade de dados e de grupos.

$$\text{Índice de Dunn} = \frac{\text{Min } d(G_i, G_j)}{\text{Max diam } (G_h)}, \text{ onde:} \quad (5.3)$$

Min $d(G_i, G_j)$: mínima distância entre grupos de um particionamento definido;

Max diam (G_h): diâmetro máximo de um grupo em um particionamento definido.

5.4.3. Índice Calinski e Harabasz

O índice proposto por Calinski e Harabasz (1974) é também conhecido como índice ou medida Pseudo-F. Esse índice proporciona realizar uma análise de custo-benefício entre a simplicidade de um número menor de grupos e a adequação de um número maior, de

modo a aumentar a homogeneidade dentro desses grupos. Essa medida pode ser obtida por meio da Eq. 5.4. Quanto maior o índice Pseudo-F, melhor é o particionamento em (k) número de grupos. Destaca-se ainda a realização de testes envolvendo 30 diferentes índices ou medidas, segundo Milligan e Cooper (1985). A partir dos testes realizados, os autores concluíram que a medida Pseudo-F apresentou melhores resultados.

$$\text{Índice Pseudo-F} = \frac{B*(n-k)}{W*(k-1)}, \text{ onde:} \quad (5.4)$$

n : número de pontos ou dados em análise;

k : número de grupos do particionamento;

B : soma de quadrados das distâncias entre os centróides dos grupos;

W : soma de quadrados das distâncias dos pontos até o centróide do respectivo grupo.

W e B podem ser obtidos por meio das Eq. 5.5 e 5.6, respectivamente. Ressalta-se que as diferenças $(X_{ij} - \bar{X}_i)$ e $(X_{ij} - \bar{X})$ dessas equações representam distâncias que podem ser calculadas a partir da Eq. 5.1.

$$W = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)^2, \text{ onde:} \quad (5.5)$$

X_{ij} : ponto (j) do grupo (i);

\bar{X}_i : centróide do grupo (i);

k : número de grupos do particionamento;

N_i : quantidade de pontos pertencentes ao grupo (i).

$$B = T - W, \text{ onde:} \quad (5.6)$$

$$T: \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} (X_{ij} - \bar{X})^2 \quad (5.7)$$

X_{ij} : ponto (j) do grupo (i);

\bar{X} : centróide de toda a base de pontos (j);

k : número de grupos do particionamento;

N_i : quantidade de pontos pertencentes ao grupo (i).

5.5. Ferramentas de particionamento

A Tabela 5.2 apresenta um conjunto de ferramentas capazes de realizar particionamento de dados. Essas ferramentas possuem funcionalidades estatísticas, exceto a ferramenta

Transcad Transportation que se trata de uma ferramenta de georreferenciamento. Dados sobre essas ferramentas foram obtidos com o auxílio de pesquisa realizada pela revista americana *OR/MS Today* (2013). Dentre esses dados, cita-se o ano de desenvolvimento da ferramenta, o fornecedor e a descrição do produto, a informação se há interface entre a ferramenta e o *software* com aplicação em planilha eletrônica e o preço da licença.

Em geral, grande parte das ferramentas descritas na Tabela 5.2 apresenta interface com aplicação em planilhas eletrônicas. De acordo com Swain (2013), essa interface tende a crescer, pois a aplicação em planilhas é familiar e acessível, tanto para a manipulação da ferramenta quanto para a visualização de resultados. Destaca-se ainda a disponibilidade dessas ferramentas. Estas podem ser adquiridas em versões comerciais, acadêmicas ou demonstrativas. Algumas versões demonstrativas podem ser disponibilizadas a partir da compra de licenças que variam de US\$30,00 a US\$300,00 (ou R\$59,25 a R\$592,47).⁷

Outras versões demonstrativas podem ser adquiridas gratuitamente. Das dez ferramentas citadas, três apresentam versão demonstrativa gratuita: P-STAT, XLSTAT e Transcad Transportation GIS. No caso da ferramenta XLSTAT, a gratuidade é por curta duração (apenas um mês). Cabe destacar ainda que existem ferramentas em que os fornecedores não divulgaram o preço para adquirir qualquer tipo de licença.

Neste contexto, além de verificar o preço e a disponibilidade das ferramentas citadas na Tabela 5.2, faz-se necessário averiguar qual algoritmo ou heurística está sendo utilizado para realizar o particionamento (clusterização). Encontrou-se evidências de que sete das dez ferramentas utilizam o algoritmo de particionamento *k-means* para a realização da clusterização. As informações sobre a utilização dessas ferramentas em grande parte são disponibilizadas nos *sites* dos fornecedores que expõem as ferramentas para a venda.

A Tabela 5.3 apresenta um *checklist* sobre três requisitos básicos que podem auxiliar a definição da ferramenta a ser utilizada para a realização de particionamento. É possível citar os requisitos: interface com o Microsoft Excel, versão demonstrativa gratuita da ferramenta e utilização do algoritmo *k-means* para efetuar a clusterização.

⁷ Conversão segundo câmbio de 15/03/2013.

Tabela 5.2: Ferramentas computacionais com módulo para execução de técnica de particionamento (*clusterização*).

Ferramenta	Ano	Fornecedor	Descrição	Interface com o Microsoft Excel	Preço (US\$) *
Analytic Solver Platform	2013	Frontline Systems Inc.	Mais utilizado para mineração de dados, simulação Monte Carlo e otimização.	sim	60 a 90
IBM SPSS Statistics	1968	IBM	Auxilia processos de planejamento e análise de dados.	sim	n/e
iData	n/e	MJC2	Utilizado para planejamento da demanda.	n/e	n/e
Minitab 16	1972	Minitab Inc.	Utilizado para fins estatísticos e de qualidade.	sim	29.99
P-STAT (R)	1964	P-STAT Inc.	Utilizado para análise estatística de dados e gerenciamento de arquivos.	n/e	gratis (demo)
SAS	1976	SAS	Utilizado para análise estatística, mineração de dados, otimização e simulação.	sim	n/e
Transcad Transportation	1988	Caliper Corporation	Utilizado para georreferenciamento e otimização.	não	gratis (demo)
Unistat	n/e	Unistat Ltd	Utilizado para análise estatística de dados.	sim	300
XLMiner	2003	Frontline Systems Inc.	Utilizado para análise estatística de dados e mineração de dados.	sim	30 a 45
XLSTAT	1993	Addinsoft	Utilizado para análise estatística de dados.	sim	gratis (demo)

**

n/e: não especificado pelos fornecedores. * Preço da licença da versão estudante ou Demonstrativa. ** Grátis por apenas um mês.

Fonte: adaptado de OR/MS Today (2013).

Tabela 5.3: Checklist de requisitos básicos para ferramentas de particionamento.

Ferramenta	Interface com o Microsoft Excel	Gratuidade da versão demonstrativa	Utilização do algoritmo <i>k-means</i>
Analytic Solver Platform	✓	X	✓
IBM SPSS Statistics	✓	n/e	✓
iData	n/e	n/e	n/e
Minitab 16	✓	X	✓
P-STAT (R)	n/e	✓	n/e
SAS	✓	n/e	✓
Transcad Transportation	X	✓	n/e
Unistat	✓	X	✓
XLMiner	✓	X	✓
XLSTAT	✓	✓	✓

✓ : procede; X: não procede; n/e: não especificado.

Com os requisitos apresentados por meio da Tabela 5.3, verifica-se a facilidade de uso com a interface da ferramenta com Microsoft Excel, o que torna amigável inclusive a leitura do resultado. Verifica-se ainda a gratuidade da versão demonstrativa que indica a acessibilidade imediata da ferramenta ao acessar o *site* do fornecedor.

Por fim, é possível verificar a utilização do algoritmo *k-means* que define qual o tipo de algoritmo utilizado pela ferramenta. Ressalta-se que esses três requisitos podem auxiliar a definição da ferramenta a ser utilizada em uma aplicação. Vale lembrar que não existe uma melhor ferramenta e que a escolha depende do tipo de aplicação (Swain, 2013).

5.6. Considerações finais

O algoritmo *k-means* é o algoritmo particional mais popular e mais simples. Proposto há mais de 40 anos, esse algoritmo é um dos mais utilizados para a formação de grupos de dados. Dentre dez ferramentas de clusterização apresentadas neste Capítulo, sete delas utilizam o algoritmo *k-means*. De todas essas ferramentas, destaca-se a XLSTAT com licença gratuita por um mês. Essa ferramenta apresenta ainda interface com o Microsoft Excel, tornando mais amigável a aplicação e a visualização dos resultados.

Neste contexto, essa ferramenta permite a geração de opções de particionamento em (k) número de grupos. Essas opções podem ser avaliadas por meio de índices, dentre eles o índice Pseudo-F, um dos mais utilizados para validação de agrupamentos. No entanto, a definição de grupos ou de consórcios públicos faz parte de um dos requerimentos para a implementação conjunta da coleta diferenciada porta-a-porta, necessária para atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelecida no Brasil em 2010.

Conforme essa política estabelece, os preceitos de ecoeficiência devem ser considerados no processo de elaboração de planos de gestão de resíduos sólidos. Neste sentido, esses preceitos podem ser considerados para a definição de consórcios públicos. Assim sendo, as opções de particionamento em (k) grupos geradas por um algoritmo não hierárquico podem ser avaliadas por medidas de desempenho, que podem considerar a atividade de transporte referente à coleta diferenciada porta-a-porta e seus impactos ambientais.

6. ECOEFICIÊNCIA APLICADA AO SETOR DE TRANSPORTES

Este Capítulo tem o objetivo de definir medidas de desempenho financeiro e medidas de desempenho ambiental voltadas a auxiliar a decisão do número de grupos ou consórcios a serem implementados em uma região de estudo. Neste contexto, após a geração de opções de particionamentos, para cada uma dessas opções é possível obter as referidas medidas. A partir dessa definição, as opções podem ser comparadas e a opção de maior desempenho pode ser evidenciada, considerando o transporte dos resíduos recicláveis.

Neste contexto, este Capítulo apresenta o conceito de eficiência e de ecoeficiência. Em seguida, apresenta-se os recursos a serem utilizados na operação de coleta diferenciada porta-porta. Apresenta-se ainda os impactos ambientais causados por essa coleta no que diz respeito ao consumo de energia e a emissão de dióxido de carbono e de poluentes locais. A partir dessa análise inicial, recomenda-se medidas de desempenho financeiro e de desempenho ambiental. Finalmente, são apresentadas as considerações finais.

6.1. Conceito de ecoeficiência

Antes de conceituar a ecoeficiência, é necessário destacar a diferença entre os conceitos de eficiência, eficácia e efetividade. Segundo Maximiano (2000), eficiência é a relação entre esforço e resultado. Assim, quanto menor o esforço necessário para produzir um resultado, mais eficiente é o processo. Neste contexto, a eficiência pode ser definida por meio da Eq. 6.1. Essa equação exprime a ideia de que um processo eficiente é aquele que alcança maiores resultados com mesmos ou menores recursos e aquele que mantém os mesmos resultados utilizando menores recursos.

$$Eficiência = \frac{\text{resultados alcançados}}{\text{recursos utilizados}} \quad (6.1)$$

Megginson *et al.* (1998) apresentam o mesmo conceito, contudo utilizam o termo output para resultados e input para recursos. Chiavenato (1994) utiliza os termos benefícios para resultados e custos para recursos que devem ser aplicados de forma mais racional possível. Já Slack *et al.* (2002) interpretam o conceito de eficiência como uma relação entre volume de produção real (resultado da atividade) e capacidade efetiva (potencial de uso dos recursos de produção), conforme Eq. 6.2.

$$Eficiência = \frac{\text{volume de produção real}}{\text{capacidade efetiva}} \quad (6.2)$$

Diferentemente da eficiência que foca em processos internos, a eficácia é o conceito de desempenho que se relaciona com os objetivos e resultados. Para avaliar a eficácia de uma organização é necessário focar no mercado, na necessidade de clientes e na atuação de concorrentes (Maximiano, 2000). Quanto mais alto o grau de realização de objetivos, mais a organização é eficaz. Neste contexto, de nada adianta obter processos eficientes se estes não forem eficazes. Assim sendo, uma organização deve buscar a efetividade que significa a eficiência e a eficácia obtidas de modo conjugado.

Em outro enfoque, ao se avaliar o desempenho de organizações, costuma-se privilegiar aspectos econômico-financeiros em detrimento de aspectos socioambientais. Segundo Leal Júnior (2011), comumente as organizações têm a ideia de que considerar questões ambientais aumenta os custos, o que prejudica o desempenho econômico. Assim sendo, o conceito de ecoeficiência busca combinar ideias usualmente antagônicas relativas ao aumento do desempenho econômico-financeiro e à redução de influências ambientais.

Neste contexto, WBCSD (2000) define ecoeficiência como a entrega de bens e serviços a preços competitivos, que satisfaçam as necessidades humanas e resultem em melhor qualidade de vida, enquanto progressivamente são reduzidas as influências ambientais e a intensidade do uso dos recursos, em todas as etapas do ciclo de vida do produto ou serviço, pelo menos até um nível em acordo com a capacidade estimada do planeta. A medida de ecoeficiência recomendada por WBCSD (2000) trata-se da relação entre o valor do produto ou do serviço e as influências ambientais, segundo Eq. 6.3.

$$Ecoeficiência = \frac{\text{valor do produto ou serviço}}{\text{influências ambientais}} \quad (6.3)$$

O conceito de ecoeficiência muitas vezes está associado ao conceito de produção limpa. Segundo UNEP (2013), esses conceitos são quase sinônimos. A pequena diferença está associada ao foco inicial da análise: a ecoeficiência tem como foco inicial questões de eficiência econômica que apresentam benefícios ambientais, enquanto a produção limpa tem como foco inicial questões de eficiência ambiental que têm benefícios econômicos.

De qualquer maneira, Foelkel (2008) ressalta que esses dois conceitos são estratégicos para a melhoria contínua de processos, produtos e serviços, além de buscar a eficiência operacional, a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável.

6.2. Recursos da operação de coleta de resíduos recicláveis

Em um consórcio, os recursos utilizados para realizar a coleta diferenciada porta-a-porta tratam-se da frota de veículos, dos itens necessários para sua operação e da mão-de-obra de recursos humanos, como motoristas e ajudantes. O número de veículos de uma frota pode ser determinado a partir da relação entre a quantidade de resíduos recicláveis que se pretende coletar mensalmente, estabelecido pelo programa de coleta pertencente ao consórcio, e a capacidade de coleta mensal de cada veículo-tipo, considerando o número de viagens diárias estimado que o veículo pode realizar, o número de dias úteis por mês e a capacidade de coleta de um veículo-tipo, conforme apresenta a Eq. 6.4.

$$TF = \frac{Q_{kz}}{CP * DU * VD} \quad (6.4)$$

TF: tamanho da frota;

Q_{kz}: quantidade de resíduos recicláveis coletados mensalmente em cada consórcio GP_{kz};

CP: capacidade de coleta de um veículo-tipo;

DU: número de dias úteis por mês;

VD: número de viagens diárias.

Para a operação de coleta, é necessário ainda alguns itens de custo, como combustível, pneus e lubrificantes para motor e câmbio. Já os recursos humanos necessários tratam-se de um motorista por veículo, além de ajudantes. A quantidade de ajudantes em cada veículo pode variar e depende da avaliação de cada programa de coleta diferenciada.

A Tabela 6.1 apresenta a composição adaptada de custos fixos e custos variáveis de um veículo-tipo. Além dos itens de custo apresentados, menciona-se o custo variável com lavagem e com manutenção do veículo e o custo fixo com licenciamento, remuneração de capital, depreciação e seguro. Esses custos fixos e variáveis compõem o custo total que se trata de recursos financeiros que um programa de coleta deve almejar minimizar.

Além de almejar minimizar o custo total de coleta, os programas devem buscar opções de consórcios em que, no geral, a quantidade necessária de veículos seja menor, como forma de reduzir o custo fixo da operação. Além disso, os programas devem buscar as opções com maior utilização dos veículos. Para este estudo, considera-se a premissa dos veículos-tipo serem adquiridos para realizar apenas a coleta diferenciada porta-a-porta, não sendo realocados para outra atividade a serviço do consórcio. Neste sentido, deve-se evitar que o veículo fique parado, pois mesmo sem custos variáveis, haverá a ocorrência de custos fixos, como depreciação, remuneração de capital e licenciamento.

Tabela 6.1: Itens de custo fixo e variável de um veículo-tipo.

Tipo de custo	Item de custo
Custo fixo mensal (R\$/veículo)	Depreciação
	Remuneração de capital
	Licenciamento
	Seguro
	Salário do motorista (com encargos)
	Salário de ajudantes (com encargos)
Custo variável mensal (R\$/km)	Manutenção
	Pneus
	Combustível
	Lubrificante motor
	Lubrificante câmbio
	Lavagem

Fonte: adaptado da Revista Transporte Moderno (2012).

Nesta conjuntura, é possível obter a taxa de utilização da frota a partir da relação entre a quantidade de resíduos recicláveis que se pretende coletar mensalmente e a capacidade de coleta mensal da frota. Essa capacidade pode ser obtida por meio do número de dias úteis por mês, do número de viagens diárias, da capacidade de coleta de um veículo-tipo e do tamanho da frota de veículos em operação, conforme apresenta a Eq. 6.5.

$$TUF_{kz} = \frac{Q_{kz}}{CP * DU * VD * TF_{kz}} \quad (6.5)$$

TUF_{kz} : taxa de utilização da frota em cada grupos GP_{kz} ;

Q_{kz} : quantidade de resíduos recicláveis coletados mensalmente em cada grupo GP_{kz} ;

CP : capacidade de coleta de um veículo-tipo;

DU : número de dias úteis por mês;

VD : número de viagens diárias;

TF_{kz} : tamanho da frota em cada grupo GP_{kz} .

Finalmente, é necessário destacar a necessidade do cálculo da distância percorrida pelos veículos para realizar o serviço de coleta dos resíduos recicláveis. A partir da definição dessa distância, é possível determinar os custos variáveis associados à frota. Considera-se a distância de dois trajetos: o primeiro é necessário para realizar a coleta e o segundo trata-se da transferência até o centro de triagem do consórcio. Ao adotar a premissa de que o centro de triagem estará localizado no centróide do consórcio, é possível definir a distância de transferência como a distância euclidiana entre esse centróide e o centróide dos pontos de geração de resíduos recicláveis. Essa distância poderá ser obtida a partir da Eq. 5.1. Cabe destacar ainda que a distância percorrida necessária para carregar um veículo em sua capacidade pode variar de acordo com a localidade e que o veículo após sua lotação segue para o centro de triagem e retorna para nova coleta.

6.3. Impactos ambientais causados pelo transporte de resíduos recicláveis

Segundo o Artigo 1º da Resolução n.º 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (MMA, 1986), impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas que afetem diretamente ou indiretamente a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias e a qualidade dos recursos ambientais.

Um impacto ambiental pode ser classificado a partir de critérios, como tipo, categoria, área de abrangência, duração, reversibilidade, prazo para manifestação e magnitude ou intensidade. Neste contexto, um impacto pode ser do tipo direto ou indireto, de acordo com os efeitos do impacto. Pode ser categorizado como adverso ou benéfico e ter área de abrangência local, regional ou estratégica, quando os efeitos do impacto extrapolam as áreas de influência definidas para o empreendimento (IBAMA, 2010).

Quanto à duração, o impacto pode ser temporário ou permanente. É possível definir ainda se o impacto é reversível ou irreversível, quando não é possível reverter os efeitos

causados pelas atividades do empreendimento ou da operação. Outro critério que auxilia a classificação do impacto é o prazo para sua manifestação. Esse prazo pode ser curto ou imediato, em casos em que o impacto ocorre imediatamente ao início das ações que lhe deram origem ou pode ser gerado em médio ou longo prazo. Por fim, um impacto pode ser fraco, médio, forte ou variável. Essa magnitude ou intensidade é determinada, sempre que possível, por critérios não subjetivos (IBAMA, 2010).

Tsoulfas e Pappis (2006) mencionam os impactos ambientais causados pela atividade de transporte e destacam que há grandes oportunidades de redução desses impactos. Neste trabalho, com foco na coleta de resíduos recicláveis, ressalta-se os impactos diretamente ligados a essa atividade, como impactos referentes ao consumo de energia, a emissão de dióxido de carbono e a emissão de poluentes locais. Cabe destacar a existência de outros impactos referentes a consumo de água, poluição da água e do solo, poluição sonora e visual, poluição térmica e consumo de insumos e de matérias-primas em geral.

6.3.1. Impactos ambientais causados pelo consumo de energia em transportes

De um modo geral, a energia renovável é proveniente de recursos naturais, como o sol, o vento, a terra (energia geotérmica) e as marés, que se tratam de recursos naturalmente reabastecidos. Por outro lado, há a energia proveniente de fontes não renováveis, como combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural) e nucleares. Em 2008, grande parte da energia consumida mundialmente (78%) foi proveniente de combustíveis fósseis, 3% de combustíveis nucleares e 19% de fontes renováveis (REN21, 2010).

De acordo com MME (2012), de toda a energia consumida no Brasil em 2011, 30,1% foi consumida pelo setor de transporte, perdendo apenas para a indústria, que consumiu 35,9%. De toda a energia consumida pelo setor de transporte em 2011, grande parte é proveniente de fontes não renováveis (83%) e uma pequena parte é proveniente de fontes renováveis (17%). Dos combustíveis mais utilizados pelo setor de transportes, cita-se o óleo diesel (47,3%), a gasolina (27,2%) e o etanol (14,1%).

Dentre os modos de transporte, o modo rodoviário é o responsável pela maior parte do consumo de energia (92%). Já o modo aéreo consome 5%, o modo hidroviário 2% e o modo ferroviário apenas 1% da energia consumida pelo setor de transportes em 2011

(MME, 2012). Ao comparar o consumo de energia pelo setor de transportes em 2011 e em 2010, constata-se que esse consumo vem aumentando (+6,6%), o que torna imperiosa a busca por mecanismos capazes de reduzir esse consumo.

Esse aumento do consumo de energia contribui com influências ambientais relevantes. No caso do consumo de combustíveis fósseis, a influência ambiental está associada à exaustão de recursos naturais e, no caso do consumo de biocombustíveis, está associada indiretamente à destruição de florestas (Leal Júnior, 2011). Em particular, cabe salientar a influência ambiental causada por veículos que realizam a coleta diferenciada porta-a-porta no Brasil, ao consumir a mistura Bx (x% de biodiesel e 1-x% de óleo diesel).

6.3.2. Impacto ambiental causado pela emissão de CO₂ em transportes

O clima na Terra é regulado pelo fluxo constante de energia solar que é devolvida pela Terra na forma de radiação infravermelha e pelos gases de efeito estufa (GEE) que estão presentes na atmosfera terrestre e têm a propriedade de bloquear parte dessa radiação. Como consequência das atividades humanas (antrópicas), o nível de concentração de alguns dos gases GEE, como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), vem aumentando na atmosfera⁸. Este fenômeno aumenta a temperatura do planeta, provocando mudanças climáticas (MCT, 2009).

Segundo IPEA (2011), a emissão de dióxido de carbono (CO₂) tem como principal fonte o setor de transporte. Esse setor responde por 20% das emissões globais de CO₂. No Brasil, o setor de transporte responde por cerca de 9% das emissões totais de CO₂. Apreciando apenas o transporte rodoviário no Brasil, os veículos leves são responsáveis por 39% das emissões totais de CO₂. Já os sistemas de ônibus respondem por 7% e os veículos utilitários leves a óleo diesel por 10% dessas emissões. Destaca-se ainda que os caminhões são responsáveis por 44% das emissões relativas ao transporte rodoviário.

Entre 1958 e 2004, as emissões de CO₂ na atmosfera subiram a uma taxa aproximada de 1,3% ao ano, sendo que nos últimos 5 anos este aumento esteve próximo de 3% (INPE,

⁸ Há ainda outros gases GEE, como gases CFC, HFC, HCFC, SF₆ e PFC, estes produzidos pelo homem. CFC: clorofluorcarbonos, HFC: hidrofluorcarbonos, HCFC: hidrofluorclorocarbonos, SF₆: hexafluoreto de enxofre PFC: perfluorcarbonos.

2009). No Brasil, como mecanismo para a redução dessas emissões, foi estabelecida a Política Nacional sobre Mudança do Clima. Essa política instituiu em seu Artigo 12 o compromisso nacional voluntário com ações de mitigação das emissões de gases GEE. A meta adotada é a redução entre 36,1% e 38,9% das emissões nacionais projetadas até o ano de 2020 (Brasil, 2009).

6.3.3. Impactos ambientais causados pela emissão de poluentes locais

Segundo IPEA (2011), até meados da década de 90, houve forte aumento das emissões veiculares totais dos principais poluentes locais. O crescimento da frota além da baixa eficiência dos motores contribuía com essa tendência. Contudo, a partir deste período, tem-se observado no Brasil uma clara redução das emissões de poluentes locais, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), além de material particulado (MP). Essa redução em grande parte deve-se a implementação de programas como o PROCONVE⁹ implementado em 1986.

Os programas e as políticas voltadas a reduzir as emissões tem por objetivo reduzir as influências ambientais negativas causadas pelos poluentes locais. Dentre as influências à saúde humana, é possível mencionar a contribuição à ocorrência ou ao agravamento de doenças, desde problemas de visão, rinites e faringites até bronquite crônica, asma brônquica, enfisema pulmonar e câncer de pulmão (Abreu, 2005). No entanto, Gionda (2006) salienta que o contato com poluentes locais é um dentre um conjunto de fatores responsáveis pelo surgimento de determinada doença.

Segundo Abreu (2005), os poluentes locais provocam ainda impactos ao meio ambiente, como a desfiguração da paisagem, redução da fotossíntese e a alteração no crescimento das árvores e na produção de frutos. Em especial, ressalta-se os impactos causados pelo óxido de nitrogênio (NO_x) no que diz respeito à formação da chuva ácida e os impactos causados por materiais particulados (MP) responsáveis pela deterioração da visibilidade, danos à vegetação e contaminação do solo (CETESB, 2011).

⁹ PROCONVE: Programa de Redução de Emissões de Veículos Automotores.

6.4. Medidas de desempenho financeiro e ambiental

O preceito de ecoeficiência pode ser praticado ao associar na análise, além de Medidas de Desempenho Financeiro (MDF), Medidas de Desempenho Ambiental (MDA). Leal Júnior (2011) menciona que medidas são combinações de indicadores que representam de forma coerente, por relações lógicas e/ou matemáticas, os atributos do sistema cujo desempenho se está analisando. Mourão (2006) cita que indicadores são representações quantificáveis capazes de simplificar um fenômeno complexo. Alguns dos indicadores que compõem medidas MDF e MDA são aplicáveis ao setor de transportes.

A Tabela 6.2 apresenta um conjunto de indicadores e de medidas, relativas a aspectos financeiros e a aspectos ambientais, associados ao setor de transporte, mencionados por Michelsen *et al.* (2006), Kuo e Chen (2009), Blengini *et al.* (2012) e Leal Júnior *et al.* (2012). Esses indicadores e medidas são aplicáveis ao transporte rodoviário responsável pelo deslocamento de resíduos recicláveis de pontos de geração até centros de triagem. Cita-se ainda que apenas um indicador de resultado ou de valor de serviço foi escolhido para a determinação das medidas MDF e MDA, conforme sugere Leal Júnior (2011).

O indicador de resultado ou valor de serviço trata-se da quantidade de resíduos sólidos recicláveis coletada e transportada. Esse indicador é destaque, uma vez que a quantidade coletada é o objetivo de programas de coleta diferenciada, geralmente implementadas e operadas pelo poder público. Durante a idealização desses programas, geralmente são estabelecidas metas de coleta, considerando os recursos disponíveis para a execução do serviço. Esses programas visam ainda aumentar a quantidade de resíduos recolhidos ao longo do tempo, como forma de aumentar a vida útil de aterros sanitários.

Neste sentido, para a definição de medidas MDF e MDA, combinou-se o indicador de quantidade transportada com seis indicadores de recursos ou influências ambientais. Os indicadores para a formação de medidas MDF são: custo de operação em R\$, definido a partir dos custos fixos e variáveis associados à operação do veículo de coleta; número de veículos em operação, definido pelo programa de coleta geralmente dirigido pelo poder público e capacidade do veículo de coleta em tonelada, definida a partir do tipo de veículo a ser disponibilizado para a execução do serviço.

Tabela 6.2: Indicadores e medidas associados ao transporte de resíduos recicláveis.

Indicador de resultado ou valor do serviço	Indicadores de recursos ou influências ambientais	Medidas	Tipo de medida
Quantidade transportada (kg)	Custo de operação (R\$)	Quantidade transportada/Custo de operação (kg/R\$)	MDF1
Quantidade transportada (t)	Número de veículos em operação (qtd)	Quantidade transportada/Número de veículos em operação (t/qtd)	MDF2
Quantidade transportada (t)	Capacidade do veículo (t)	Quantidade transportada/Capacidade do veículo (t/t de capacidade)	MDF3
Quantidade transportada (kg)	Consumo de energia (MJ)	Quantidade transportada/Consumo de energia (kg/MJ)	MDA1
Quantidade transportada (kg)	Emissão de dióxido de carbono - CO ₂ (kg)	Quantidade transportada/Emissão de CO ₂ (kg/kg CO ₂)	MDA2
Quantidade transportada (kg)	Emissão de poluentes locais* (g)	Quantidade transportada/Emissão de poluentes locais (kg/g)	MDA3

* Poluentes veiculares locais regulamentados: monóxido de carbono - CO; óxidos de nitrogênio - NOx; hidrocarbonetos - HC e material particulado - MP.

Fonte: adaptado de Michelsen *et al.* (2006), Kuo e Chen (2009), Leal Júnior e D'Agosto (2011), Leal Júnior (2011), Leal Júnior *et al.* (2012) e Blengini *et al.* (2012).

Há ainda os indicadores para a formação de medidas MDA: consumo de energia em MJ; emissão de dióxido de carbono (CO₂) em kg e emissão de poluentes locais em kg. Cabe citar os poluentes veiculares locais regulamentados para veículos leves com capacidade inferior a nove toneladas, conforme resolução nº18/86 do Conselho Brasileiro do Meio Ambiente - CONAMA (MMA, 1986). Esses poluentes são: monóxido de carbono - CO; óxidos de nitrogênio - NO_x; hidrocarbonetos - HC e material particulado - MP.

Segundo Mickwitz *et al.* (2006), deve-se considerar as particularidades locais para a definição de indicadores e de medidas relacionadas a ecoeficiência. Essa afirmação é reforçada quando é inserida no contexto da coleta diferenciada porta-a-porta, como uma das ações requeridas para a gestão de resíduos sólidos. De acordo com Wilson *et al.* (2001) e Papachristou *et al.* (2008), a elaboração de planos de gestão de resíduos deve considerar e respeitar as particularidades locais, no que diz respeito a qualquer tipo de ação a ser implementada e operada, seja por poder público ou privado.

6.5. Considerações finais

A atividade de transporte causa impactos à saúde da população e ao meio ambiente. A mitigação desses impactos é recomendada, principalmente em relação à atividade de coleta de resíduos recicláveis que é estabelecida para reduzir impactos ambientais (com a economia de recursos naturais e o redirecionamento de resíduos antes dispostos em aterros sanitários). A redução desses impactos pode ser obtida ao mesmo tempo em que se busca elevar o desempenho financeiro da atividade.

Neste contexto, buscou-se aplicar os preceitos da ecoeficiência a partir da definição de um conjunto de medidas de desempenho ambiental associado ao transporte de resíduos recicláveis em um processo de coleta diferenciada porta-a-porta. As medidas citadas são referentes aos impactos de emissões e consumo de energia, principalmente de fonte não renovável. Essas medidas de desempenho ambiental são analisadas em conjunto com medidas de desempenho financeiro referentes à eficiência do veículo.

7. PROCEDIMENTO PARA DEFINIÇÃO DE CONSÓRCIOS PÚBLICOS

Este Capítulo tem o objetivo de estruturar um procedimento que auxilie a definição de consórcios públicos em uma região de estudo. Esses consórcios objetivam compartilhar recursos para a realização da coleta diferenciada porta-a-porta. Para a definição desses consórcios buscou-se considerar os preceitos da ecoeficiência, como modo de associar aspectos financeiros e ambientais. Vale lembrar que é desejado minimizar os recursos e os custos que envolvem o transporte de resíduos recicláveis, bem como é ambicionado minimizar os impactos que causam à saúde da população e ao meio ambiente.

Neste contexto, este Capítulo apresenta um procedimento para a definição de consórcios públicos, composto por onze passos, conforme Figura 7.1. Entre os referidos passos, os sete primeiros são responsáveis por gerar opções de particionamento. Em cada uma das opções, particiona-se os centróides (representam sub-regiões) formando grupos. Esses grupos com dois ou mais componentes são considerados consórcios. Neste contexto, ao considerar os próximos três passos, define-se a(s) Medida(s) de Desempenho Financeiro (MDF), a(s) Medida(s) de Desempenho Ambiental (MDA) e a agregação destas. Logo em seguida, o passo onze envolve a análise da medida agregada, como forma de auxiliar a tomada de decisão e a consequente escolha de como particionar a região de estudo.

Neste trabalho, menciona-se que a aplicação do procedimento proposto é conduzida por um analista. Entende-se por analista um profissional ou um conjunto de profissionais que aliem conhecimentos políticos, técnicos e administrativos. O conhecimento político está associado com a política de gestão de resíduos sólidos instituída para as sub-regiões pertencentes à região de estudo. O analista deve conhecer e utilizar essa política como instrumento para articular a aplicação do procedimento com essas sub-regiões. Por essa razão, o analista deve ser um profissional ligado ao poder público (superintendência ou secretaria do meio ambiente). Se as sub-regiões são bairros, o analista deve pertencer à prefeitura e, se as sub-regiões são municípios, o analista deve pertencer ao estado onde estes estão localizados. Destaca-se ainda a importância do conhecimento técnico para a aplicação do procedimento, mais precisamente com relação à análise de agrupamento e definição e análise relacional das medidas financeiras e ambientais. Por fim, entende-se serem necessários conhecimentos administrativos relacionados à gestão de projetos e condução de equipes voltadas a definir volume e composição de resíduos gerados.

7.1. Passo 1

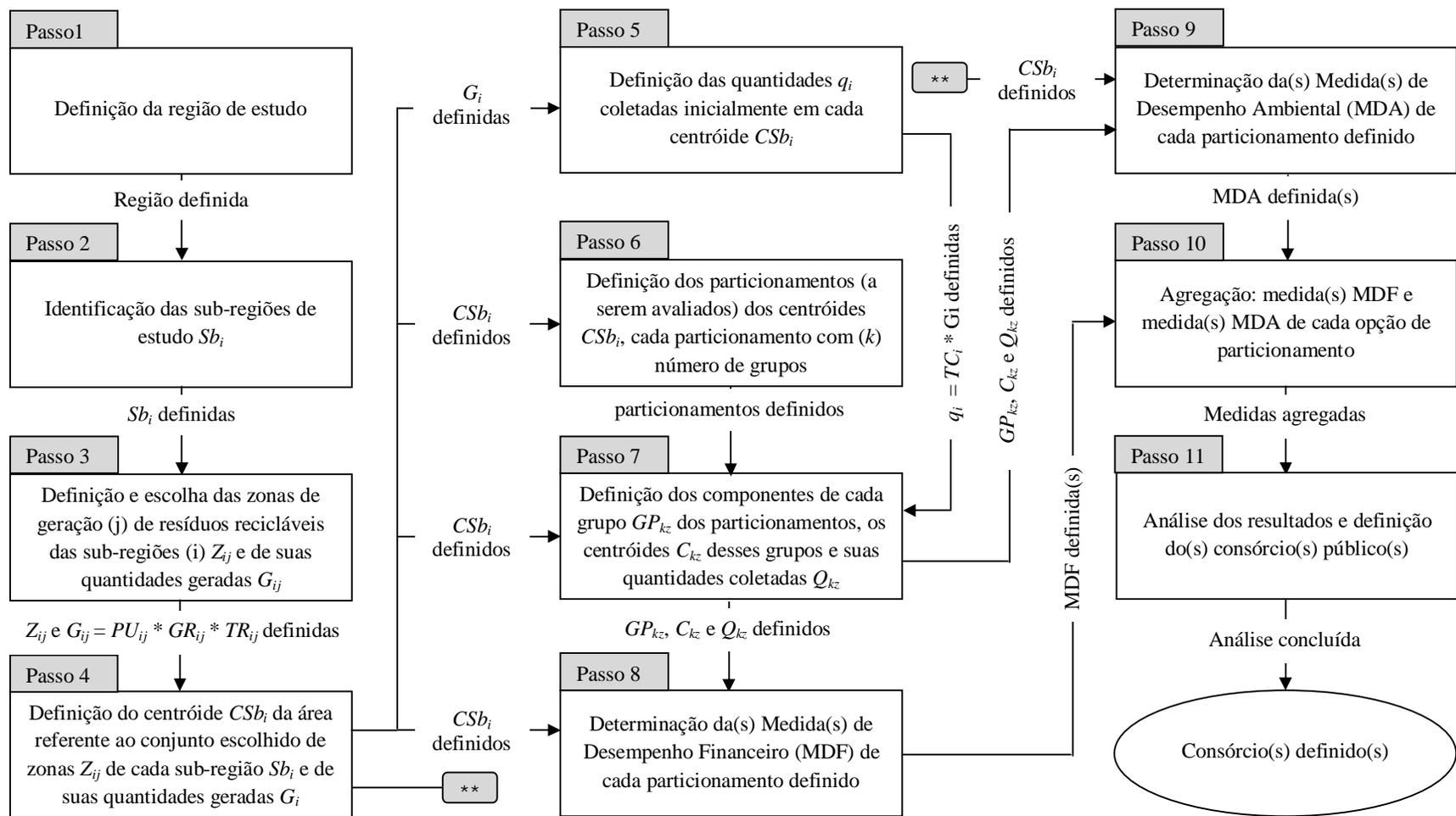
O primeiro passo tem como alvo a definição da região de estudo. Essa definição poderá ser arbitrária de modo a depender da avaliação do analista. Porém, haverá a necessidade de formar consórcios públicos quando as sub-regiões componentes da região de estudo não apresentarem potencial financeiro para implementar individualmente a coleta porta-a-porta. Essa necessidade existirá ainda quando a geração de resíduos sólidos recicláveis domiciliares for baixa, principalmente em sub-regiões menos populosas - com menos de 30 mil habitantes (IBAM, 2001) - a ponto de não viabilizar a mobilização de recursos para a realização da coleta diferenciada porta-a-porta.

7.2. Passo 2

O segundo passo visa a identificar as sub-regiões Sb_i que compõe a região de estudo. A referida definição é necessária, pois se almeja propor consórcios públicos formados por essas sub-regiões. É possível identificar essas sub-regiões por meio de divisão política, administrativa ou estas podem ser definidas arbitrariamente. A divisão política poderá estar determinada em diferentes níveis, como bairros, distritos, condados e municípios. Cabe ao analista identificar as sub-regiões Sb_i citadas, de modo a definir em qual nível estas serão tratadas. Para esta definição, deve-se considerar a disponibilidade de dados que podem não existir ou podem não estar acessíveis. Entre esses dados, é possível citar as subdivisões (distritos e bairros) das sub-regiões Sb_i e a população urbana e rural.

7.3. Passo 3

O terceiro passo para a determinação de consórcios públicos é a definição e a escolha de zonas de geração (j) das sub-regiões (i) Z_{ij} e a definição de suas quantidades geradas de resíduos recicláveis G_{ij} . Essas zonas tratam-se de subdivisões das sub-regiões Sb_i . Cabe destacar que essas subdivisões podem estar definidas por meio de divisão administrativa ou política, ou podem ser arbitradas. Para definir essas subdivisões, deve-se considerar a disponibilidade de dados, principalmente de composição e volume de resíduos sólidos gerados. Após essa definição, é necessário ressaltar que o analista pode decidir por não considerar todas as zonas de geração no estudo, pois pode ser objetivo iniciar a coleta em parte dessas zonas para, posteriormente, ampliar a abrangência do serviço.



$P_{U_{ij}}$: população urbana em habitantes; $G_{R_{ij}}$: geração total de resíduos por habitante; $T_{R_{ij}}$: taxa de resíduos recicláveis; TC_i : taxa de coleta de resíduos recicláveis.

Figura 7.1: Procedimento para a definição de consórcios públicos intermunicipais.

Após a identificação das zonas de geração Z_{ij} , define-se as coordenadas geográficas de cada uma dessas zonas. Essas coordenadas tratam-se da longitude X_{ij} e da latitude Y_{ij} , com (i) representando as sub-regiões e (j) as zonas de geração. Deve-se definir ainda a quantidade de resíduos recicláveis gerados G_{ij} em cada uma das zonas Z_{ij} . Em casos em que essa geração está explicitada em quantidade por habitante, sugere-se utilizar dados de população urbana para o cálculo da quantidade total gerada. Para atender à população rural, outros sistemas de coleta diferenciada devem ser planejados e implementados, em virtude da dispersão desta população. Quando se define a quantidade total de resíduos gerados, é necessário conhecer ainda a taxa de resíduos recicláveis, conforme Eq. 7.1.

$$G_{ij} = PU_{ij} * GR_{ij} * TR_{ij} \quad (7.1)$$

G_{ij} : quantidade mensal gerada de resíduos recicláveis na zona de geração Z_{ij} ;

PU_{ij} : população urbana em habitantes;

GR_{ij} : geração total de resíduos em toneladas mensais por habitante;

TR_{ij} : taxa de resíduos recicláveis.

7.4. Passo 4

O quarto passo almeja definir o centróide CSb_i da área referente ao conjunto escolhido de zonas de geração Z_{ij} de cada sub-região Sb_i e definir suas quantidades geradas de resíduos recicláveis G_i . Neste contexto, o centróide dessa área escolhida pode ser obtido por meio das coordenadas geográficas de longitude X_{ij} e de latitude Y_{ij} e da quantidade gerada de resíduos recicláveis G_{ij} das zonas de geração escolhidas dessa sub-região no passo anterior, conforme Eq. 7.2. Por fim, define-se a quantidade gerada G_i de resíduos recicláveis de cada centróide, obtida por meio da soma das quantidades G_{ij} geradas nas zonas escolhidas de cada sub-região Sb_i .

$$CSb_i = \begin{cases} X_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} X_{ij} G_{ij}}{\sum_{j=1}^{N_i} G_{ij}} \\ Y_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_i} Y_{ij} G_{ij}}{\sum_{j=1}^{N_i} G_{ij}} \end{cases}, \text{ onde} \quad (7.2)$$

CSb_i : centróide da sub-região Sb_i ;

X_i : longitude do centróide da sub-região Sb_i ;

Y_i : latitude do centróide da sub-região Sb_i ;

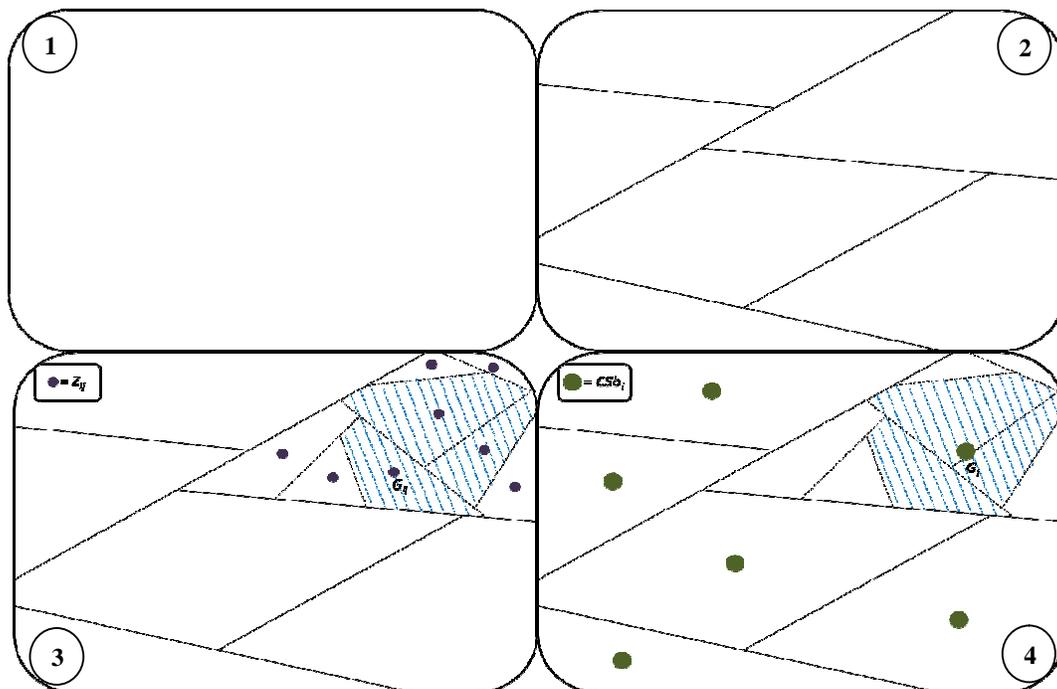
G_{ij} : quantidade mensal gerada de resíduos recicláveis na zona de geração Z_{ij} ;

X_{ij} : longitude da zona de geração Z_{ij} ;

Y_{ij} : latitude da zona de geração Z_{ij} ;

N_i : número de zonas de geração da sub-região Sb_i .

A Figura 7.2 resume os Passos 1 a 4 do procedimento proposto a partir de um exemplo hipotético (definição de seis sub-regiões de estudo e seus respectivos centróides CSb_i).



(1) Passo 1: quadro representa a região de estudo definida;

(2) Passo 2: subdivisões do quadro representam as sub-regiões de estudo identificadas;

(3) Passo 3: subdivisões das sub-regiões são as zonas de geração (Z_{ij}). A área hachurada representa a área das zonas escolhidas para serem atendidas pelo programa de coleta diferenciada porta-a-porta. Cada zona Z_{ij} apresenta uma quantidade gerada G_{ij} ;

(4) Passo 4: Os centróides CSb_i são definidos para cada área (hachurada) de cada sub-região. Define-se ainda a quantidade gerada G_i .

Figura 7.2: Ilustração dos Passos 1 a 4 do procedimento.

7.5. Passo 5

O quinto passo visa a definir as quantidades q_i coletadas inicialmente em cada centróide CSb_i . Essa definição é necessária, pois nem sempre é possível coletar inicialmente toda

a quantidade gerada de resíduos recicláveis. Mesmo realizando uma vasta divulgação do programa de coleta, a adesão da população para efetuar a separação dos resíduos pode ser lenta. Neste sentido, embora seja definida uma fração inicial para a coleta, o objetivo a longo prazo deve ser sempre efetuar a coleta de todos os resíduos recicláveis gerados. Assim sendo, para a definição da quantidade inicial a ser coletada, deve-se verificar se há meta inicial de coleta estabelecida pelo governo local referente à região de estudo. A referida meta pode ser estabelecida como uma taxa inicial de coleta TC_i . Neste sentido, essas taxas serão premissas determinantes das quantidades coletadas q_i , conforme Eq. 7.3. Caso essa meta não esteja estabelecida, recomenda-se buscar referenciais de práticas de implementação de outras sub-regiões com políticas de gestão similares.

$$q_i = TC_i * G_i \quad (7.3)$$

q_i : quantidade mensal de resíduos recicláveis coletada na sub-região Sb_i .

TC_i : taxa de coleta;

G_i : quantidade mensal gerada de resíduos recicláveis na sub-região Sb_i .

7.6. Passo 6

O sexto passo requer a definição dos particionamentos a serem avaliados, dos centróides CSb_i definidos no Passo 4. Quando é alto o número de centróides, é alto o número de opções de particionamento possíveis. Como é mais complexo avaliar muitas opções de particionamento, o analista poderá descartar neste Passo as opções já declaradas como não viáveis. Um critério sugerido para o descarte de opções pode ser a possibilidade de implementar vários centros de triagem na região de estudo. Nesta conjuntura, o número máximo de (k) grupos será condicionado ao número máximo de centros de triagem que poderão ser implementados, considerando que deverão se implementados um centro por grupo de centróides. Além desse critério, cabe destacar que outros poderão ser adotados pelo analista, seguindo um conjunto de particularidades do caso em estudo.

7.7. Passo 7

O sétimo passo visa a definir os componentes dos grupos GP_{kz} de cada particionamento em (k) número de grupos, os centróides C_{kz} desses grupos e suas quantidades coletadas de resíduos recicláveis Q_{kz} . Neste passo, realiza-se os particionamentos. Cada um deles gera opções de consórcios. Para realizar cada particionamento, podem ser utilizados os

algoritmos de agrupamento particional *k-means* ou *k-medoid*. Nas etapas dos algoritmos em que é necessário calcular as distâncias entre os centróides CSb_i e os centróides C_{kz} ou *medoids* de cada grupo, sugere-se considerar as quantidades coletadas q_i no cálculo dessas distâncias. Cabe destacar ainda a existência de ferramentas capazes de efetuar o agrupamento particional (dez ferramentas são apresentadas a partir da Tabela 5.2). Entre as ferramentas citadas, sete delas possuem interface com planilha eletrônica, o que torna amigável a aplicação e a visualização de resultados.

Após particionar a região de estudo ao definir os centróides CSb_i de cada grupo GP_{kz} , é possível determinar os centróides C_{kz} de cada grupo a partir da Eq. 7.2. Para calcular o centróide dos referidos grupos, utiliza-se as coordenadas geográficas de cada centróide CSb_i definidas no Passo 4. Utiliza-se ainda o dado de quantidades coletadas q_i em cada CSb_i definido no Passo 5. Neste Passo 7, determina-se ainda as quantidades de resíduos recicláveis Q_{kz} a serem coletadas em cada grupo GP_{kz} . Essa quantidade é definida pela soma das quantidades q_i coletadas nos centróides CSb_i pertencentes a cada grupo GP_{kz} .

7.8. Passo 8

O oitavo passo trata da determinação da Medida de Desempenho Financeiro (MDF) de cada particionamento definido. Essa medida está associada ao conceito de eficiência que significa produzir mais (e criar mais valor) com menos (recursos e resíduos). Cabe ainda destacar que uma ou mais medidas MDF podem ser definidas de acordo com o caso em estudo. A Tabela 6.2 sugere três medidas MDF para o caso que envolve o transporte de resíduos recicláveis em um processo de coleta diferenciada porta-a-porta. Neste sentido, salienta-se que este procedimento é flexível e outras medidas de desempenho financeiro podem ser definidas pelo analista para a avaliação de opções de particionamento.

7.9. Passo 9

O nono passo envolve a determinação da Medida de Desempenho Ambiental (MDA) de cada particionamento definido. Essa medida está aliada ao conceito de ecoeficiência estabelecido por WBCSD (2000). Como a medida MDF, mais de uma medida MDA poderá ser definida. A Tabela 6.2 sugere três medidas MDA. No entanto, recomenda-se que a definição dessa medida respeite a realidade da região de estudo. Neste sentido, cabe ao analista conhecer as peculiaridades da região citada, sobre a saúde da população

e o meio ambiente, que poderão ser impactadas pelas influências ambientais causadas pela atividade de transporte de resíduos sólidos recicláveis.

7.10. Passo 10

O décimo passo trata da agregação das medidas MDF e MDA de cada particionamento para a obtenção de uma medida que alie aspectos financeiros e aspectos ambientais. No entanto, caso o analista determine mais de uma medida MDF, é necessário agregar esse conjunto de medidas. O mesmo se aplica a medida MDA. Para a agregação das citadas medidas, há uma série de técnicas de auxílio multicritério, como a Análise Relacional Grey e a Análise por Envoltória de Dados, conforme apresenta Leal Júnior (2011).

Cabe mencionar que é arbitrária a escolha da técnica de agregação pelo analista. Neste sentido, após a agregação das medidas MDF e a agregação das medidas MDA, sugere-se nova agregação por meio de cálculo da média ponderada envolvendo esses dois tipos de medidas. Se apenas uma medida MDF e uma medida MDA forem definidas, deve-se apenas normalizar os dois tipos de medidas, considerando seus valores para diferentes opções de particionamento em (k) grupos, antes do cálculo da média ponderada.

Para a determinação dessa média, é necessário atribuir peso à medida MDF e à medida MDA. Krikke *et al.* (2003) se utilizam de ponderação com o intuito de definir medidas de ecoeficiência para auxiliar a tomada de decisão que envolve aspectos de negócio e do meio ambiente. Essa ponderação pode ser definida por meio de consulta a especialistas. No entanto, como são apenas dois tipos de medidas (MDF e MDA), sugere-se calcular as médias ponderadas dessas medidas considerando uma variação de pesos.

Neste sentido, calcula-se a média ponderada de cada particionamento, considerando-se o peso 0,0 para a medida MDA e 1,0 para a medida MDF. Repete-se o cálculo, agora considerando o peso 0,1 para a medida MDA e 0,9 para MDF, e assim sucessivamente (soma dos pesos igual a 1,0). Após o cálculo das médias ponderadas, traça-se o gráfico. Recomenda-se que o eixo das ordenadas apresente a média ponderada (medida única de desempenho) e o eixo das abscissas o peso da medida MDA (medida de ecoeficiência).

Para cada opção de particionamento, uma reta será traçada. Desta maneira, o analista poderá visualizar a melhor opção de particionamento de acordo com o peso da medida MDA. Ao definir a opção de particionamento mais adequada, define-se os grupos (com dois ou mais integrantes tratam-se de consórcios públicos a serem implementados).

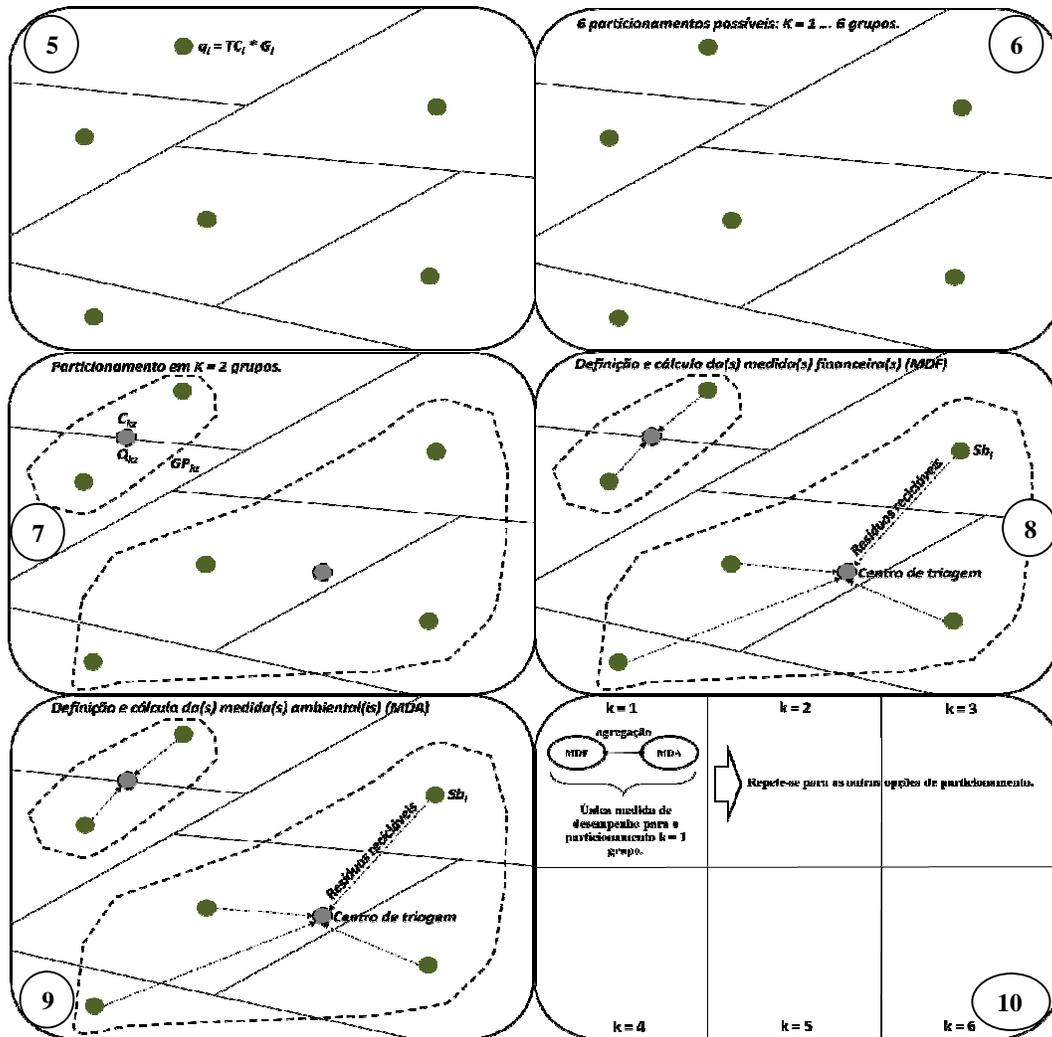
A Figura 7.3 recapitula os Passos 5 a 10 do procedimento proposto dando sequência ao resumo apresentado pela Figura 7.2. O exemplo é hipotético e envolve a definição de 6 sub-regiões de estudo e seus respectivos centróides CSb_i .

7.11. Passo 11

O décimo primeiro passo trata-se da análise dos resultados e da escolha dos consórcios públicos a serem implementados na região de estudo. Deve-se analisar o gráfico traçado no Passo 10 de modo a identificar a fronteira de solução que expressa as mais elevadas médias ponderadas das medidas MDF e MDA. Deve-se observar as maiores médias de acordo com cada peso da medida MDA. É necessário observar ainda de qual opção de particionamento pertence a maior média. Neste sentido, para cada peso da medida MDA define-se a melhor opção de particionamento e os consórcios a serem recomendados.

Além disso, para cada um dos pesos da medida MDA é possível definir uma hierarquia de opções de particionamento. Quando esse peso é nulo, visualiza-se a hierarquia das opções de particionamento considerando apenas a medida MDF e, quando esse peso é 1,0, as opções de particionamento são hierarquizadas somente a partir da medida MDA. Outra análise possível trata-se da verificação da nova fronteira de solução caso alguma ou um conjunto de opções de particionamento sejam descartados do estudo.

A análise de resultados pode ser auxiliada ainda a partir da comparação das hierarquias de opções de particionamento, determinadas para cada peso (P) da medida MDA, com a hierarquia sugerida a partir da aplicação de um ou mais índices de validação (o item 5.4 aborda três desses índices). De qualquer maneira, o analista deverá definir um critério para decidir qual particionamento optar. Sugere-se considerar, por exemplo, a opção de maior desempenho quando se atribui pesos iguais para as medidas MDF e MDA.



- (5) Passo 5: definição das quantidades q_i coletadas em cada sub-região Sb_i : $q_i = TC_i * G_i$;
- (6) Passo 6: definição dos particionamentos a serem avaliados. Como há seis sub-regiões, é possível particionar a região de estudo em no máximo seis grupos (cada grupo com uma sub-região). Assim, os particionamentos possíveis são $k = 1, 2, 3, 4, 5$ e 6 grupos (seis no total que podem ser avaliados);
- (7) Passo 7: todos os particionamentos definidos no Passo anterior são realizados a partir de um algoritmo não hierárquico k -means ou k -medoid. No exemplo, ilustra-se o particionamento $k = 2$ grupos (cada grupo envolto por uma linha tracejada). Define-se ainda o centróide C_{kz} e a quantidade coletada em cada grupo;
- (8) Passo 8: definição da(s) medida(s) de desempenho financeiro (MDF) para cada opção de particionamento ($k = 1 \dots 6$). No exemplo, determina-se a medida MDF do particionamento $k = 2$ grupos, considerando o desempenho da coleta dos resíduos recicláveis e transporte até centros de triagem (C_{kz});
- (9) Passo 9: idem Passo 8 para a(s) medida(s) de desempenho ambiental (MDA);
- (10) Passo 10: Para cada opção de particionamento, agregar as medidas MDF e MDA por meio do cálculo da média ponderada. Essa média retrata uma medida de desempenho única. O particionamento que apresentar maior medida agregada será a opção de particionamento a ser recomendada.

Figura 7.3: Ilustração dos Passos 5 a 10 do procedimento.

7.12. Considerações finais

O procedimento proposto é geral e fácil de aplicar¹⁰ em qualquer região que se almeje estudar. É mais relevante para a aplicação em locais de baixo potencial financeiro, bem como onde a quantidade gerada de resíduos recicláveis é baixa a ponto de não justificar a mobilização de recursos de coleta. Esses locais podem em especial pertencer a países em desenvolvimento, onde políticas de gestão de resíduos estão surgindo, como forma de tratar ou redirecionar adequadamente os resíduos sólidos recicláveis.

No Brasil, em especial, a ecoeficiência é considerada um princípio que deve permear a elaboração de planos de gestão de resíduos. Neste sentido, o presente trabalho considera a ecoeficiência para determinar consórcios públicos voltados a compartilhar recursos da coleta diferenciada porta-a-porta. Assim sendo, a atividade de transporte é avaliada no que se refere aos impactos ambientais que causam e a sua eficiência operacional. Esses dois aspectos avaliados de modo conjunto auxiliam a definição de consórcios.

¹⁰ Fácil de aplicar considerando a premissa de que o analista representa um profissional ou um conjunto de profissionais com conhecimentos políticos, técnicos e administrativos necessários para a aplicação.

8. APLICAÇÃO PILOTO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO

Este Capítulo tem o objetivo de apresentar a aplicação do procedimento proposto para a definição de consórcios públicos em uma região de estudo. Essa região localiza-se no Brasil, onde foi estabelecida em 2010 a Política Nacional de Resíduos Sólidos que traz como requerimento a implementação de práticas de reciclagem, e, conseqüentemente, a implementação da coleta diferenciada porta-a-porta, de modo a redirecionar os resíduos recicláveis de aterros sanitários a unidades de reciclagem.

Neste sentido, este Capítulo apresenta a aplicação do procedimento passo a passo. Uma região localizada no estado do Rio de Janeiro é definida, bem como suas características. As quantidades geradas de resíduos recicláveis são determinadas, bem como os grupos de cada opção de particionamento. São determinadas ainda as medidas MDF e MDA de cada uma dessas opções. Essas medidas são normalizadas, agregadas e apresentadas em gráfico com o intuito de auxiliar a decisão sobre consórcios a serem formados.

8.1. Passo 1 - definição da região de estudo

Segundo IBGE (2011), há 426 municípios envolvidos em consórcios públicos no Brasil na área de saneamento e/ou manejo de resíduos sólidos (8% do número de municípios do país). No estado do Rio de Janeiro, localizado no Sudeste do País, consolidou-se, em 2011, um dos primeiros consórcios¹¹ em uma região composta por seis municípios, com o objetivo de compartilhar o mesmo aterro sanitário para a destinação de resíduos.

Em consulta a Secretaria Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro, sugeriu-se para estudo a referida região, com o intuito de verificar a formação de novos consórcios para a implementação da coleta diferenciada porta-a-porta. Essa região ocupa a área de 2.462 km² (6% da área do estado) e faz fronteira com o estado de Minas Gerais ao Norte e com outros municípios do estado ao Sul, Leste e Oeste, conforme Figura 8.1.

Destaca-se ainda que das seis sub-regiões que compõem a região sugerida para estudo, três delas são menos populosas (com menos de 30 mil habitantes). Para essas três sub-regiões, a quantidade gerada de resíduos sólidos recicláveis é baixa, o que não justifica

¹¹ Consórcio Serrana II.

mobilizar recursos de coleta, partindo da premissa que esses recursos como veículos e mão-de-obra serão mobilizados apenas para realizar a coleta diferenciada porta-a-porta.

8.2. Passo 2 - identificação das sub-regiões de estudo Sb_i

A região de estudo é dividida segundo a divisão política em unidades municipais. Essa região de estudo é composta por seis sub-regiões: Sb_1 - Sapucaia, Sb_2 - Três Rios, Sb_3 - Comendador Levy Gasparian, Sb_4 - Paraíba do Sul, Sb_5 - Petrópolis e Sb_6 - Areal. As características dessas sub-regiões, como área, número de distritos, população urbana e população rural são apresentadas por meio da Tabela 8.1.

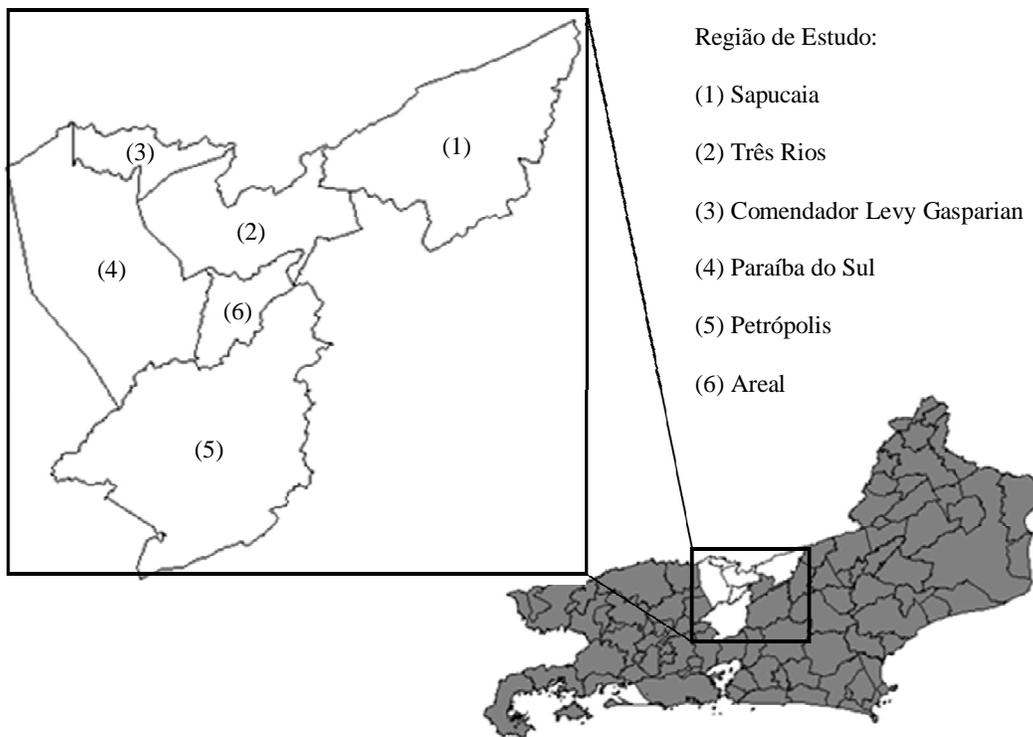


Figura 8.1: Estado do Rio de Janeiro e a região de estudo.

8.3. Passo 3 - definição e escolha das zonas de geração Z_{ij} e das quantidades G_{ij}

As sub-regiões de estudo Sb_i são divididas em distritos e estes são divididos em bairros. Para este estudo, os distritos serão considerados as zonas de geração Z_{ij} das sub-regiões Sb_i , devido à maior facilidade em obtenção de informações de área geográfica e número de habitantes. Como não há nenhuma orientação de um programa de coleta para iniciar a implementação do serviço em parte das zonas citadas, todas estas serão consideradas

no estudo. A Tabela 8.2 apresenta as referidas zonas de geração Z_{ij} e as coordenadas de longitude X_{ij} e de latitude Y_{ij} de seus centróides. Essas coordenadas foram obtidas por meio da ferramenta de georreferenciamento Transcad Transportation GIS versão 5.0.

Após definir e escolher as zonas de geração Z_{ij} , determina-se a quantidade de resíduos recicláveis G_{ij} gerada em cada uma dessas zonas. Essa quantidade é obtida a partir do produto da população urbana em habitantes (PU_{ij}) segundo IBGE (2011), da quantidade total gerada de resíduos¹² por habitante (GR_{ij}) e da taxa de resíduos recicláveis (TR_{ij}), segundo SEA (2011). A Tabela 8.2 apresenta PU_{ij} , GR_{ij} , TR_{ij} e G_{ij} . Cabe salientar que a informação PU_{ij} está disponível para cada zona Z_{ij} , a informação GR_{ij} está disponível para cada sub-região Sb_i e a informação TR_{ij} vale para toda a região de estudo.

8.4. Passo 4 - definição do centróide CSb_i e da quantidade G_i das sub-regiões Sb_i

A partir das coordenadas geográficas dos centróides das zonas de geração Z_{ij} e de suas respectivas quantidades geradas G_{ij} , calcula-se o centróide CSb_i de cada sub-região Sb_i por meio da Eq. 7.2 de centro de gravidade. A Tabela 8.2 apresenta as coordenadas dos centróides CSb_i obtidas por meio da referida equação. A Tabela 8.2 apresenta ainda as quantidades totais mensais de resíduos recicláveis G_i geradas em cada centróide CSb_i . Essa quantidade G_i trata-se da soma das quantidades G_{ij} para cada sub-região Sb_i .

8.5. Passo 5 - definição das quantidades q_i coletadas inicialmente em cada CSb_i

Como não há meta com quantidades a serem coletadas de resíduos recicláveis na região de estudo, é possível estimar a quantidade a ser coletada q_i por meio do produto da taxa de coleta TC_i e da quantidade gerada de resíduos recicláveis G_i em cada sub-região Sb_i . Não está estabelecida nessas sub-regiões uma taxa de coleta TC_i . Como foi estabelecida uma taxa de coleta de resíduos recicláveis - meta de coleta de 5% da quantidade total de resíduos gerados (Rio de Janeiro, 2010) - a ser atingida em 2014 pelo município do Rio de Janeiro, capital do estado, considera-se essa mesma taxa TC_i para o caso em estudo. A Tabela 8.2 apresenta TC_i , G_i e q_i para cada uma das sub-regiões Sb_i . A quantidade a ser coletada total por mês requerida para a região de estudo será de 212,5 toneladas.

¹² Considerando todo o Brasil essa quantidade é de 35 kg por habitante por mês em 2009 (ABRELPE, 2009), conforme apresenta a Tabela 3.1. Cabe salientar ainda que essas quantidades geradas pertencem ao intervalo de geração de resíduos de países de baixa e média renda, conforme apresenta a Tabela 3.4.

Tabela 8.1: Características das sub-regiões de estudo *Sb_i*.

<i>Sb_i</i>	Sub-regiões	Área		Número de distritos (unidades)	População urbana (habitantes)	População rural (habitantes)	População total	
		(km ²)	(%)				(habitantes)	(%)
1	Sapucaia	541	22	5	13.273	4.252	17.525	4
2	Três Rios	326	13	2	75.165	2.267	77.432	17
3	Comendador Levy Gasparian	107	4	2	7.862	318	8.180	2
4	Paraíba do Sul	581	24	4	36.154	4.930	41.084	9
5	Petrópolis	796	32	5	281.286	14.631	295.917	65
6	Areal	111	5	1	9.923	1.500	11.423	3
Total		2.462	100	19	423.663	27.898	451.561	100

Fonte: informações segundo IBGE (2011).

Tabela 8.2: Coordenadas geográficas das zonas de geração Z_{ij} e dos centróides CSb_i e suas quantidades geradas G_{ij} e G_i e coletadas q_i .

(i)	(j)	Sub-regiões (Sb_i)	Zonas de geração (Z_{ij})	Longitude (X_{ij})	Latitude (Y_{ij})	PU_{ij}	GR_{ij}	TR_{ij}	$G_{ij} = PU_{ij} * GR_{ij} * TR_{ij}$	CSb_i	Longitude (X_i)	Latitude (Y_i)	G_i	TC_i	$q_i = TC_i * G_i$
1	1	Sapucaia	1° distrito	42901926	21996923	5.402	16,5	0,41	37						
1	2	Sapucaia	2° distrito	42990835	22050412	3.494	16,5	0,41	24						
1	3	Sapucaia	3° distrito	42774490	22027097	854	16,5	0,41	6	1	42864821	21990375	91	0,05	4,55
1	4	Sapucaia	4° distrito	42704845	21911890	3.523	16,5	0,41	24						
1	5	Sapucaia	5° distrito	42786345	22103901	0	16,5	0,41	0						
2	1	Três Rios	1° distrito	43196806	22101158	73.436	21,0	0,41	632	2	43194352	22101947	647	0,05	32,35
2	2	Três Rios	2° distrito	43090116	22135446	1.729	21,0	0,41	15						
3	1	C. L. Gasparian	1° distrito	43204215	22042183	6.671	15,0	0,41	41	3	43222398	22038443	48	0,05	2,40
3	2	C. L. Gasparian	2° distrito	43324242	22017496	1.191	15,0	0,41	7						
4	1	Paraíba do Sul	1° distrito	43306460	22160133	18.078	19,5	0,41	145						
4	2	Paraíba do Sul	2° distrito	43302015	22168362	14.432	19,5	0,41	115	4	43303843	22169490	289	0,05	14,45
4	3	Paraíba do Sul	3° distrito	43192361	22253396	511	19,5	0,41	4						
4	4	Paraíba do Sul	4° distrito	43315351	22214993	3.133	19,5	0,41	25						
5	1	Petrópolis	1° distrito	43181988	22509868	185.876	27,0	0,41	2058						
5	2	Petrópolis	2° distrito	43147907	22483809	64.936	27,0	0,41	719						
5	3	Petrópolis	3° distrito	43119752	22372717	13.843	27,0	0,41	153	5	43166743	22484574	3114	0,05	155,70
5	4	Petrópolis	4° distrito	43147907	22341172	8.694	27,0	0,41	96						
5	5	Petrópolis	5° distrito	43066407	22250653	7.937	27,0	0,41	88						
6	1	Areal	1° distrito	43107898	22235566	9.923	15,0	0,41	61	6	43107898	22235566	61	0,05	3,05

C. L. Gasparian: Comendador Levy Gasparian; PU_{ij} : população urbana em habitantes (IBGE, 2011); GR_{ij} : geração total mensal de resíduos em kg por habitante (SEA, 2011); TR_{ij} : taxa de resíduos recicláveis (SEA, 2011); G_{ij} e G_i : geração total mensal de resíduos recicláveis em toneladas nas zonas Z_{ij} e nas sub-regiões Sb_i , respectivamente; TC_i : taxa de coleta de resíduos recicláveis (Rio de Janeiro, 2010); q_i : quantidade total mensal coletada de resíduos recicláveis nas sub-regiões Sb_i em toneladas.

8.6. Passo 6 - definição dos particionamentos a serem avaliados

Como é pequeno o número de centróides que compõem a região de estudo (apenas seis centróides), tem-se apenas seis opções possíveis de particionamento ($k = 1 \dots 6$ grupos). Considerando que é possível implementar o máximo de seis centros de triagem (podem ser operados por cooperativas) e considerando que é pequeno o número de alternativas de particionamento, decide-se avaliar neste estudo as seis possibilidades definidas.

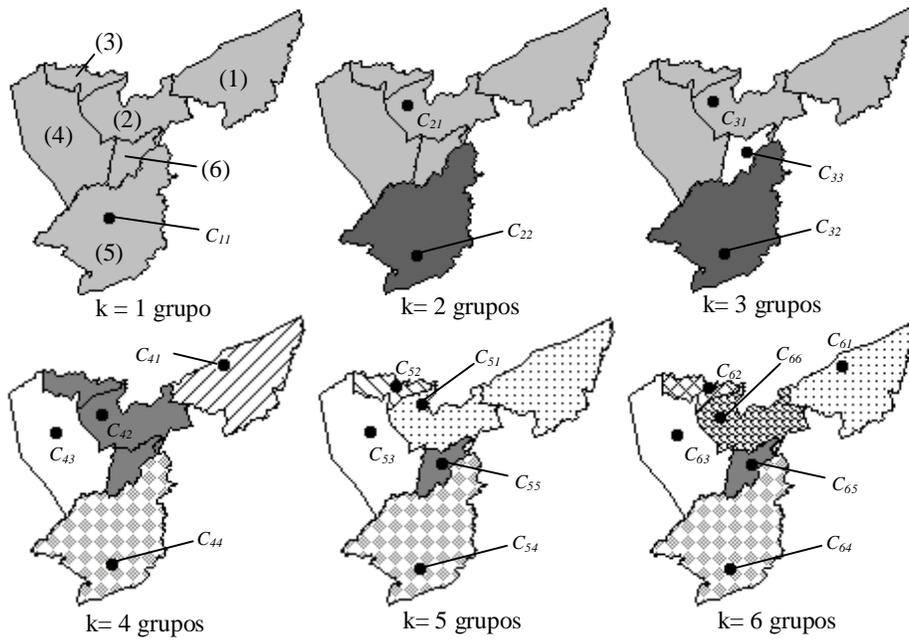
8.7. Passo 7 - definição dos grupos GP_{kz} , centróides C_{kz} e quantidades Q_{kz}

Para efetuar os particionamentos de modo a determinar os grupos GP_{kz} , utiliza-se uma ferramenta de clusterização. Para $k = 1$ (grupo formado por todos os centróides CSb_i) e para $k = 6$ (cada um dos grupos é formado por um dos centróides CSb_i), não é preciso utilizar a referida ferramenta. Para as outras opções de particionamento, essa ferramenta é necessária e esta pode ser escolhida a partir da Tabela 5.3.

Dentre as ferramentas apresentadas a partir da Tabela 5.3, opta-se por utilizar a ferramenta XLSTAT, pois esta possui interface com planilha eletrônica, o que facilita a aplicação, além de ser obtida gratuitamente e apresentar algoritmo de particionamento conhecido. Esse algoritmo trata-se do *k-means* um dos algoritmos mais conhecidos e utilizados que apresenta como principal vantagem a facilidade de implementação e de processamento.

Para efetuar o particionamento por meio da ferramenta, são necessárias as informações de coordenadas geográficas dos centróides CSb_i e das respectivas quantidades coletadas q_i , disponíveis a partir da Tabela 8.2. Os passos para efetuar o particionamento por meio dessa ferramenta são descritos a partir do Anexo VII. Neste contexto, após efetuar os particionamentos propostos, obtêm-se os grupos GP_{kz} conforme Figura 8.2.

Após definir os grupos GP_{kz} , é necessário definir os centróides C_{kz} desses grupos, por meio da Eq. 7.2 de centro de gravidade. Para esse cálculo, utiliza-se as coordenadas dos centróides CSb_i pertencentes ao grupo GP_{kz} e as respectivas quantidades q_i de resíduos recicláveis coletadas em cada um desses centróides CSb_i . As coordenadas calculadas de cada centróide C_{kz} são apresentadas por meio da Figura 8.2.



Sub-regiões: (1) Sb_1 – Sapucaia; (2) Sb_2 – Três Rios; (3) Sb_3 – Comendador Levy Gasparian; (4) Sb_4 – Paraíba do Sul; (5) Sb_5 – Petrópolis e (6) Sb_6 – Areal. Coordenadas dos centróides (Longitude; Latitude): $C_{11}(43173588; 22385705)$; $C_{21}(43192352; 22114684)$; $C_{22} = C_{32} = C_{44} = C_{54} = C_{64}(43166743; 22484574)$; $C_{31}(43197144; 22107825)$; $C_{33} = C_{55} = C_{65}(43107898; 22235566)$; $C_{41} = C_{61}(42864821; 21990375)$; $C_{42}(43189157; 22108696)$; $C_{43} = C_{53} = C_{63}(43303843; 22169490)$; $C_{51}(43153719; 22088189)$; $C_{52} = C_{62}(43222398; 22038443)$ e $C_{66}(43194352; 22101947)$.

Figura 8.2: Grupos GP_{kz} e seus respectivos centróides C_{kz} .

Já as quantidades de resíduos recicláveis Q_{kz} que se deseja coletar em cada grupo GP_{kz} são obtidas a partir da soma das quantidades q_i coletadas nos centróides CSb_i de cada um desses grupos GP_{kz} . A Tabela 8.3 apresenta cada uma das quantidades Q_{kz} .

Tabela 8.3: Quantidade de resíduos recicláveis Q_{kz} coletados em cada grupo GP_{kz} .

k	Q_{k1}	Q_{k2}	Q_{k3}	Q_{k4}	Q_{k5}	Q_{k6}	Total
1	212,50	-	-	-	-	-	212,50
2	56,80	155,70	-	-	-	-	212,50
3	53,75	155,70	3,05	-	-	-	212,50
4	4,55	37,80	14,45	155,70	-	-	212,50
5	36,90	2,40	14,45	155,70	3,05	-	212,50
6	4,55	2,40	14,45	155,70	3,05	32,35	212,50

Quantidade Q_{kz} em toneladas mensais.

8.8. Passo 8 - determinação da(s) medida(s) MDF de cada particionamento

A Tabela 6.2 sugere três medidas MDF que podem ser aplicadas ao transporte referente à coleta diferenciada porta-a-porta. Considerando que essas três medidas são igualmente importantes, opta-se por defini-las com base na realidade da região de estudo.

8.8.1. Medida MDF1

A medida MDF1 é determinada pela relação entre a quantidade mensal transportada de resíduos recicláveis em toneladas e o custo mensal da operação de coleta diferenciada porta-a-porta em R\$. A referida quantidade mensal trata-se da soma das quantidades q_i coletadas de resíduos recicláveis de todos os seis centróides CSb_i . Essa quantidade é de 212,5 toneladas, conforme estimado no Passo 5 desta aplicação.

Para determinar o custo de coleta, faz-se necessário definir os custos fixos e variáveis de transporte. Para isto, adota-se o veículo-tipo caminhão leve que apresenta consumo de 3,9 km/litro de óleo diesel, segundo COPPE/UFRJ (2011). Considera-se além do custo com o veículo, o custo de mão-de-obra do motorista e de quatro ajudantes que seguem com cada veículo. A utilização de quatro ajudantes por veículo é prática da operação na sub-região de estudo Sb_5 . O Anexo V apresenta relatório referente à visita técnica feita a empresa de coleta COMDEP, responsável pela coleta diferenciada nessa sub-região.

A Tabela 8.4 apresenta os custos fixos e custos variáveis do veículo-tipo caminhão leve. Os custos diretamente ligados ao veículo em sua maioria foram estimados pela Revista Transporte Moderno (2012). Além desse custo, há ainda o custo de mão-de-obra que foi estimado a partir da remuneração atualmente vigente do motorista e da remuneração dos ajudantes, referente ao salário mínimo mensal em vigor em março de 2013.

Para a estimativa do custo total em cada grupo GP_{kz} , é necessário estimar a quantidade de veículos a ser utilizada, bem como a distância percorrida em cada um desses grupos. O número necessário de veículos em cada grupo pode ser estimado a partir da Eq. 6.4. As quantidades Q_{kz} podem ser obtidas por meio da Tabela 8.3. A capacidade de coleta por viagem de um veículo é igual a $CP = 900$ kg. Considera-se ainda que um mês seja composto por $DU = 22$ dias úteis e que um veículo realize $VD = 2$ viagens por dia.

Tabela 8.4: Custos fixos e variáveis do veículo-tipo caminhão leve.

Tipo de custo	Item de custo	Custo Mensal
Custo fixo mensal (R\$/veículo)	Depreciação	382,76
	Remuneração de capital	721,62
	Licenciamento	198,89
	Seguros	492,12
	Salário do motorista (com encargos)	2.334,84
	Salário dos 4 ajudantes (com encargos)	5.827,97
	Total	9.958,20
	Manutenção	0,1295
	Pneus	0,0563
	Combustível	0,5846
Custo variável mensal (R\$/km)	Lubrificante motor	0,0127
	Lubrificante câmbio	0,0017
	Lavagem	0,0350
	Total	0,8198

Fonte: adaptado da Revista Transporte Moderno (2012).

Estimativa considerando valor do veículo: R\$98.424,00, segundo Revista Transporte Mundial (2012); Depreciação considerando valor do veículo = R\$ 98.424,00 / vida útil = 180 meses / valor residual = 30% do valor do veículo; Estimativa considerando a Taxa Selic de 0,49% em fevereiro de 2013; Remuneração de capital considerando Taxa Selic = 0,49% / valor do veículo = R\$ 98.424,00 / vida útil = 180 meses / valor residual = 30% do valor do veículo; Seguro = 6% do valor do veículo ao ano, segundo Cachiolo (2012); Salário do motorista composto por salário base (R\$1.200,00), encargos e benefícios. Salário dos ajudantes composto por salário mínimo (R\$678,00), encargos e benefícios. Preço do óleo diesel = R\$2,28 por litro segundo média de preços vigentes no período de 10/03/2013 a 16/03/2013 segundo ANP (2013).

A Tabela 8.5 apresenta o referido número de veículos de coleta, além da distância a ser percorrida em cada grupo GP_{kz} . Essa distância foi estimada em duas etapas: estimativa da distância de coleta e da distância de transferência. A distância de coleta foi estimada com base no número de viagens mensais necessárias para coletar a quantidade Q_{kz} em cada grupo GP_{kz} e na distância média (3 km) que deve ser percorrida por viagem para atingir a lotação do veículo. Cabe mencionar que as informações utilizadas para realizar essa estimativa foram obtidas a partir de visita técnica descrita no Anexo V.

Por sua vez, a distância de transferência é determinada com base no número de viagens mensais necessárias para transportar a quantidade Q_{kz} e na distância a ser percorrida em uma viagem, relativa à distância do centróide CSb_i (obtido no Passo 4) até o centróide

C_{kz} do referido grupo GP_{kz} (obtido no Passo 7), onde serão estabelecidos os centros de triagem que processarão os resíduos sólidos recicláveis. Considerando que a distância de transferência é uma distância euclidiana, esta foi calculada a partir da Eq. 5.1. Essa estimativa da distância total percorrida em cada grupo GP_{kz} pode ser conferida a partir do Anexo VIII, que apresenta o cálculo para cada opção de particionamento.

Tabela 8.5: Número de veículos de coleta e distância percorrida em cada grupo GP_{kz} .

k	GP_{k1}		GP_{k2}		GP_{k3}		GP_{k4}		GP_{k5}		GP_{k6}	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1	6	7.322	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2	1.112	4	519	-	-	-	-	-	-	-	-
3	2	961	4	519	1	10	-	-	-	-	-	-
4	1	15	1	317	1	48	4	519	-	-	-	-
5	1	698	1	8	1	48	4	519	1	10	-	-
6	1	15	1	8	1	48	4	519	1	10	1	108

A: número de veículos necessário para efetuar a coleta diferenciada porta-a-porta em um grupo GP_{kz} ;

B: distância mensal percorrida em km pelos veículos para coletar a meta mensal de resíduos recicláveis;

Premissa: localização de centros de triagem nos centróides de cada grupo GP_{kz} .

Após estimar o número de veículos, as distâncias percorridas em cada grupo GP_{kz} e os custos fixos e variáveis do veículo, é possível definir o custo de coleta em cada grupo e o custo total em cada opção de particionamento, conforme apresenta a Tabela 8.6. Neste sentido, determina-se a medida MDF1 a partir da relação entre a meta de coleta mensal (coletar 212,5 toneladas) e o custo total mensal em cada opção de particionamento.

Tabela 8.6: Medida MDF1 em (kg) de resíduos recicláveis /R\$.

k	GP_{k1} (R\$)	GP_{k2} (R\$)	GP_{k3} (R\$)	GP_{k4} (R\$)	GP_{k5} (R\$)	GP_{k6} (R\$)	Total (R\$)	MDF1
1	65.751,78	-	-	-	-	-	65.751,78	3,23
2	20.828,02	40.258,28	-	-	-	-	61.086,29	3,48
3	20.704,23	40.258,28	9.966,40	-	-	-	70.928,90	3,00
4	9.970,50	10.218,08	9.997,55	40.258,28	-	-	70.444,40	3,02
5	10.530,42	9.964,76	9.997,55	40.258,28	9.966,40	-	80.717,40	2,63
6	9.970,50	9.964,76	9.997,55	40.258,28	9.966,40	10.046,74	90.204,22	2,36

Medida MDF1 obtida a partir da meta mensal de coleta na região de estudo de 212,5 toneladas.

Cabe ressaltar a partir da Tabela 8.6 que a maior medida refere-se à opção de particionar em $k = 2$ grupos. Nessa opção, há a formação de um consórcio público (grupo GP_{21}) e há o isolamento da sub-região Sb_5 (grupo GP_{22}). É necessário ressaltar ainda que a menor medida refere-se à opção de particionar em $k = 6$ grupos. Essa opção trata-se da atuação independente de cada sub-região Sb_i para efetuar a coleta diferenciada.

8.8.2. Medida MDF2

A medida MDF2 trata-se da relação entre a quantidade transportada em toneladas por mês e o número total de veículos em operação em cada opção de particionamento em (k) número de grupos. A Tabela 8.7 apresenta o total necessário de veículos em cada uma dessas opções, bem como apresenta a medida MDF2.

Tabela 8.7: Medida MDF2 em (t) de resíduos recicláveis /número de veículos.

k	$GP_{k1} (*)$	$GP_{k2} (*)$	$GP_{k3} (*)$	$GP_{k4} (*)$	$GP_{k5} (*)$	$GP_{k6} (*)$	Total (*)	MDF2
1	6	-	-	-	-	-	6	35,42
2	2	4	-	-	-	-	6	35,42
3	2	4	1	-	-	-	7	30,36
4	1	1	1	4	-	-	7	30,36
5	1	1	1	4	1	-	8	26,56
6	1	1	1	4	1	1	9	23,61

* número de veículos em operação em unidades; Medida MDF2 obtida a partir da meta mensal de coleta na região de estudo de 212,5 toneladas.

Vale destacar que a maior medida refere-se à opção de particionamento em $k = 1$ e $k = 2$ grupos. Na opção $k = 1$ grupo, todas as sub-regiões Sb_i devem consorciar-se e na opção $k = 2$, todas exceto a sub-região Sb_5 . Já a menor medida refere-se à opção $k = 6$ grupos, em que não há a formação de consórcios públicos na região de estudo.

8.8.3. Medida MDF3

A medida MDF3 trata-se da média das taxas de utilização da frota dos grupos GP_{kz} de cada opção de particionamento. Essa taxa TUF_{kz} pode ser obtida a partir da Eq. 6.5. As quantidades Q_{kz} podem ser obtidas por meio da Tabela 8.3. A capacidade de coleta por viagem de um veículo-tipo é igual a $CP = 900$ kg. Considera-se ainda que um mês seja

composto por $DU = 22$ dias úteis e que um veículo realize $VD = 2$ viagens por dia. Já o tamanho da frota TF_{kz} de cada grupo GP_{kz} pode ser obtido a partir da Tabela 8.7.

Neste sentido, a Tabela 8.8 apresenta a taxa de utilização da frota TUF_{kz} de cada grupo GP_{kz} . Essa Tabela apresenta ainda a medida MDF3 de cada opção de particionamento.

Tabela 8.8: Medida MDF3 em (%) - taxa de utilização da frota.

k	GP_{k1} (%)	GP_{k2} (%)	GP_{k3} (%)	GP_{k4} (%)	GP_{k5} (%)	GP_{k6} (%)	MDF3 - Média (%)
1	89	-	-	-	-	-	89,00
2	72	98	-	-	-	-	85,00
3	68	98	8	-	-	-	58,00
4	11	95	36	98	-	-	60,00
5	93	6	36	98	8	-	48,20
6	11	6	36	98	8	82	40,17

Considerando a referida medida, destaca-se que a opção de particionar em $k = 1$ grupo é a opção de melhor desempenho. Nessa opção, devem consorciar-se todas as sub-regiões de estudo. Destaca-se ainda a opção de pior desempenho relativa ao particionamento em $k = 6$ grupos. Nessa opção, as sub-regiões de estudo Sb_i não devem consorciar-se.

8.9. Passo 9 - determinação da(s) medida(s) MDA de cada particionamento

Além de 3 medidas MDF, a Tabela 6.2 sugere 3 medidas MDA que serão determinadas neste Passo em conformidade com a realidade da região de estudo. Essas medidas MDA referem-se ao consumo de energia e emissões provenientes da atividade de transporte de resíduos recicláveis, componente da coleta diferenciada porta-a-porta.

8.9.1. Medida MDA1

A medida MDA1 envolve a relação entre a quantidade mensal transportada e o consumo mensal de energia relativo à atividade de transporte de resíduos recicláveis em cada uma das opções de particionamento. Por meio da Tabela 8.9, verifica-se a quantidade mensal de energia consumida pela atividade de transporte em cada grupo GP_{kz} , estimada com base no fator de consumo energético (9,460 MJ/km) e com base na distância percorrida mensal em cada grupo, conforme apresenta a Tabela 8.5. A Tabela 8.9 apresenta ainda a

medida MDA1 obtida a partir da meta mensal de coleta (212,5 toneladas) e do consumo total de energia consumida em cada opção de particionamento em (k) grupos.

Tabela 8.9: Medida MDA1 em (kg) de resíduos recicláveis / (MJ).

k	GP_{k1} (MJ)	GP_{k2} (MJ)	GP_{k3} (MJ)	GP_{k4} (MJ)	GP_{k5} (MJ)	GP_{k6} (MJ)	Total (MJ)	MDA1
1	69.266	-	-	-	-	-	69.266	3,07
2	10.520	4.910	-	-	-	-	15.429	13,77
3	9.091	4.910	95	-	-	-	14.095	15,08
4	142	2.999	454	4.910	-	-	8.505	24,99
5	6.603	76	454	4.910	95	-	12.137	17,51
6	142	76	454	4.910	95	1.022	6.698	31,73

Conteúdo energético do óleo diesel: 36,9 MJ/litro e consumo do veículo-tipo caminhão leve: 3,9 km/litro, segundo COPPE/UFRJ (2011); Energia consumida: 9,460MJ/km; Medida MDA1 obtida a partir da meta mensal de coleta na região de estudo de 212.500 kg.

Salienta-se que a medida de melhor desempenho refere-se à opção de particionar em $k = 6$ grupos. Neste sentido, de acordo com a medida MDA1, deve-se optar por não formar consórcios públicos. Ao contrário, formar consórcios públicos com todas as sub-regiões Sb_i é a pior opção, segundo a medida, por representar o maior consumo de energia.

8.9.2. Medida MDA2

A medida MDA2 é obtida a partir da relação entre a quantidade mensal transportada e a quantidade mensal de dióxido de carbono (CO_2) emitida pelos veículos em operação nos grupos GP_{kz} de cada opção de particionamento. Essa quantidade emitida pela atividade de transporte em cada grupo é explicitada por meio da Tabela 8.10. Essa quantidade foi obtida a partir do fator de emissão (0,69 kg/km) e da distância percorrida em cada grupo apresentada pela Tabela 8.5. Por meio da meta mensal de coleta (212,5 toneladas) e da emissão total de dióxido de carbono em cada opção de particionamento em (k) número de grupos, determina-se a medida MDA2, conforme apresenta ainda a Tabela 8.10.

É possível verificar que a medida de maior desempenho refere-se à opção de particionar em $k = 6$ grupos, mesma opção apontada pela medida MDA1. Nessa opção, é emitido 1 kg de dióxido de carbono a cada coleta de 435 kg de resíduos recicláveis. Já a opção de pior desempenho refere-se a $k = 1$ grupo, em que é emitido 1 kg de dióxido de carbono a cada coleta de 42 kg de resíduos recicláveis, considerando toda a região de estudo.

Tabela 8.10: Medida MDA2 em (kg) de resíduos recicláveis / (kg) de CO₂.

k	GP _{k1} (*)	GP _{k2} (*)	GP _{k3} (*)	GP _{k4} (*)	GP _{k5} (*)	GP _{k6} (*)	Total (kg)	MDA2
1	5.052	-	-	-	-	-	5.052	42,06
2	767	358	-	-	-	-	1.125	188,82
3	663	358	7	-	-	-	1.028	206,69
4	10	219	33	358	-	-	620	342,57
5	482	6	33	358	7	-	885	240,04
6	10	6	33	358	7	75	489	434,99

* (kg) de dióxido de carbono (CO₂); Fator de emissão de CO₂: 2,71 kg/litro de óleo diesel e consumo do veículo-tipo caminhão leve: 3,9 km/litro de óleo diesel, segundo COPPE/UFRJ (2011); Fator de emissão: 0,69 kg/km; Medida MDA2 obtida a partir da meta mensal de coleta na região de estudo de 212.500 kg.

8.9.3. Medida MDA3

A medida MDA3 pode ser obtida com a relação entre a quantidade mensal transportada e a quantidade mensal de poluentes locais emitidos pelos veículos em operação em cada grupo GP_{kz}. Os poluentes considerados são os óxidos de nitrogênio (NO_x), o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC) e o material particulado (MP).

Esses poluentes são responsáveis por impactos locais, o que torna a medida MDA3 tão importante quanto as medidas MDA1 e MDA2, em virtude das características da região de estudo. No estado do Rio de Janeiro, o clima tropical impera em regiões de baixada e o clima tropical de altitude em regiões de planalto. As sub-regiões de estudo localizam-se em região de planalto, onde o verão varia entre quente e ameno e o inverno em geral é frio e seco. O índice pluviométrico da região é elevado, se aproximando dos 2.500 mm anuais em alguns pontos (o dobro do índice das regiões de baixada).

Segundo IBGE (2010), o número de óbitos por habitante devido a doenças do aparelho respiratório nas três sub-regiões de estudo mais populosas (Sb₅: Petrópolis – 0,054%; Sb₂: Três Rios – 0,058% e Sb₄: Paraíba do Sul – 0,056%) é superior a média estadual em 2010 (0,042%). Este fato aliado ao clima frio e seco no inverno requer que atenção especial seja dispensada à emissão de poluentes locais. Em verões chuvosos, destaca-se ainda a influência provocada pela emissão de NO_x para a formação de chuva ácida.

Neste sentido, a Tabela 8.11 apresenta a quantidade total de poluentes locais emitidos mensalmente pela atividade de transporte de resíduos recicláveis em cada grupo GP_{kz} . Essa quantidade foi estimada a partir do fator de emissão médio dos poluentes (3,148 g/km) e das distâncias percorridas em cada grupo apresentadas pela Tabela 8.5. Cabe citar que esse fator médio foi estimado com base na média ponderada dos fatores de emissão dos poluentes (NO_x, CO, HC e MP), definidos para o estado do Rio de Janeiro em 2010, segundo Souza *et al.* (2012). Os pesos ou fatores de importância para calcular a média ponderada foram definidos por Schettino (2005).

Tabela 8.11: Medida MDA3 em (kg) de resíduos recicláveis / (g) de poluentes locais.

k	GP_{k1} (g)	GP_{k2} (g)	GP_{k3} (g)	GP_{k4} (g)	GP_{k5} (g)	GP_{k6} (g)	Total (g)	MDA3
1	23.050	-	-	-	-	-	23.050	9,22
2	3.501	1.634	-	-	-	-	5.134	41,39
3	3.025	1.634	31	-	-	-	4.691	45,30
4	47	998	151	1.634	-	-	2.830	75,09
5	2.197	25	151	1.634	31	-	4.039	52,61
6	47	25	151	1.634	31	340	2.229	95,34

Fatores de emissão estimados para o Estado do Rio de Janeiro em 2010 (Souza *et al.*, 2012): NO_x: 5,370 g/km; HC: 0,240 g/km; CO: 0,940 g/km; MP: 1,126 g/km; Fator de emissão médio: 3,148 g/km, calculado por meio de média ponderada. O cálculo dessa média considera pesos ou fatores de importância para a qualidade ambiental (Schettino, 2005): NO_x: 55,1%; HC: 3,9%; CO: 15,7%; MP: 25,3%. Medida MDA3 obtida a partir da meta mensal de coleta na região de estudo de 212.500 kg.

A Tabela 8.11 apresenta ainda a medida MDA3 determinada a partir da meta mensal de coleta (212,5 toneladas) e da quantidade mensal de poluentes locais emitidos em cada opção de particionamento. Constata-se que a medida de melhor desempenho refere-se à opção de particionar em $k = 6$ grupos. Já o pior desempenho cabe à opção $k = 1$ grupo. Neste sentido, as 3 medidas MDA apontam que as sub-regiões não devem consorciar-se.

8.10. Passo 10 - Agregação: medidas MDF e MDA de cada particionamento

Nesta aplicação, foram definidas três medidas MDF e três medidas MDA. Desta forma, primeiramente é necessário agregar as medidas MDF e agregar as medidas MDA. Essas medidas apresentadas por meio da Tabela 8.12 serão agregadas por meio da técnica de Análise Relacional Grey. Essa técnica é simples e de fácil aplicação (Leal Júnior, 2011) voltada a analisar o grau de relacionamento de sequências discretas.

Tabela 8.12: Medidas MDF e MDA de cada opção de particionamento.

k	Medidas de Desempenho Financeiro			Medidas de Desempenho Ambiental		
	MDF1 kg/R\$	MDF2 t/qtd	MDF3 t/t	MDA1 kg/MJ	MDA2 Kg/kgCO ₂	MDA3 kg/g
1	3,23	35,42	89,00	3,07	42,06	9,22
2	3,48	35,42	85,00	13,77	188,82	41,39
3	3,00	30,36	58,00	15,08	206,69	45,30
4	3,02	30,36	60,00	24,99	342,57	75,09
5	2,63	26,56	48,20	17,51	240,04	52,61
6	2,36	23,61	40,17	31,73	434,99	95,34

Neste sentido, seja um conjunto de observações $\{x_0^{(o)}, x_1^{(o)}, \dots, x_m^{(o)}\}$, em que se inclui a referência $x_0^{(o)}$ e as observações originais a serem comparadas $x_1^{(o)}, x_2^{(o)}, \dots, x_m^{(o)}$, como as opções de particionamento. Cada uma das opções terá (n) medidas MDF (ou medidas MDA) que podem ser descritas sob a forma de séries $x_k^{(o)} = \{x_k^{(o)}(t), \dots, x_k^{(o)}(n)\}$.

Assim sendo, cabe mencionar as etapas da Análise Relacional Grey: (1) normalização de componentes da referida série por meio da Eq. 8.1, se quanto maior a medida melhor, ou por meio da Eq. 8.2, se quanto menor a medida melhor; (2) definição da observação referencial $x_0^{(o)}$ tomada como 1 quando a medida de referência é difícil de ser calculada ou não é facilmente encontrada; (3) definição do coeficiente ζ ¹³ que geralmente assume o valor de 0,5; (4) cálculo dos coeficientes relacionais Grey γ por meio da Eq. 8.3 e (5) determinação dos graus (I_k) de relacionamento Grey para cada série, em casos em que as medidas não são ponderadas (Eq. 8.4) e quando há essa ponderação (Eq. 8.5).

$$x'_k(t) = \frac{x_k^{(o)}(t) - \min_{\forall k}(x_k^{(o)}(t))}{\max_{\forall k}(x_k^{(o)}(t)) - \min_{\forall k}(x_k^{(o)}(t))}, \text{ para } k = 1, \dots, m, t = 1, \dots, n. \quad (8.1)$$

¹³ O coeficiente ζ pode ser qualquer valor entre 0 e 1, mas usualmente adota-se o valor 0,5. O valor de ζ não altera o *ranking* dos graus de relacionamento Grey. Se o valor de ζ for próximo de zero, haverá um maior distanciamento das alternativas em termos de desempenho, porém, a ordem de desempenho não mudará. Se o valor de ζ se aproximar de 1, as distâncias entre as alternativas diminuirá, não alterando a ordenação das mesmas quanto ao desempenho (Leal Júnior, 2011).

$$x'_k(t) = \frac{\max_{\forall k}(x_k^{(o)}(t)) - x_k^{(o)}(t)}{\max_{\forall k}(x_k^{(o)}(t)) - \min_{\forall k}(x_k^{(o)}(t))}, \text{ para } k = 1, \dots, m, t = 1, \dots, n. \quad (8.2)$$

$x'_k(t)$ = medida normalizada;

$x_k^{(o)}(t)$ = medida não normalizada;

k = particionamento em (k) número de grupos.

$$\gamma(x'_0(t), x'_k(t)) = \frac{\min_{\forall k} \min_{\forall t} |x_0(t) - x_k(t)| + \zeta \max_{\forall k} \max_{\forall t} |x_0(t) - x_k(t)|}{x_0(t) - x_k(t) + \zeta \max_{\forall k} \max_{\forall t} |x_0(t) - x_k(t)|} \quad (8.3)$$

$\gamma(x'_0(t), x'_k(t))$ = coeficientes relacionais Grey;

$x_k(t)$ = medida normalizada;

$x_0(t)$ = observação referencial;

ζ = coeficiente pertencente ao intervalo [0,1].

$$\Gamma_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \gamma_k(x'_0(t), x'_k(t)) \quad (8.4)$$

Γ_k = graus de relacionamento Grey;

$\gamma_k(x'_0(t), x'_k(t))$ = coeficientes relacionais Grey;

n = número de medidas MDF (ou MDA).

$$\Gamma_k = \sum_{t=1}^n \beta_t \gamma_k(x'_0(t), x'_k(t)) \quad (8.5)$$

Γ_k = graus de relacionamento Grey;

$\gamma_k(x'_0(t), x'_k(t))$ = coeficientes relacionais Grey;

β_t = pesos atribuídos às medidas MDF (ou MDA).

Cabe citar que os graus de relacionamento Grey (Γ_k) de cada opção de particionamento tratam-se das medidas agregadas. Neste sentido, a primeira etapa dessa técnica envolve a normalização das medidas citadas a partir da Eq. 8.1 (quanto maior a medida, melhor é o desempenho). Essas medidas normalizadas são apresentadas a partir da Tabela 8.13.

A segunda etapa da técnica refere-se à definição da observação referencial $x_0^{(o)}$ tomada como $x_0^{(o)} = 1$ nesta aplicação. Para facilitar o cálculo dos coeficientes relacionais Grey, define-se a matriz de diferenças por meio da Tabela 8.14, que representam a diferença entre a observação referencial $x_0^{(o)} = 1$ e a série padrão apresentada pela Tabela 8.13.

Em uma etapa seguinte, faz-se necessário determinar o coeficiente ζ presente na Eq. 8.3 para o cálculo dos coeficientes relacionais Grey γ . Neste sentido, adota-se $\zeta = 0,5$, valor usualmente utilizado em aplicações que envolvem a referida técnica. Após a definição desta etapa, é possível calcular os coeficientes Grey a partir da Eq. 8.3. Os coeficientes Grey das medidas MDF são apresentados por meio da Tabela 8.15 e os coeficientes das medidas MDA são apresentados por meio da Tabela 8.16.

Tabela 8.13: Medidas MDF e MDA normalizadas (série padrão).

k	Medidas de Desempenho Financeiro			Medidas de Desempenho Ambiental		
	MDF1	MDF2	MDF3	MDA1	MDA2	MDA3
1	0,78	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
2	1,00	1,00	0,92	0,37	0,37	0,37
3	0,57	0,57	0,37	0,42	0,42	0,42
4	0,59	0,57	0,41	0,76	0,76	0,76
5	0,24	0,25	0,16	0,50	0,50	0,50
6	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00

Tabela 8.14: Matriz de diferenças (1 - matriz da série padrão).

k	Medidas de Desempenho Financeiro			Medidas de Desempenho Ambiental		
	MDF1	MDF2	MDF3	MDA1	MDA2	MDA3
1	0,22	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00
2	0,00	0,00	0,08	0,63	0,63	0,63
3	0,43	0,43	0,63	0,58	0,58	0,58
4	0,41	0,43	0,59	0,24	0,24	0,24
5	0,76	0,75	0,84	0,50	0,50	0,50
6	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00

Em última etapa, os graus de relacionamento Grey são definidos. Partindo da premissa que as medidas MDF apresentam mesmo fator de importância (pesos), esses graus de relacionamento das medidas MDF serão calculados a partir da Eq. 8.4. O mesmo se aplica às medidas MDA. Os referidos graus tratam-se das medidas agregadas MDF, segundo apresenta a Tabela 8.15, e das medidas agregadas MDA, segundo apresenta a Tabela 8.16. Com a definição dos dois tipos de medidas, estas serão agregadas.

A agregação dessas medidas será realizada por meio do cálculo da média ponderada, de modo a obter uma única medida de desempenho. Neste sentido, para cada opção de particionamento em (k) número de grupos, calcula-se a média ponderada para cada peso atribuído à medida MDF (esse peso assume 0,0;0,1;...;0,9;1,0). Ressalta-se que os pesos atribuídos às medidas MDF e MDA são sempre complementares. Assim sendo, quando o peso da medida MDA é 0,1, o peso da medida MDF é 0,9.

Tabela 8.15: Coeficientes Grey e medida MDF agregada.

k	Medidas de Desempenho Financeiro			MDF
	MDF1	MDF2	MDF3	agregada
1	0,69	1,00	1,00	0,90
2	1,00	1,00	0,86	0,95
3	0,54	0,54	0,44	0,51
4	0,55	0,54	0,46	0,51
5	0,40	0,40	0,37	0,39
6	0,33	0,33	0,33	0,33

Tabela 8.16: Coeficientes Grey e medida MDA agregada.

k	Medidas de Desempenho Ambiental			MDA
	MDA1	MDA2	MDA3	agregada
1	0,33	0,33	0,33	0,33
2	0,44	0,44	0,44	0,44
3	0,46	0,46	0,46	0,46
4	0,68	0,68	0,68	0,68
5	0,50	0,50	0,50	0,50
6	1,00	1,00	1,00	1,00

A Figura 8.3 apresenta a média ponderada das medidas MDF e MDA referente a cada particionamento em (k) número de grupos (eixo das ordenadas), de acordo com o peso da medida MDA ou medida de ecoeficiência (eixo das abscissas). É possível verificar as opções de particionamento que apresentam as maiores médias ponderadas, de acordo com o peso atribuído à medida MDA. A Tabela 8.17 apresenta os intervalos dos pesos da medida MDA, para os quais se deve considerar diferentes particionamentos.

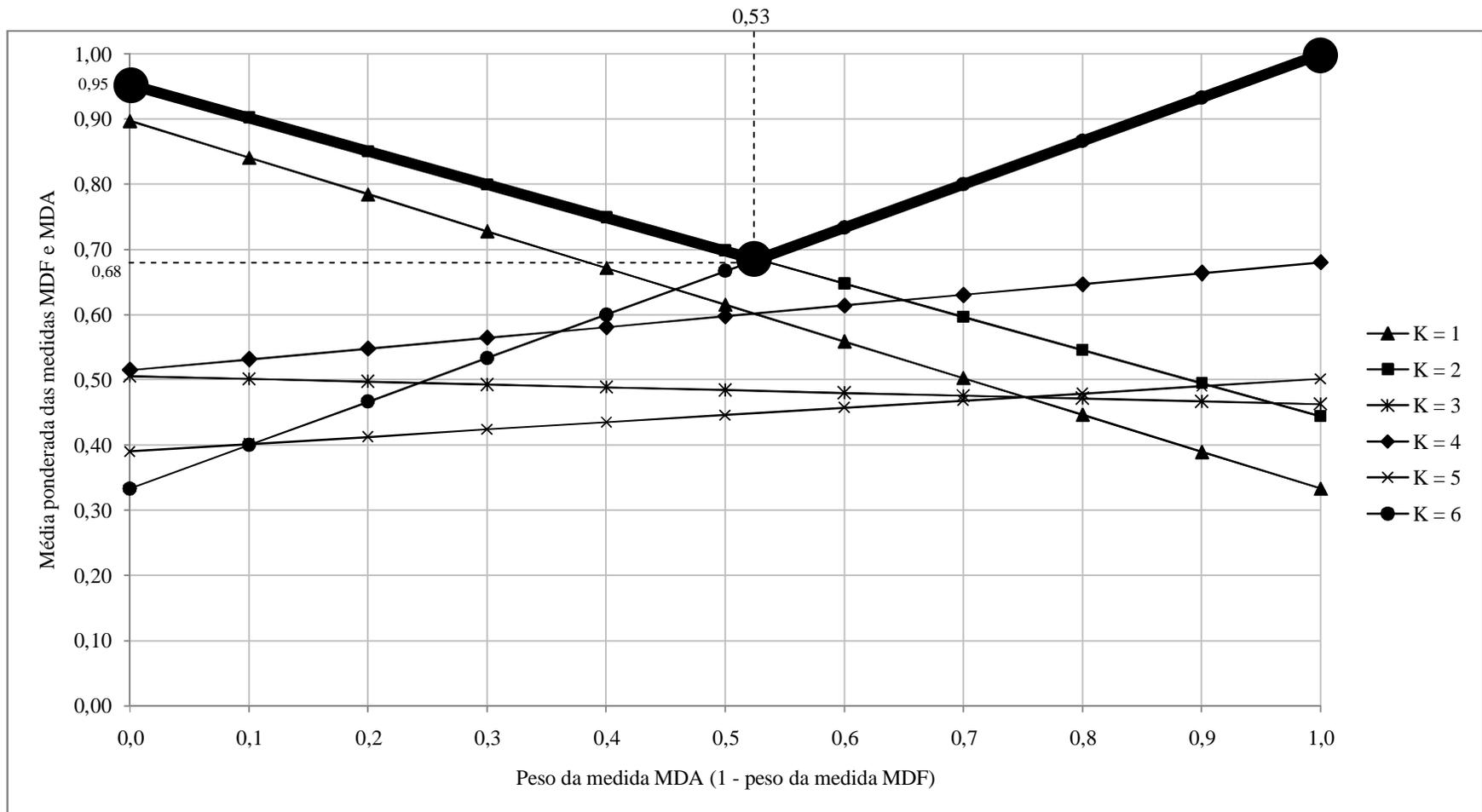


Figura 8.3: Medidas MDF e MDA agregadas para cada opção de particionamento em (k) número de grupos.

8.11. Passo 11- Análise dos resultados e definição do(s) consórcio(s)

A Figura 8.3 permite visualizar a fronteira de solução relativa aos particionamentos recomendados. Essa fronteira está exposta no gráfico (linha de borda mais espessa) e expressa as mais altas médias ponderadas¹⁴ das medidas abordadas MDF e MDA. Neste sentido, por meio da Figura 8.3 e da Tabela 8.17, verifica-se que há duas opções de particionamento para decisão ($k = 2$ ou $k = 6$), dependendo do peso da medida MDA.

Tabela 8.17: Opções de particionamento de acordo com o peso da medida MDA.

Intervalo (v)	Peso (P) da medida MDA (1 – peso da medida MDF)	Tamanho do intervalo (v)	Número de grupos (k)
-	$P = 0,00$	-	2
v1	$0,00 < P < 0,50$	0,50	2
-	$P = 0,50$	-	2
v2	$0,50 < P < 0,53$	0,03	2
-	$P = 0,53$	-	2 e 6
v3	$0,53 < P < 1,00$	0,47	6
-	$P = 1,00$	-	6

Se o peso (P) atribuído à medida MDA for mais baixo ($0,0 < P < 0,5$ - intervalo v1) que o peso atribuído à medida MDF, recomenda-se a opção de particionar em $k = 2$ grupos, em que todas as sub-regiões devem consorciar-se, menos a sub-regiões Sb_5 . Se o peso (P) atribuído à medida MDA for mais alto ($0,5 < P < 1,0$) que o peso atribuído à medida MDF, recomenda-se, além de particionar em $k = 2$ grupos (intervalo v2), particionar em $k = 6$ grupos (intervalo v3). Neste caso, consórcios públicos não são formados, de modo que cada sub-região de estudo Sb_i deve implementar seu próprio processo de coleta.

Em outra análise, caso seja requerido resultados meramente eficientes ($P = 0,0$), a opção sugerida é ainda $k = 2$. Essa opção é mais eficiente que a opção de particionar em $k = 6$ grupos, pois apresenta maior utilização da frota e menor custo de coleta (R\$/tonelada). Em contrapartida, quando se considera o peso máximo para a medida MDA ($P = 1,0$), a melhor opção é o particionamento em $k = 6$ grupos. Neste caso, não existem distâncias de transferência a serem percorridas para a entrega dos resíduos recicláveis em unidades

¹⁴ Essa média ponderada das medidas MDF e MDA representa única medida de desempenho das opções de particionamento em (k) número de grupos.

de triagem geralmente localizadas em outras sub-regiões. Assim sendo, menos energia é consumida e menos poluentes são emitidos, fazendo com que a opção $k = 6$ grupos seja a opção de particionamento capaz de apresentar maior desempenho ambiental.

Cabe apurar ainda a hierarquização das opções de particionamento de acordo com cada peso atribuído à medida MDA, conforme apresenta a Tabela 8.18. Se a opção $k = 2$ for descartada da análise pelo analista, a opção $k = 1$ grupo será recomendada com peso (P) atribuído à medida MDA ($P = 0,0; \dots; 0,4$). Neste sentido, formar consórcio público com todas as sub-regiões Sb_i somente será recomendada se a opção $k = 2$ for descartada e o analista julgar que baixo peso (P) possa ser atribuído à medida MDA.

Tabela 8.18: Hierarquia de opções de particionamento.

Peso da MDA	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Opções em (k) número	2	2	2	2	2	2	6	6	6	6	6
de grupos	1	1	1	1	1	6	2	4	4	4	4
Ordenação do mais	4	4	4	4	6	1	4	2	2	2	5
recomendável para o	3	3	3	6	4	4	1	1	5	5	3
menos recomendável	5	5	6	3	3	3	3	3	3	3	2
	6	6	5	5	5	5	5	5	1	1	1

Se a opção $k = 6$ for descartada da análise pelo analista (não formação de consórcios), a opção $k = 4$ grupos será recomendada com peso (P) atribuído à medida MDA ($P = 0,7; \dots; 1,0$). Para baixo peso (P) da medida MDA ($P = 0,0; \dots; 0,3$), essa opção será válida se forem descartadas duas opções ($k = 1$ e $k = 2$). Vale relembrar que na opção $k = 4$, um consórcio será formado com as sub-regiões Sb_2 , Sb_3 e Sb_6 . As outras sub-regiões Sb_i atuarão de modo independente para efetuar a coleta diferenciada porta-a-porta.

É necessário destacar ainda o baixo desempenho das opções $k = 3$ e $k = 5$. A opção $k = 3$ grupos somente será viável se as opções de particionar em $k = 1$, $k = 2$ e $k = 4$ grupos forem descartadas, considerando baixo peso atribuído à medida MDA ($P = 0,0; \dots; 0,2$). Já a opção $k = 5$ é a pior opção de particionamento considerando peso da medida MDA ($P = 0,2; \dots; 0,7$). Ao verificar outros pesos, constata-se ainda baixo desempenho. Apenas para o peso $P = 1,0$ da medida MDA, a opção alcança a terceira colocação.

A opção $k = 3$ refere-se à formação de um consórcio com as sub-regiões Sb_1, Sb_2, Sb_3 e Sb_4 e a atuação independente das sub-regiões Sb_5 e Sb_6 . O isolamento da sub-região Sb_6 contribuiu em particular para a queda da medida MDF3 (utilização do veículo nessa sub-região de apenas 8%). Em geral, as medidas MDF e MDA dessa opção estão entre as três piores posições comparando com as medidas de outras opções. Quanto à medida MDA, isto significa que esta opção está entre as três que mais poluentes emitem e mais energia consomem para a realização da coleta diferenciada porta-a-porta.

Já a opção $k = 5$ trata-se da formação de um consórcio com as sub-regiões Sb_1 e Sb_2 e a atuação independente das outras sub-regiões de estudo. Nesta opção, além da sub-região Sb_6 , isola-se a sub-região Sb_3 , o que faz com que a medida MDF3 da opção $k = 5$ seja ainda mais baixa que a medida MDF3 da opção $k = 3$ (utilização do veículo em $Sb_6 = 8\%$ e em $Sb_3 = 6\%$). Em um contexto geral, o baixo desempenho atribuído a opção $k = 5$ está associado com o baixo desempenho das três medidas MDF (apresentam segundo pior desempenho), mesmo com terceiro melhor desempenho das medidas MDA.

Em mais um tipo de análise, é possível determinar ainda um ou mais índices usualmente voltados a validar particionamentos, de modo a obter um parâmetro de comparação. De acordo com teste realizado por Milligan e Cooper (1985), o índice Pseudo-F definido a partir da Eq. 5.4 foi o mais bem avaliado entre 30 índices. Neste sentido, determina-se esse índice por meio da Tabela 8.19. O Anexo IX apresenta os cálculos dos fatores T e W . Cabe mencionar ainda que esse índice só se aplica aos particionamentos $k = 2, \dots, 5$.

Tabela 8.19: Medidas Pseudo-F aplicadas às opções de particionamento $k = 2, \dots, 5$.

k	Fator T	Fator W	Fator $B = T - W$	Pseudo-F (k)
1	-	-	-	-
2	555940381343	166790106530	389150274813	9,33
3	555940381343	144914565803	411025815540	4,25
4	555940381343	28811957624	527128423719	12,20
5	555940381343	94870116617	461070264726	1,22
6	-	-	-	-

Medida Pseudo-F obtida por meio da Eq. 5.4; Fator T obtido por meio da Eq. 5.7; Fator W obtido por meio da Eq. 5.5; Fatores T e W calculados a partir das coordenadas geográficas dos centróides CSb_i das sub-regiões Sb_i e dos centróides C_{kz} dos grupos GP_{kz} apresentados a partir da Figura 8.2.

Verifica-se que a opção $k = 4$ obteve o maior índice com Pseudo-F = 12,20, seguida da opção $k = 2$ grupos que obteve índice Pseudo-F = 9,33 (quanto maior o índice melhor é a opção de particionamento). Para comparar os resultados, descarta-se as opções $k = 1$ e $k = 6$ dos resultados propostos pelo procedimento para cada peso (P) da medida MDA. É possível observar que as opções $k = 2$ e $k = 4$ são sempre as duas melhores opções a serem sugeridas pelo procedimento, exceto para $P = 1,0$. Neste contexto, cabe verificar que as análises por meio do índice e por meio do procedimento apresentaram sugestões de decisão similares para este caso, mesmo seguindo técnicas distintas de avaliação.

Finalmente, é tomada a decisão de qual opção de particionamento considerar ($k = 2$ ou $k = 6$ grupos). Para este caso, utiliza-se o critério de adotar pesos iguais para as medidas MDF e MDA ($P = 0,5$). Ao adotar $P = 0,5$, a decisão é particionar a região de estudo em $k = 2$ grupos, conforme apresenta a Figura 8.3. Nessa opção de particionamento, forma-se um consórcio que envolve sub-regiões Sb_i que geram baixa quantidade de resíduos. É necessário destacar ainda o isolamento da sub-região Sb_5 responsável por gerar 73% do total de resíduos recicláveis gerados na região de estudo. A referida sub-região deverá implementar a coleta de modo independente ou recomenda-se efetuar nova verificação se esta deverá consorciar-se com outras sub-regiões não contempladas neste estudo.

Para este caso, é interessante destacar que a opção de particionamento escolhida por um analista que não almeja considerar medidas MDA ($P = 0,0$) não se altera à medida que o analista decide considerar essas medidas, com (P) crescente de $P = 0,0$ até $P = 5,3$ (essa opção é $k = 2$ grupos nesta aplicação segundo Figura 8.3). Isto retrata que mesmo que o analista considere mais peso (P) para a medida MDA que para a medida MDF referente ao intervalo ($0,50 < P < 0,53$), a opção continua sendo $k = 2$ grupos. Ao variar esse peso de $P = 0,0$ para $P = 5,3$, a medida de desempenho (média ponderada das medidas MDF e MDA) cai de 0,95 para 0,68 (queda de 28%). Mesmo com a referida queda, a opção de particionamento mais adequada não se altera, permanecendo $k = 2$ grupos.

É necessário verificar ainda se as opções de particionamento recomendadas se alteram a partir do aumento da taxa de coleta (TC) definida no Passo 5 do procedimento proposto. Para esta análise de sensibilidade, considera-se o aumento da referida taxa de 5% para

10% e aumentos de 10% em 10% até 100%. A Figura 8.4 apresenta os particionamentos de maior desempenho para cada taxa de coleta de acordo com o peso da medida MDA. Se a premissa em considerar pesos iguais para as medidas MDF e MDA for mantida ($P = 0,5$), verifica-se que a opção de particionamento sugerida é $k = 2$ grupos até a taxa $TC = 30\%$. A partir da taxa $TC = 40\%$ a opção recomendada é $k = 6$ grupos, lembrando que essa opção de particionamento significa não formar consórcios públicos.

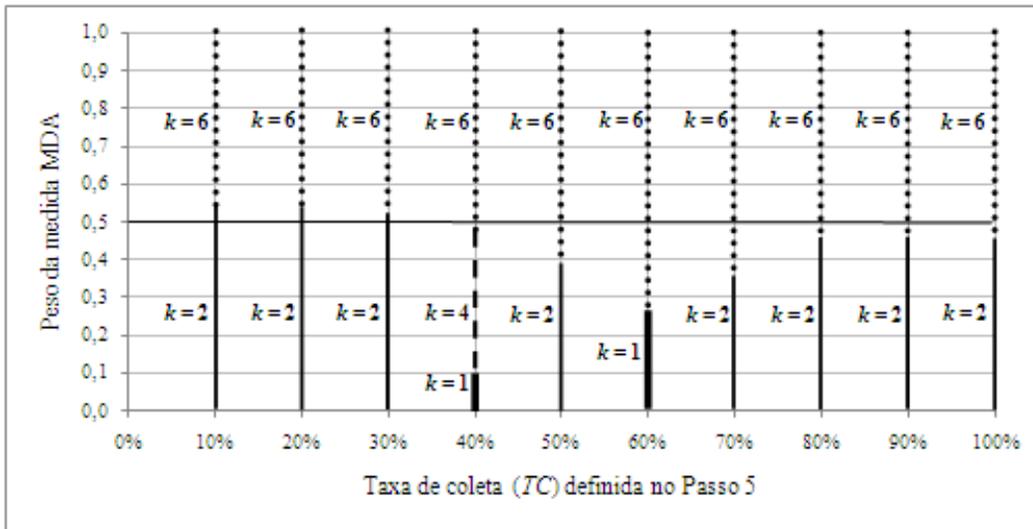


Figura 8.4: Opções de particionamento de acordo com a taxa de coleta (TC).

De maneira geral, as duas opções de particionamento de maior desempenho são $k = 2$ e $k = 6$ grupos (independentemente da taxa de coleta TC), variando apenas as amplitudes do peso da medida MDA para cada uma dessas opções. Neste sentido, verifica-se que a amplitude da opção $k = 6$ aumenta com o aumento da taxa de coleta até $TC = 60\%$. A partir dessa taxa, a referida amplitude decresce com o aumento de TC .

No entanto, deve-se investigar quando $TC = 40\%$, pois duas novas opções ($k = 1$ e $k = 4$) aparecem como opções de maior desempenho, superando a opção $k = 2$ grupos. De um modo geral, ao aumentar a quantidade coletada, aumenta-se as emissões de dióxido de carbono e poluentes locais. Desta forma, aumenta-se o numerador e o denominador das medidas MDA, fazendo com que essas medidas se alterem pouco. Neste contexto, o aparecimento dessas novas opções pode ser explicado a partir das medidas MDF.

Ao observar a opção $k = 4$ grupos, verifica-se que sua medida agregada MDF cresce por volta de 30% quando aumenta-se TC de 30% para 40%. Ao analisar as três medidas MDF que originam a medida agregada, averigua-se que as medidas MDF1 e MDF2 tem um salto de mais 3% e a medida MDF3 aumenta 14% (maior impacto para aumento da medida agregada). Neste sentido, verifica-se a taxa de utilização da frota em cada grupo GP_{4z} , utilizadas para o calculo da medida MDF3, conforme apresenta a Tabela 8.20.

Tabela 8.20: Taxas de utilização da frota para a opção de particionamento $k = 4$.

TC		GP_{41}	GP_{42}	GP_{43}	GP_{44}	MDF3 -
						Média (%)
30%	TF	1	6	3	24	-
	TUF	69%	95%	73%	98%	84%
40%	TF	1	8	3	32	-
	TUF	92%	95%	97%	98%	96%

TC : taxa de coleta; TF : tamanho da frota (número de veículos); TUF : taxa de utilização da frota.

Ao aumentar TC de 30% para 40%, as taxas de utilização dos grupos GP_{42} e GP_{44} não se alteram (95% e 98% respectivamente). Já para o grupo GP_{41} a quantidade de veículos se mantém e a taxa de utilização do veículo aumenta de 69% para 92%. O mesmo pode ser observado para o grupo GP_{43} com taxa de utilização aumentando de 69% para 92%. Devido a estes aumentos da taxa de utilização, a opção $k = 4$ se sobressai em $TC = 40\%$.

Já a opção $k = 1$ é a opção de maior desempenho quando $TC = 40\%$ e o peso da medida MDA é $P = 0,0$ e $0,1$. De $TC = 30\%$ para 40% , a medida agregada MDF da opção $k = 1$ não se altera. Esta se sobressai devido à queda da medida agregada MDF da opção $k = 2$ grupos. Para $TC = 60\%$, a opção $k = 1$ também se sobressai devido à queda da medida agregada MDF da opção $k = 2$ grupos (principal concorrente da opção $k = 1$ grupo).

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A definição de consórcios públicos pode ser necessária para viabilizar a implementação conjunta da coleta diferenciada porta-a-porta, principalmente em regiões pertencentes a países em desenvolvimento. Essa implementação é necessária para o desenvolvimento de práticas de reciclagem e o consequente aprimoramento da gestão de resíduos.

Neste contexto, o objetivo desta Tese tratou da elaboração de um procedimento voltado a identificar componentes de consórcios públicos, com intento de ratear custos de coleta de resíduos recicláveis. O objetivo foi atingido a partir da estruturação do procedimento, facilmente aplicável a regiões de estudo, independentemente da área de abrangência.

Cabe frisar que o procedimento é facilmente aplicável por um analista representado por um profissional ou um conjunto de profissionais que detenham conhecimentos políticos, técnicos e administrativos relacionados ao procedimento proposto. Esse analista deve ainda pertencer ao poder público federal, estadual ou municipal (dependendo da região de estudo) ou deve ser contratado por este, de modo a se articular com as sub-regiões de estudo Sb_i envolvidas na análise de formação de consórcios públicos.

Além do objetivo principal, esta Tese perseguiu dois objetivos específicos, que puderam ser alcançados após a aplicação do procedimento em uma região localizada no estado do Rio de Janeiro. Um dos objetivos tratou-se da constatação se é recomendável formar um ou mais consórcios públicos na região de estudo. O outro objetivo tratou-se da definição da hierarquia de opções de particionamento em k número de grupos, segundo cada peso atribuído à medida de desempenho financeiro e à medida de desempenho ambiental.

Neste sentido, constatou-se que é recomendável a opção de particionar em $k = 2$ grupos. Nesta opção, há a formação de um consórcio público composto por todas as sub-regiões de estudo, exceto a sub-região Sb_5 . Foi possível ainda definir a hierarquia de opções de particionamento de acordo com pesos atribuídos às medidas, segundo assinala a Tabela 8.18. Quando se atribui mesmo peso à medida financeira e ambiental ($P = 0,5$), como maneira de buscar a ecoeficiência, é possível elencar as opções de particionamento da opção mais recomendável para a opção menos recomendável: $k = 2;6;1;4;3;5$ grupos.

Além dos objetivos tratados, há ainda hipóteses a serem examinadas. A hipótese central supõe que o procedimento proposto auxilia o analista no processo de decisão a respeito da formação de consórcios públicos. Essa hipótese é verdadeira e foi demonstrada por meio do alcance dos dois objetivos específicos tratados e descritos neste estudo.

Há ainda três hipóteses secundárias a serem verificadas. A primeira hipótese supõe que mais de uma opção de formação de consórcio pode ser recomendável de acordo com os pesos atribuídos às medidas de desempenho financeiro e ambiental. A referida hipótese é verdadeira e demonstrada pela aplicação do procedimento. Para o caso em estudo, 2 opções foram recomendadas ($k = 2$ e 6) de acordo com o peso atribuído pelo analista.

A segunda hipótese supõe que é possível hierarquizar as opções da região de estudo de acordo com os pesos das medidas de desempenho financeiro e ambiental. Essa hipótese é verdadeira e demonstrada por meio do alcance de um dos objetivos apresentados. Já a terceira hipótese supõe que a opção de particionamento $k = 2$ grupos está de acordo com as melhores opções assinaladas por uma técnica de validação de particionamento. Essa técnica trata-se da medida Pseudo-F proposta por Calinski e Harabasz (1974). Verifica-se que a opção $k = 2$ grupos é a segunda melhor opção apontada pela técnica, conforme apresenta a Tabela 8.19. Neste sentido, para o caso em estudo, a hipótese é verdadeira.

Quanto à problemática do trabalho, mencionou-se ser possível encontrar sub-regiões (ou municípios) com baixo potencial financeiro para implementar e sustentar a operação de coleta diferenciada porta-a-porta. Além disso, essas sub-regiões poderiam gerar baixa quantidade de resíduos recicláveis, o que não justificaria a mobilização de estrutura para a implementação da prática de coleta. Nestes cenários, as sub-regiões não estariam aptas a desenvolver sua gestão de resíduos e, possivelmente, a atender a uma política pública.

Com a opção de particionamento sugerida ($k = 2$ grupos), as sub-regiões de mais baixa geração formariam um consórcio, o que seria a solução para o problema apresentado. A geração nesse consórcio representaria apenas 27% da geração total na região de estudo. A sub-região Sb_5 não pertenceria ao consórcio. Esta gera 73% dos resíduos gerados na região de estudo. Para a realidade do Brasil, onde há uma política pública que estabelece requisitos obrigatórios quanto à reciclagem, a necessidade de ultrapassar os problemas

apresentados é maior. Cabe citar ainda que os municípios de pequeno porte são mais de 4 mil (de um total de 5.570) com menos de 20 mil habitantes no Brasil (IBGE, 2011).

Salientam-se ainda as limitações do estudo, dentre elas, a limitação principal relativa ao procedimento proposto. É necessário destacar que esse procedimento tem o propósito de auxiliar o processo de tomada de decisão a respeito da formação de consórcios públicos por parte do analista. Como em vários passos do procedimento há a intervenção direta do analista, com seu julgamento e visão pessoal, erros podem ser cometidos, o que pode ser prejudicial para o alcance de resultados adequados para um caso em estudo.

Especialmente cabe citar as limitações dos Passos 6, 8 e 9 do procedimento. No Passo 6, o número e as opções de particionamento são definidos pelo analista. Quando o número de sub-regiões de estudo é alto, o número de opções de particionamento também é alto. No processo de definição desse número e das opções, o analista pode desprezar opções relevantes que poderiam ser adotadas. No entanto, é possível considerar todas as opções existentes. A sugestão de escolha é dada para apenas reduzir a complexidade de análise.

Nos passos 8 e 9, a preocupação é a escolha de medidas de desempenho financeiro e de medidas de desempenho ambiental. A Tabela 6.2 apresentou um conjunto de 6 medidas, mas outras medidas podem ser definidas pelo analista. Esta flexibilidade é necessária, pois as peculiaridades de cada região de estudo devem ser respeitadas. Isto contempla aspectos do transporte de resíduos, condições ambientais e saúde da população. Assim sendo, se essas medidas não são bem definidas, compromete-se o resultado final.

Outra limitação relevante deste estudo trata-se da disponibilidade de dados para efetuar o trabalho. Dentre esses dados, é possível citar: quantidade gerada de resíduos sólidos, composição dos resíduos sólidos gerados e número de habitantes urbanos e rurais. Esses dados nem sempre existem, principalmente em regiões onde a gestão de resíduos está em fase de implementação ou em fase inicial. No caso da composição dos resíduos, um processo de análise de amostras deve ser realizado para estimar o volume de recicláveis.

Quanto à sugestão para novos estudos, recomenda-se ampliar o escopo do procedimento ao considerar no objeto de estudo os fluxos até unidades de reciclagem. Com isto, mais

um passo seria incluído. No procedimento proposto, as unidades de triagem devem estar localizadas nos centróides dos grupos GP_{kz} . No novo procedimento, a localização das unidades de triagem seria definida considerando ainda sua proximidade com unidades de reciclagem localizadas na região de estudo ou em regiões próximas.

Sugere-se ainda a adoção de restrições aliadas ao procedimento proposto que podem ser levadas em consideração para a inviabilização de uma opção de particionamento de uma região de estudo. Dentre essas restrições, é possível citar a inexistência ou precariedade de vias de acesso, sub-regiões em diferentes relevos e falta de afinidades administrativas e políticas entre sub-regiões. Cabe mencionar que nenhuma dessas restrições se aplicou a região tratada neste estudo, localizada no estado do Rio de Janeiro.

É necessário destacar também a relevância do procedimento proposto que considerou preceitos de ecoeficiência ao conciliar aspectos financeiros e aspectos ambientais. Ao considerar aspectos financeiros, almeja-se reduzir o custo da coleta diferenciada porta-a-porta que é geralmente superior ao custo da coleta indiferenciada (CEMPRE, 2012). Ao inserir na análise aspectos ambientais, almeja-se a redução dos impactos ambientais causados pelo transporte, em acordo com os preceitos adotados de gestão de resíduos.

Neste contexto, a partir da utilização do procedimento, definiu-se o fluxo de geradores até unidades de triagem, conforme apresenta a Figura 2.1. Já o fluxo dessas unidades até unidades de reciclagem podem ser sugeridos a partir dos agentes visitados, conforme a Tabela 1.1 apresenta. Na sub-região Sb_4 , há a atuação de um aparista (Anexo VI) que poderia receber alguns resíduos recicláveis (papel e plástico) provenientes das unidades de triagem da sub-região Sb_5 e da unidade do consórcio localizada na sub-região Sb_2 .

Com escala de fornecimento, esse aparista teria a opção de vender os referidos resíduos à indústria, como a empresa de reciclagem de papel de Guapimirim (Anexo IV) e uma empresa de reciclagem de plástico localizada na sub-região Sb_2 . Com relação ao destino de resíduos de vidro, estes poderiam ser direcionados a empresa de reciclagem (Anexo I) localizada no município do Rio de Janeiro. Já as sucatas de metal podem ser vendidas a empresa de beneficiamento (Anexo II) localizada no município de Mesquita.

Assim sendo, é possível citar que o procedimento elaborado auxilia ainda a estruturar a cadeia de suprimento de unidades de reciclagem. Essa abordagem é bastante atual em países que estão em busca de aprimorar sua gestão de resíduos, como o Brasil. Contudo, é sempre importante destacar a complexidade que envolve essa estruturação. São muitos agentes envolvidos que devem contribuir para o sucesso do processo de gestão, como os próprios residentes, poder público, recicladores, cooperativas, aparistas e sucateiros.

Com relação à atuação de cooperativas em operações associadas à cadeia de suprimento de unidades de reciclagem, é preciso reforçar a importância do acompanhamento dessas cooperativas pelo poder público (seja federal, estadual ou municipal) com o objetivo de fornecer todo suporte para que estas mantenham sua produtividade. Não adianta formar cooperativas se estas forem o gargalo da cadeia. Acompanhar essas cooperativas deve ser tão importante para políticas de gestão quanto inserir os catadores em cooperativas.

Além da proposição do acompanhamento de cooperativas pelo poder público (que nem sempre é realizado), propõe-se ainda que políticas de gestão de resíduos sólidos tentem encontrar meios de equilibrar a relação mercadológica entre cooperativas e sucateiros e aparistas. Esses últimos fornecem resíduos sólidos recicláveis em escala para unidades de reciclagem e podem (nem todos) onerar esse fornecimento e remunerar abaixo do valor justo diversas cooperativas em que a receita é dividida com inúmeros cooperados.

Chama-se ainda a atenção para um aspecto logístico referente à embalagem a ser usada para acondicionar os resíduos recicláveis a serem transportados para centros de triagem. Recomenda-se que essa embalagem (saco plástico) seja transparente. Apesar de ser mais cara, esta é sugerida para facilitar o processo de inspeção no momento que os resíduos recicláveis são coletados. Isto evitaria a coleta de resíduos não recicláveis e reduziria o retrabalho de cooperativas em separar e direcionar os rejeitos para aterros sanitários.

Por fim, volta-se a mencionar a importância do procedimento proposto neste trabalho para a tomada de decisão estratégica relacionada à formação de consórcios públicos. Este é um primeiro passo para que passos seguintes táticos e operacionais sejam dados com o intento de elevar a gestão de resíduo de regiões de estudo a níveis de excelência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAL, 2011, *Reciclagem do Alumínio*. Associação Brasileira do Alumínio. Disponível em: <<http://www.abal.org.br>>. Acesso em: 09 out 2011.
- ABEAÇO, 2011, *Reciclagem de Latas de Aço*. Associação Brasileira da Embalagem de Aço. Disponível em: <<http://www.abeaco.org.br>>. Acesso em: 09 out 2011.
- ABIPET, 2011, *Sétimo Censo da Reciclagem de PET no Brasil 2010*. Associação Brasileira da Indústria do PET. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br>>. Acesso em: 11 out 2011.
- ABIVIDRO, 2011, *Reciclagem de Vidros*. Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br>>. Acesso em: 09 out 2011.
- ABNT, 2004, “Resíduos Sólidos – Classificação”, *Associação Brasileira de Normas Técnicas*.
- ABRELPE, 2009 e 2010, *Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil*, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, São Paulo – Brasil.
- Abreu, M. L., 2005, *Ocorrência de Chuva Ácida em Unidades de Conservação da Natureza Urbana – Estudo de Caso no Parque Estadual da Pedra Branca – Rio de Janeiro - RJ*, M.Sc. Dissertação, UERJ, Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil.
- Abu Qdais, H. A., 2007, “Techno-economic Assessment of Municipal Solid Waste Management in Jordan”, *Waste Management*, v. 27, pp. 1666-1672.
- Alam, R., Chowdhury, M. A. I., Hasan, G. M. J., Karanjit, B., Shrestha, L. R., 2008, “Generation, Storage, Collection and Transportation of Municipal Solid Waste – A Case Study in the City of Kathmandu, Capital of Nepal”, *Waste Management*, v. 28, pp. 1088-1097.
- Al-Khatib, I. A., Arafat, H. A., Basheer, T., Shawahneh, H., Salahat, A., Eid, J., Ali, W., 2007, “Trends and Problems of Solid Waste Management in Developing Countries: A Case Study in Seven Palestinian Districts”, *Waste Management*, v. 27, pp. 1910-1919.
- ANP, 2013, *Sistema de Levantamento de Preços*. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: http://www.anp.gov.br/preco/prc/Resumo_Semanal_Posto.asp.
- Arthur, D., Vassilvitskii, S., 2007, “*k*-means++: The Advantages of Careful Seeding”. *Proceedings of the Eighteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, pp. 1027 - 1035.
- Asase, M., Yanful, E. K., Mensah, M., Stanford, J., Amponsah, S., 2009, “Comparison of Municipal Solid Waste Management Systems in Canada and Ghana: A Case Study of the Cities of London, Ontario, and Kumasi, Ghana”, *Waste Management*, v. 29, pp. 2779-2786.
- Ayininuola, G. M., Muibi, M. A., 2008, “An Engineering Approach to Solid Waste Collection System: Ibadan North as Case Study”, *Waste Management*, v. 28, pp. 1681-1687.
- Badran, M. F., El-Hagggar, S. M., 2006, “Optimization of Municipal Solid Waste Management in Port Said – Egypt”, *Waste Management*, v. 26, pp. 534-545.
- Banar, M., Cokaygil, Z., Ozkan, A., 2009, “Life Cycle Assessment of Solid Waste Management Options for Eskisehir, Turkey”, *Waste Management*, v. 29, pp. 54-62.
- Bassani, P. D., 2011, *Caracterização de Resíduos Sólidos de Coleta Seletiva em Condomínios Residenciais – Estudo de Caso em Vitória-ES*. M.Sc. Dissertação, Universidade Federal do Espírito Santo, Engenharia Ambiental, Espírito Santo, Brasil.

- Batool, S. A., NAWAZ, M., 2009, “Municipal Solid Waste Management in Lahore City District, Pakistan”, *Waste Management*, v. 29, pp. 1971-1981.
- Bezdek, J., 1981, “Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms”. *Kluwer Academic Publishers*, 1 ed.
- Blengini, G. A., Busto, M., Fantoni, M., Fino, D., 2012, “Eco-efficient Waste Glass Recycling: Integrated Waste Management and Green Product Development Through LCA”. *Waste Management*, v.32, pp. 1000-1008.
- Bogorny, V., 2003, *Algoritmos e Ferramentas de Descoberta de Conhecimento em Bancos de Dados Geográficos*. Programa de Pós-Graduação em Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.
- BRACELPA, 2011, *Processo Industrial de Reciclagem*. Associação Brasileira de Celulose e Papel. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br>>. Acesso em: 09 out 2011.
- Bradley, P. S., Fayyad, U., Reina, C., 1998, “Scaling Clustering Algorithms to Large Database”. In: *Proceedings of the 4th International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 9-15.
- Brasil, 2005, *Lei 11107 - Implementação de Consórcios Públicos*, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Casa Civil, Presidência da República do Brasil.
- Brasil, 2007, *Lei 11445 - Política Federal de Saneamento Básico*, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Casa Civil, Presidência da República do Brasil.
- Brasil, 2009, *Lei 12187 - Política Nacional sobre Mudança do Clima*, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Casa Civil, Presidência da República do Brasil.
- Brasil, 2010, *Lei 12305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos*, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Casa Civil, Presidência da República do Brasil.
- Brollo, M. J., Silva, M. M., 2001, “Política e Gestão Ambiental em Resíduos Sólidos. Revisão e Análise sobre a Atual Situação no Brasil”. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa – PB.
- Cachiolo, A., 2012, *Dados sobre Itens de Custo de Caminhões Leves*. Comunicação pessoal.
- Calinski, T., Harabasz, J., 1974. “A Dendrite Method for Cluster Analysis”. *Communications in Statistics*, v.3, pp. 1-27.
- CEMPRE, 2008, *A Evolução da Coleta Seletiva e Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*. Compromisso Empresarial para Reciclagem. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/imprensa.php?codeps=fHx8fHx8fHx8fHx8fDE1>>. Acesso em: 29 jan 2011.
- CEMPRE, 2012, *Pesquisa Ciclossoft 2012*. Compromisso Empresarial para a Reciclagem. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: 20 jan 2013.
- CETESB, 2011, *Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado de São Paulo*, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, Secretaria do Meio Ambiente, Governo de São Paulo.
- Chen, X., Geng, Y., Fujita, T., 2010, “An Overview of Municipal Solid Waste Management in China”, *Waste Management*, v. 30, pp. 716-724.
- Chiavenato, I., 1994, *Recursos Humanos na Empresa: Pessoas, Organizações e Sistemas*. 3.ed. São Paulo, Editora Atlas.

- Chile, 2011, *Informe del Estado del Medio Ambiente*, Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno del Chile.
- China, 2012, *Law of the People's Republic of China on the Prevention and Control of Environmental Pollution by Solid Waste*, República da China.
- COPPE/UFRJ, 2011, *Inventário de emissões atmosféricas por veículos automotores do Estado do Rio de Janeiro*. Disponível em: http://download.rj.gov.br/documentos/10112/975111/DLFE-51272.pdf/Inventario_2011.pdf.
- Creddo, E., 2010, *Gerenciamento dos Resíduos Sólidos no Brasil – O que muda com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos?*, Solvi Participações S.A. Disponível em: http://www.participare.org.br/01_links/Gerenc%20residuos%20rev%203.pdf. Acesso em: 25 abr 2011.
- Damghani, A. M., Savarypour, G., Zand, E., Deihimfard, R., 2008, “Municipal Solid Waste Management in Tehran: Current Practices, Opportunities and Challenges”, *Waste Management*, v. 28, pp. 929-934.
- Doni, M. V., 2004, *Análise de Cluster: Métodos Hierárquicos e de Particionamento*. Monografia, Sistemas de Informação, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil.
- Dunn, J.C., 1973, “A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters”. *Journal Cybernet*, v.3, pp. 32 - 57.
- Dunn, J.C., 1974, “Well Separated Clusters and Optimal Fuzzy Partitions”. *Journal Cybernet*, v.4, pp. 95 - 104.
- EEA, 2008, *Melhorar a Gestão dos Resíduos Urbanos para Reduzir as Emissões de Gases com Efeito de Estufa*, European Environmental Agency.
- EEA, 2010, *Eionet Definition Waste Management*. European Environmental Agency. Disponível em: <http://scp.eionet.europa.eu/definitions/management>. Acesso em: 07 out 2010.
- EPA, 2002, *Solid Waste Management: A Local Challenge with Global Impacts*. Environmental Protection Agency of United States. Disponível em: www.epa.gov. Acesso em: 07 out 2010.
- EPA, 2009, *Municipal Solid Waste Generation, Recycling and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2008*. United States Environmental Protection Agency. Disponível em: www.epa.gov. Acesso em: 13 set 2010.
- EPA, 2012, *History of RCRA*. United States Environmental Protection Agency. Disponível em: www.epa.gov. Acesso em: 07 jan 2013.
- ETC/SCP, 2010, *Europe as a Recycling Society - The European Recycling Map*. Disponível em: http://eea.eionet.europa.eu/Public/irc/eionet-circle/etc_waste/library?l=european_recycling/200810_etcscp/_EN_1.0_&a=d. Acesso em: 20 jan 2011.
- EUROSTAT, 2010, *Environment in the EU27*. Disponível em: <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=STAT/10/43&type=HTML>. Acesso em 10 fev 2011.
- EUROSTAT, 2010, *Environmental Statistics and Accounts in Europe*, European Union. Disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>. Acesso em: 20 jan 2011.
- Fehr, M., Castro, M. S. M. V., Calçado, M. R., 2000, “A Practical Solution to the Problem of Household Waste Management in Brazil”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 30, pp. 245-257.

- Foelkel, C., 2008, “Ecoeficiência e Produção Mais Limpa para a Indústria de Celulose e Papel de Eucalipto”. *Eucalyptus Online Book & Newsletter*.
- Fonseca, F. C. S., Beltrame, W. A. R., 2009, *Aplicações Práticas dos Algoritmos de Clusterização K-means Bisecting K-means*. Disponível em: <<http://www.inf.ufes.br/~claudine/courses/paa10/seminarios/seminario4.pdf>>.
- Gioda, A., Gioda, F. R., 2006, “A Influência da Qualidade do Ar nas Doenças Respiratórias”, *Health and Environment Journal*, v.7 (1).
- Giusti, L., 2009, “A Review of Waste Management Practices and their Impact on Human Health”, *Waste Management*, v. 29, pp. 2227-2239.
- González-torre, P. L., Adenso-Díaz, B., Ruiz-Torres, A., 2003, “Some Comparative Factors Regarding Recycling Collection Systems in Regions of the USA and Europe”, *Journal of Environmental Management*, v. 69, pp. 129-138.
- Guermoud, N., Ouadjnia, F., Abdelmalek, F., Taleb, F., 2009, “Municipal Solid Waste in Mostaganem City (Western Algeria)”, *Waste Management*, v. 29, pp. 896-902.
- Gungor, Z., Unler, A., 2007, “K -harmonic means data clustering with simulated annealing heuristic”. *Applied Mathematics and Computation*, v. 184, pp. 199 - 209.
- Henry, R. K., Yongsheng, Z., Jun, D., 2006, “Municipal Solid Waste Management Challenges in Developing Countries – Kenyan Case Study”, *Waste Management*, v. 26, pp. 92-100.
- Hristovski, K., Olson, L., Hild, N., Peterson, D., Burge, S., 2007, “The Municipal Solid Waste System and Solid Waste Characterization at the Municipality of Veles, Macedonia”, *Waste Management*, v. 27, pp. 1680-1689.
- Huang, Q., Wang, Q., Dong, L., Xi, B., 2005, “The Current Situation of Solid Waste Management in China”, *Journal Material Cycles and Waste Management*, pp. 63-69.
- Hui, Y., Liao, W., Fenwei, S., Gang, H., 2006, “Urban Solid Waste Management in Chongqing: Challenges and Opportunities”, *Waste Management*, v. 26, pp. 1052-1062.
- IBAM, 2001, *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. Instituto Brasileiro de Administração Municipal – Governo do Brasil.
- IBAM, 2006, *Manual de Gestión Integrada de Residuos Sólidos Municipales en Ciudades de América Latina y el Caribe*, Instituto Brasileiro de Administração Municipal – Governo do Brasil.
- IBAMA, 2010, *Identificação e Avaliação de Impactos Ambientais*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: <<http://licenciamento.ibama.gov.br/>>.
- IBGE, 2005, *Municípios com Existência de Consórcio Público Intermunicipal*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa de Informações Básicas Municipais.
- IBGE, 2010, *Morbidades Hospitalares*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>.
- IBGE, 2011, *Taxa de Crescimento do Brasil / Municípios, Total e com Consórcio Público Intermunicipal, por Área da Administração Municipal, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação*, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>.

- IBRD, 1999, “What a Waste: Solid Waste Management in Asia”, The International Bank for Reconstruction and Development, Washington, D.C., USA.
- Imam, A., Mohammed, B., Wilson, D. C., Cheeseman, C. R. 2008, “Solid Waste Management in Abuja, Nigeria”, *Waste Management*, v. 28, pp. 468-472.
- INPE, 2001, *Mineração de Dados em Grandes Bancos de Dados Geográficos*. Relatório Técnico, Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas – Ação, Métodos, Modelos e Geoinformação para a Gestão Ambiental, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- INPE, 2009, *Estimativa das Emissões de CO₂ por Desmatamento na Amazônia Brasileira*. Relatório Técnico Sintético, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- IPEA, 2010, *Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos*. Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais (DIRUR), Brasília.
- IPEA, 2011, (Estudo - 1) *Emissões Relativas de Poluentes do Transporte Motorizado de Passageiros nos Grandes Centros Urbanos Brasileiros e (Estudo - 2) Poluição Veicular Atmosférica*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília.
- Jain, A. K., 2010, “Data Clustering: 50 Years Beyond k-means”. *Pattern Recognition Letters*, v. 31, pp. 651 - 666.
- JCPRA, 2003, *The Containers and Packaging Recycling Law*, The Japan Containers and Packaging Recycling Association. Disponível em: <<http://www.jcpra.or.jp/>>. Acesso em 10 jan 2013.
- Jin, J., Wang, Z., Ran, S., 2006, “Solid Waste Management in Macao: Practices and Challenges”, *Waste Management*, v. 26, pp. 1045-1051.
- Juras, I. A. G. M., 2012, *Legislação sobre Resíduos Sólidos: Comparação da Lei 12.305/2010 com a legislação de países desenvolvidos*. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, Governo do Brasil.
- Kara, S., Rugrungruang, F., Kaebernic, H., 2007, “Simulation Modelling of Reverse Logistics Networks”, *International Journal Production Economics*, v. 106, pp. 61 – 69.
- Kaufman, L., Rousseeuw, P. J., 1987, “Clustering by Means of Medoids, in Statistical Data Analysis Based on the L1-Norm and Related Methods”. Edited by Y. Dodge, North-Holland, pp. 405 - 416.
- Kofoworola, O. F., 2007, “Recovery and Recycling Practices in Municipal Solid Waste Management in Lagos, Nigeria”, *Waste Management*, v. 27, pp. 1139-1143.
- Krikke, H., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Van Wassenhove, L.N., 2003. “Current Product and Closed-loop Supply Chain Design with an Application to Refrigerators”. *International Journal of Production Research*, v.41 (16), pp. 3689-3719.
- Kum, V., Sharp, A., Harnpornchai, N., 2005, “Improving the Solid Waste Management in Phnom Penh City: a Strategic Approach”, *Waste Management*, v. 25, pp. 101-109.
- Kuo, N., Chen, P., 2009, “Quantifying Energy Use, Carbon Dioxide Emission, and Other Environmental Loads from Island Tourism based on a Life Cycle Assessment Approach”. *Journal of Cleaner Production*, v.17, pp. 1324-1330.
- Lacerda, L., 2009, *Logística Reversa: Uma Visão sobre os Conceitos Básicos e as Práticas Operacionais*. Disponível em: <www.sargas.com.br>. Acesso em: 29/12/2012.

- Lattin, J., Carroll, J. D., Green, P. E., 2011, *Análise de Dados Multivariados*. São Paulo, Editora Cengage Learning.
- Leal Júnior, I. C., 2011, *Método de Escolha Modal para Transporte de Produtos Perigosos com Base em Medidas de Ecoeficiência*, D.Sc. Tese, COPPE/UFRJ, Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro, Brasil.
- Leal Júnior, I. C., D'Agosto, M. A., 2011, "Modal Choice for Transportation of Hazardous Materials: The Case of Land Modes of Transport of Bio-ethanol in Brazil", *Journal of Cleaner Production*, v.19, pp. 229-240.
- Leal Júnior, I. C., Garcia, P. A. A., D'Agosto, M. A., 2012, "A Data Envelopment Analysis Approach to Choose Transport Modes Based on Eco-efficiency", *Environment, Development and Sustainability*, v.14 (5), pp. 767-781.
- Lee, T., Kreng, V. B., 2006, "A Nonparametric Multi-Seed Data Clustering Technique". *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, pp. 1-10.
- Leite, P. R., 2003, *Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade*. São Paulo, Pearson Prentice Hall.
- Liao, W., Tingquan, P., Chuan, H., Hui, Y., 2009, "Management of Municipal Solid Waste in the Three Gorges Region", *Waste Management*, v. 29, pp. 2203-2208.
- Lima, R. M. S. R., 2006, *Implantação de um Programa de Coleta Seletiva Porta-a-porta com Inclusão de Catadores: Estudo de Caso em Londrina-Pr*. M.Sc. Dissertação, Universidade Estadual de Londrina, Engenharia de Edificações e Saneamento, Londrina, Paraná, Brasil.
- Linden R., 2009, "Técnicas de Agrupamento", *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*, n. 4, pp. 18 - 36.
- Llamas, M., 2009, *Mexico's National Waste Management Program*. Disponível em: <<http://www.semarnat.gob.mx/>>. Acesso em: 13 jan 2013.
- LTC/PET/COPPE/UFRJ, 2012, Modelo Gerencial Aplicado a Cooperativas Populares Atuantes na Coleta de Resíduos. Uma Potencial Aplicação ao Estado do Rio de Janeiro. Relatório Final – Projeto FAPERJ - Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro.
- MacQueen, J. B., 1967, "Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations". *I. Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*. University of California, pp. 281-297.
- Manaf, L. A., Samah, M. A., Zukki, N. I., 2009, "Municipal Solid Waste Management in Malaysia: Practices and Challenges", *Waste Management*, v. 29, pp. 2902-2906.
- Matos, R. A., 2007, *Comparação de Metodologias de Análise de Agrupamentos na Presença de Variáveis Categóricas e Contínuas*. M.Sc. Dissertação, Estatística, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Brasil.
- Mattsson, C. H., Berg, E. O., Clarkson, P. A., 2003, "The Development of Systems for Property close Collection of Recyclables: Experiences from Sweden and England", *Resources, Conservation and Recycling*, v. 38, pp. 39-57.
- Maximiano, A. C., 2000, *Introdução à Administração*. São Paulo, Editora Atlas.

- MCT, 2009, *Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal*. Ministério de Ciência e Tecnologia. Disponível em: <http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/material3os/MCT_inventario_emissoes.pdf>.
- Meggison, L. C., Mosley, D. C., Pietri Jr., P.H., 1998, *Administração: Conceitos e Aplicações*. 4.ed. São Paulo, Editora Harbra.
- Michelsen, O., Fet, A. M., Dahlsrud, A., 2006, “Eco-efficiency in Extended Supply Chains: A Case Study of Furniture Production”. *Journal of Environmental Management*, v.79, pp. 290-297.
- Mickwitz, P., Melanen, M., Rosenstrom, U., Seppala, J., 2006, “Regional Eco-efficiency Indicators –A Participatory Approach”. *Journal of Cleaner Production*, v.14, pp. 1603-1611.
- Milligan, G. W., Cooper, M. C., 1985. “An Examination of Procedures for Determining the Number of Clusters in a Data Set”. *Psychometrika*, v.50 (2), pp. 159-179.
- Min, H., Ko, H., 2008, “The Dynamic Design of a Reverse Logistics Network from the Perspective of Third-party Logistics Service Providers”, *International Journal of Production Economics*, v. 113, pp. 176-192.
- MMA, 1986, *Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº18/86*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res1886.html>>.
- MME, 2012, *Balança Energético Nacional 2012*. Ministério de Minas e Energia, Brasília. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>.
- MMEJ, 2010, *Statistical Handbook 2010 of Japan - Waste Generation and Disposal (nonindustrial and industrial waste)*. Ministério do Meio Ambiente do Japão. Disponível em: <http://www.stat.go.jp/english/data/handbook/pdf/t14_2.pdf>. Acesso em 11 fev 2011.
- Moghadam, M. R., Mokhtarani, N., Mokhtarani, B., 2009, “Municipal Solid Waste Management in Rasht City, Iran”, *Waste Management*, v. 29, pp. 485-489.
- Mourão, P. R., *Contributo para o Estudo Económico dos Indicadores Regionais*. Departamento de Economia/Núcleo de Investigação em Políticas Económicas, Universidade do Minho. Disponível em: <http://www3.eeg.uminho.pt/economia/nipe/docs/Publicações_Outrass_Revistas/>.
- Mulder, W., 2013, “Optimal Clustering in the Context of Overlapping Cluster Analysis”. *Information Sciences*, v. 223, pp. 56 - 74.
- Nakamura, Y., 2007, *Waste Management and Recycling Business in the United States and Japan*, Program on USA-Japan Relations, Harvard University.
- Ngoc, U. N., Schnitzer, H., 2009, “Sustainable Solutions for Solid Waste Management in Southeast Asian Countries”, *Waste Management*, v. 29, pp. 1982-1995.
- OECD, 2006, *Environmental Data – Compendium*, Organization for Economic Co-operation and Development. Disponível em: <<http://www.oecd.org/>>. Acesso em 18 jan 2011.
- Oliveira, T. B. S., 2008, *Clusterização de Dados Utilizando Técnicas de Redes Complexas e Computação Bioinspirada*. M.Sc. Dissertação, Computação e Matemática Computacional, Universidade de São Paulo, São Carlos - São Paulo, Brasil.
- OR/MS TODAY, 2013, *Statistical Software Survey*. Institute for Operations Research and Management Sciences. Geórgia, USA.

- Pakhira, M. K., Bandyopadhyay, S., Maulik, U., 2004, "Validity Index for Crisp and Fuzzy Clusters". *Pattern Recognition*, v.37, pp. 487 - 501.
- Papachristou, E., Hadjiangelou, H., Darakas, E., Alivanis, K., Paraskevopoulou, E., Ioannidou, D., Belou, A., Poullos, K., Koukourikou, A., Kosmidou, N., Sortikos, K., 2009, "Perspectives for Integrated Municipal Solid Waste Management in Thessaloniki, Greece". *Waste Management*, v.29, pp. 1158-1162.
- Parrot, L., Sotamenou, J., Dia, B. K., 2009, "Municipal Solid Waste Management in Africa: Strategies and Livelihoods in Yaoundé, Cameroon", *Waste Management*, v. 29, pp. 986-995.
- Pelleg, D., Moore, A., 2000, "X-means: Extending k-means with Efficient Estimation of the Number of Clusters. In: *Proc. Seventeenth Internat. Conf. on Machine Learning*, pp. 727-734.
- Pires, M. M., 2008, *Agrupamento Incremental e Hierárquico de Documento*. M.Sc. Dissertação, UFRJ, Engenharia Civil, Rio de Janeiro, Brasil.
- PLASTIVIDA, 2011, *Reciclagem do Plástico*. Instituto Socioambiental dos Plásticos. Disponível em: <<http://www.plastivida.org.br>>. Acesso em: 09 out 2011.
- Pokhrel, D., Viraraghavan, T., 2005, "Municipal Solid Waste Management in Nepal: Practices and Challenges", *Waste Management*, v. 25, pp. 555-562.
- Rathi, S., 2006, "Alternative Approaches for Better Municipal Solid Waste Management in Mumbai, India", *Waste Management*, v. 26, pp. 1192-1200.
- REN21, 2010, *Renewables 2010 - Global Status Report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Disponível em: <<http://www.rona.unep.org>>.
- Revista Transporte Moderno, 2012, *Edição 451*. Editora OTM, Campo Belo, São Paulo.
- Revista Transporte Mundial, 2012, *Edição 105*. Editora MotorPress Brasil – ISSN 1676-1650.
- Rio de Janeiro, 2010, *Rio Sustentável*. Seminário Cidades Sustentáveis, Brasília - DF - Brasil.
- Sarmiento, M. C. C., 2012, *Solid Waste Management in Colombia*. Disponível em: <www.d-waste.com/>. Acesso em: 13 jan 2013.
- Schettino, M R. A., 2005, "Política Ambiental para Ônibus Urbano nas RMSP". *IV Conferência Internacional de Emissões Veiculares*, Brasília - DF - Brasil.
- SEA, 2011, *Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos*. Secretaria Estadual do Ambiente, Governo do Estado do Rio de Janeiro.
- Sharholly, M., Ahmad, K., Vaishya, R. C., Gupta, R. D., 2007, "Municipal Solid Waste Characteristics and Management in Allahabad, India", *Waste Management*, v. 27, pp. 490-496.
- Slack, N., Chambers, S., Johnston, R., 2002, *Administração da Produção*. 2^a ed. São Paulo, Editora Atlas.
- SMA-SP, 2002, "Coleta Seletiva", Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo, SP, Brasil.
- SNIS, 2008, *Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos*. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério das Cidades, Governo do Brasil.
- Souza, C. D. R., Silva, S. D., Vieira, M. A., D'Agosto, M. A., Barboza, A. P., 2012, "Inventory of Conventional Air Pollutants Emissions from Road Transportation for the State of Rio de Janeiro". *Energy Policy*, v.53, pp. 125-135.
- Stock, J. R., 1992, "Reverse Logistics, White Paper", Council of Logistics Management, Oak Brook, IL.

- Swain, J. J., 2013, *Statistical Software Survey*. Disponível em: <https://www.informs.org/ORMS-Today/Public-Articles/February-Volume-38-Number-1/Software-Survey-Statistical-Analysis>.
- Talyan, V., Dahiya, R. P., Sreekrishnan, T. R., 2008, “State of Municipal Solid Waste Management in Delhi, the Capital of India”, *Waste Management*, v. 28, pp. 1276-1287.
- Tayibi, H., Pena, C., Lopez, F. A., Lopez-Delgado, A., 2007, “Management of MSW in Spain and Recovery of Packaging Steel Scrap”, *Waste Management*, v. 27, pp. 1655-1665.
- TETRAPAK, 2011, *Reciclagem do Tetrapak*. Disponível em: <<http://www.tetrapak.com.br>>. Acesso em: 09 out 2011.
- Thomas, C., 2001, “Public Understanding and Its Effect on Recycling Performance in Hampshire and Milton Keynes”, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 32, pp. 259-274.
- Tinmaz, E., Demir, I., 2006, “Research on Solid Waste Management System: To Improve Existing Situation in Corlu Town of Turkey”, *Waste Management*, v. 30, pp. 307-314.
- Trigueiro, F. G. R., 2003, *Logística Reversa: A Gestão do Ciclo de Vida do Produto*. Disponível em: <<http://www.guialog.com.br/ARTIGO439.htm>>. Acesso em: 31/12/2012.
- Tsoufas, G. T., Pappis, C. P., 2006, “Environmental Principles Applicable to Supply Chains Design and Operation”. *Journal of Cleaner Production*, v.14, pp. 1593-1602.
- UNEP, 2011, *Towards Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. United Nations Environment Programme. Disponível em: <www.unep.org/greeneconomy>.
- UNEP, 2013, *Related Concepts – (Eco-Efficiency)*. United Nations Environment Programme. Disponível em: <http://www.unep.org>.
- Un-habitat, 2010, *WTE Industry in Latin America*, The United Nations Human Settlements Programme.
- Vidanaarachchi, C. K., Yuen, S. T. S., Pilapitiya, S., 2006, “Municipal Solid Waste Management in the Southern Province of Sri Lanka: Problems, Issues and Challenges”, *Waste Management*, v. 26, pp. 920-930.
- Vilhena, C., 2010, *Informações sobre a nova Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Diretor-Executivo do CEMPRE. Entrevista dada ao programa de televisão “Cidades e Soluções” - GloboNews.
- WBCSD, 2000, *Measuring Eco-Efficiency. A guide to reporting company performance*. World Business Council for Sustainable Development, Geneva, Switzerland.
- Wilson, E. J., Mcdougall, F., Willmore, J., 2001, “Euro-trash: Searching Europe for a More Sustainable Approach to Waste Management”. *Resources, Conservation and Recycling*, v.31, pp. 327-346.
- World Bank, 2005, *Waste Management in China: Issues and Recommendations*, East Asia Infrastructure Department.
- Zhang, D., Keat, T. S., Gersberg, R. M., 2010, “A Comparison of Municipal Solid Waste Management in Berlin and Singapore”, *Waste Management*, v. 30, pp. 921-933.
- Zhen-Shan, L., Lei, Y., Xiao-Yan, Q., Yu-Mei, S., 2009, “Municipal Solid Waste Management in Beijing City”, *Waste Management*, v. 29, pp. 2596-2599.

Anexo I: Relatório sobre a visita técnica a recicladora Owens-Illinois

A Owens-Illinois (OI) compra a sucata de vidro de vários sucateiros e cooperativas de várias localidades do Brasil e a transforma em novas garrafas ou embalagens. O caco separado por cor tem maior valor de mercado. Esse caco, ou de cor âmbar, ou verde ou transparente pode ser adicionado de uma vez ao forno para ser fundido e processado. A empresa também compra o caco misto, contudo este é adicionado ao forno em pequenas quantidades por batelada. Primeiramente, o caco é levado e disposto no início da linha de alimentação do forno. Desse local até o forno, o transporte é realizado por esteiras.

O caco é fornecido por diversos sucateiros que contratam o transporte ou possuem frota própria. Os caminhões mais comuns são do tipo poliguindaste com até três caçambas (com capacidade de 5 toneladas cada) e do tipo *rollon rolloff*. Neste último, consegue-se carregar até 15 toneladas de caco quando a granulometria é baixa (vidro bem moído). Com granulometrias maiores, consegue-se comumente carregar de 11 a 13 toneladas.

Quanto ao fluxo pelo qual passa o caco de vidro do catador até o reciclador, verifica-se que são coletados em residências e comércios por catadores que alimentam cooperativas de pequeno porte. Essas cooperativas vendem os resíduos para cooperativas maiores que repassam para grandes sucateiros que compram todo tipo de resíduo. Os sucateiros que trabalham com apenas um tipo de resíduo compram de vários outros sucateiros menores e cooperativas maiores. Esse último elo vende em escala para a unidade de reciclagem.

Neste contexto, ressalta-se que o grande sucateiro é organizado, apresenta um sistema de gestão eficiente e um sistema logístico desenvolvido. Por essa razão, é o elo que mais onera a cadeia, isto é, o catador e as pequenas cooperativas são mal remunerados e esses sucateiros levam a grande fatia do valor adquirido por meio do processo de reciclagem. Esses grandes sucateiros alegam que beneficiam o resíduo comprado das cooperativas e, por essa razão, vendem a sucata mais cara. Assim sendo, o reciclador que compra a sucata sente-se desmotivado e volta a comprar a matéria-prima virgem para produção.

É citado ainda que pouca atenção tem sido dispensada ao transporte de residências até cooperativas. Em alguns municípios, a coleta diferenciada é realizada em caminhões de baixa compactação. Em muitos casos, os resíduos sólidos recicláveis e não recicláveis

são entregues misturados. Além disso, cooperativas podem apresentar baixo potencial de processamento e podem não apresentar escala para atender a um reciclador.

Neste contexto, opina-se que o grande desafio seja estruturar adequadamente a cadeia de suprimento de unidades intermediárias de processamento, incluindo unidades geridas por cooperativas. Opina-se ainda que a separação dos resíduos deve ser incentivada e o município deve colaborar para que o custo de transporte seja o mínimo possível e não é pretendida a extinção dos grandes sucateiros e sim sua recolocação dentro da cadeia, com atuação voltada às atividades de beneficiamento e de transporte.

Anexo II: Relatório sobre a visita técnica a empresa de sucata Balprensa

A Balprensa dedica-se às atividades de coleta e beneficiamento de resíduos metálicos. O nome Balprensa originou-se das palavras balança e prensa, indicando os dois principais processos beneficiamento realizados na planta da empresa. Além desses processos, é realizada a fragmentação da sucata (também chamado de tesourada). Esses processos só são realizados pela empresa. A sucata comprada de ferros velhos não é beneficiada.

A Balprensa é o maior sucateiro de resíduos metálicos do Brasil. No entanto, a empresa atua apenas no estado do Rio de Janeiro. Em quase todos os municípios do estado há ferros velhos que fornecem a sucata. Na região serrana, o município de Nova Friburgo se destaca com alto fornecimento. Quanto aos municípios do consórcio Serrana II, há ferros velhos em todos eles. No entanto, o fornecimento é mediano ou baixo. Destaca-se ainda que a Balprensa compra a sucata de grandes e pequenos ferros velhos. A empresa conta com 350 funcionários para realizar esse processo de coleta.

A sucata beneficiada é vendida para a indústria siderúrgica (recicladores). Os principais recicladores são: Gerdau, Votorantim e Arcelor-Mittal. A empresa tem como vantagem o fornecimento em escala para essas siderúrgicas. A capacidade de coleta é de 20.000 toneladas por mês e, atualmente, a empresa coleta cerca de 16.000 toneladas por mês. Ressalta-se que a empresa não sofre concorrência de outro grande sucateiro. Há outros sucateiros, mas de baixa capacidade de fornecimento.

A Balprensa realiza a própria coleta. Assim sendo, a empresa possui frota composta por pouca mais de 100 caminhões. Os caminhões têm capacidades que variam de 8 a 10 toneladas. Há três tipos de caminhões que são utilizados pela empresa:

- (1) *Rollon rolloff*: uma caçamba é deixada em um grande ferro velho e, depois de cheia, é transportada para a planta da Balprensa.
- (2) Poliguindaste: transporta uma, duas ou três caçambas de menor capacidade que também são deixadas em ferros velhos e transportadas quando cheias.
- (3) Caminhão com equipamento garra aranha: a sucata é disposta em área aberta ou galpão de um ferro velho. O equipamento garra aranha literalmente pega a sucata e a coloca dentro da caçamba do caminhão.

Nesta visita, verificou-se que grandes sucateiros apresentam uma eficiente estrutura de equipamentos, pessoas e processos que os permitem atuar como agentes fundamentais para que o resíduo chegue até um reciclador.

Anexo III: Relatório sobre a visita técnica a cooperativa Esperança

A Cooperativa Esperança foi criada em Petrópolis há 8 anos. Iniciaram seu trabalho sem infra-estrutura e permaneceram exercendo sua atividade de modo precário até abril de 2011. Nesse mês, o município de Petrópolis disponibilizou um galpão de 950 m² e os cooperados passaram a utilizar este local para exercer suas atividades. Em Petrópolis, há a atuação de três cooperativas: Cooperativa Esperança, APUV e Associação Oficina de Jesus. No dia da visita, a Cooperativa Esperança contava com 25 cooperados.

Em Petrópolis, coleta-se mensalmente por volta de 80 toneladas de resíduos recicláveis. A empresa de coleta é a Companhia Municipal de Desenvolvimento de Petrópolis de economia mista. Das 80 toneladas coletadas pela empresa, 30 delas são disponibilizadas para a Cooperativa Esperança, 30 toneladas para a Associação Oficina de Jesus e 20 toneladas para a APUV. Da quantidade disponibilizada para a Cooperativa Esperança, inclusive proveniente de outros doadores, a maior parte é papel/papelão e plástico.

O sistema de coleta implementado no município de Petrópolis é o porta-a-porta e o sistema em pontos de coleta. No sistema porta-a-porta, o município fornece um saco plástico e os resíduos recicláveis devem ser acondicionados neste. Há uma programação

de dias de coleta e os veículos passam recolhendo os resíduos sólidos recicláveis. A coleta diferenciada foi implementada em 8 bairros com boa adesão dos residentes.

As atividades identificadas na cooperativa são: estocagem, prensagem, enfardamento, triagem e pesagem. A maior parte da doação de resíduos sólidos recicláveis recebida pela cooperativa é proveniente dos sistemas de coleta porta-a-porta e sistemas em ecopontos (71% em outubro de 2011, 67% em novembro de 2011 e 76% em dezembro do mesmo ano). Por mês são entregues duas cargas (quinzenalmente) de aproximadamente oito toneladas. Essas cargas são provenientes da coleta porta-a-porta.

O principal cliente da Cooperativa Esperança é o sucateiro R-TEC Depósito de Papéis. Esse sucateiro localiza-se em Paraíba do Sul - RJ. Uma das 3 prensas que a cooperativa utiliza foi doada por esse sucateiro. Em janeiro de 2012, a Cooperativa Esperança realizou 4 vendas: duas delas representam grande volume de resíduos de baixo valor e 2 delas representam baixo volume de resíduos de alto valor. Os resíduos recicláveis de grande volume e de baixo valor são vendidos a R-TEC e os resíduos de baixo volume e de alto valor são vendidos à Rio PET. Os resíduos recicláveis de alto valor são plástico PET e latas de alumínio e de baixo valor são papel, papelão e outros tipos de plásticos.

De todos os resíduos vendidos em janeiro/2012, a maior parte é resíduo de baixo valor, como papel e papelão (78%). Ressalta-se ainda que o volume vendido para a Rio PET (6% do total) é responsável por cerca de 28% de todo o faturamento. Essa receita obtida com a venda dos resíduos é também destinada a pagar despesas da cooperativa.

Outra informação importante é o preço dos resíduos recicláveis, conforme apresenta a Tabela A1. É possível averiguar o preço pago pelo maior cliente, representado pela R-TEC, e por um cliente esporádico e menor, representado pelo sucateiro Santa Maria. Quando se compara esses preços com o preço apresentado pelo CEMPRE (2012) para os municípios de Mesquita e do Rio de Janeiro, constata-se que o maior desvio relativo (desvio padrão/média) é referente ao papel arquivo ou papel branco (48%).

Tabela A1.1: Tabela de Preço de Resíduo Enfardado (R\$/kg).

Resíduo	Preço Suc. Sr.	Preço Suc. St.	Preço	Preço
	Geraldo	Maria	Rio*	Mesquita*
Latas de alumínio	2,70	n/e	2,30	2,80
PET	1,15	1,00	1,40	1,40
PP* água	1,00	n/e	n/e	n/e
Garrafinha Branca (PEAD)	0,90	0,50	n/e	n/e
PP* cadeira	0,90	n/e	n/e	n/e
Plástico transparente	0,80	0,80	0,60	0,75
Garrafinha colorida (PEAD)	0,75	0,50	n/e	n/e
Tampinha	0,50	n/e	n/e	n/e
PP* margarina	0,45	n/e	n/e	n/e
Plástico misto	0,40	0,40	n/e	n/e
Plástico grosso	0,40	0,55	0,50	0,80
PET óleo	0,30	0,10	n/e	n/e
Papel arquivo	0,25	0,20	0,58	0,45
Papelão Capa	0,20	0,18	0,25	0,20
Papelão de 2ª	0,18	n/e	n/e	n/e
Embalagem cartonada	0,15	n/e	0,21	0,22
Papel misto	0,10	0,05	n/e	n/e
Jornal	0,10	0,05	n/e	n/e
Revista	0,10	0,05	n/e	n/e

* Fonte: CEMPRE (2012); (n/e) Não especificado; * PP: polipropileno.

Três grandes recicladores de papel podem receber os resíduos triados na cooperativa Esperança. Um dos recicladores é a empresa Paraibuna Embalagens com a matriz em Sapucaia e a filial localizada em Juiz de Fora. Nessa empresa, recicla-se 7 mil toneladas de papel por mês em sua unidade industrial. Mesma quantidade é reciclada na empresa Klabin localizada em Guapimirim - RJ. Neste município, encontra-se ainda a empresa Cibrapel que recicla cerca de 4 toneladas de papelão.

Anexo IV: Relatório sobre a visita técnica a empresa recicladora Klabin

A Klabin é a maior empresa recicladora de papéis da América do Sul, com capacidade de reciclagem de 400 mil toneladas de aparas por ano. Em Guapimirim, está localizada uma das plantas de reciclagem com capacidade produtiva de 200 toneladas de papel por dia. Essa unidade fornece papel ondulado para as unidades de embalagens da Klabin.

Os principais fornecedores da unidade de Guapimirim são a empresa CRR e Papéis Rio-Niterói. A Klabin recebe aparas desses grandes fornecedores, contudo complementa seu suprimento com aparas provenientes de pequenos aparistas, como a R-TEC localizada no município de Paraíba do Sul. Esse aparista fornece uma carga a cada 15 dias. Essa carga é de 15 toneladas aproximadamente. O veículo utilizado é o caminhão *Truck* e a Klabin só recebe a carga enfardada. Já o grande aparista fornece com frequência diária, sendo utilizado caminhão com capacidade de 25 a 30 toneladas.

O objetivo é manter sempre 15 dias de estoque, como forma de se resguardar quando há aumento expressivo do preço da apara. Neste mercado, as informações de preço se disseminam com muita rapidez. Se os grandes aparistas entram em acordo para aumento de preço, rapidamente todo o mercado (inclusive pequenos aparistas) segue a tendência.

A Klabin compra de 6 a 7 mil toneladas de aparas por mês. Não há escassez de aparas no mercado e a preferência da Klabin é sempre comprar aparas no estado do Rio de Janeiro. No entanto, se há um aumento excessivo do preço, a Klabin recorre a outros fornecedores em outros estados. A matéria-prima de produção é o papel ondulado (PO). Há três tipos de fardos de acordo com um índice que representa a quantidade de papelão seco e limpo. Se esse índice é maior que 97%, o fardo é do tipo PO1; se estiver entre 91% e 97% é PO2 e abaixo de 91% é PO3. De todos os fardos comprados, 95% deles é PO2 e 5% é PO1 - o tipo PO3 não é comprado pela qualidade e rendimento do processo.

Para a produção de 1 tonelada de papel ondulado, é necessário 1,3 toneladas de aparas. O processo produtivo passa pelas seguintes etapas:

- (1) Estoque de aparas - Os fardos são empilhados em até 4 camadas. São colocadas etiquetas com código de barras nos fardos;
- (2) Controle da qualidade das aparas no laboratório - São retiradas amostras com uma máquina que fura o fardo no meio. Essas amostras são analisadas quanto ao grau de impurezas, umidade e existência de outros tipos de resíduos;
- (3) Preparação da massa - os fardos são transportados por meio de esteiras até uma máquina chamada *Hidrapulper*. Nessa máquina, há os processos de desagregação e de depuração da massa, funcionando como uma grande bateadeira;

- (4) Tancagem - A massa é estocada e são adicionados produtos químicos com o intuito de melhorar as características do papel, como o aumento de sua resistência;
- (5) Produção do papel - Há duas máquinas que transformam a massa em papel;
- (6) Produção das bobinas de papel - O papel passa por bobinadeiras e, em seguida, por máquinas de corte para a produção de bobinas que apresentem as dimensões requeridas pelos clientes;
- (7) Estoque de produtos acabados - Os produtos são armazenados enquanto aguardam a expedição.

O papel produzido pela Klabin custa R\$1.100,00 a tonelada. Já a aparista é comprada por R\$ 290,00 a tonelada (tipo PO2) ou R\$310,00 a tonelada (tipo PO1). Esse preço já inclui o frete do aparista que gira em torno de R\$20,00 (transporte de 25 toneladas de aparas). Salienta que uma cooperativa vende um fardo de papel a R\$0,10/kg para um aparista de pequeno porte. Este vende para um aparista de grande porte a R\$0,15/kg. Por sua vez, o grande aparista venderá o mesmo fardo a R\$ 0,30/kg ao reciclador (lucro de 100%). Há até o interesse da Klabin em comprar de cooperativas. No entanto, como a maioria não é regularizada (para a compra é necessário a emissão de nota fiscal) e, além disso, não apresentam alta capacidade de fornecimento, a melhor estratégia é manter o suprimento proveniente de grandes aparistas.

Anexo V: Relatório sobre a visita técnica a empresa de coleta COMDEP

A COMDEP (Companhia Municipal de Desenvolvimento de Petrópolis) é uma empresa de economia mista responsável pela gestão de resíduos em Petrópolis. Assim sendo, é responsável pela destinação adequada de resíduos de capina, pneus inservíveis, resíduos recicláveis e não-recicláveis. A coleta de resíduos não-recicláveis é realizada por uma empresa contratada pela COMDEP, enquanto a coleta de resíduos recicláveis é realizada pela própria COMDEP. Para iniciar a operação de coleta diferenciada, arbitraram por não realizar os dois tipos de coleta no mesmo dia, para não confundir a população e para facilitar o trabalho dos coletores que precisariam verificar o conteúdo dos sacos de lixo.

A COMDEP iniciou a implementação da coleta diferenciada porta-a-porta por bairro e, ao longo do tempo, tem aumentado a abrangência do programa incluindo mais bairros. Os bairros atualmente atendidos são:

- Segunda-feira: Bingen (Capela, Centenário e Vila Militar);
- Terça-feira: Mosela, Bataillard e Pedras Brancas;
- Quarta-feira: Valparaíso;
- Quinta-feira: Morin;
- Sexta-feira: Alto da Serra (Vila Felipe, Vila Real, Chácara Flora e Alto Tamacolde).

O programa de coleta diferenciada foi implementado em junho de 2010 em Petrópolis. Um mês antes do início da operação de coleta em um bairro, uma equipe visita casa por casa. Um panfleto é entregue ao morador e é explicado o que é a coleta seletiva, seus benefícios e como participar. Um imã de geladeira é deixado, onde são mencionados o número de contato da COMDEP e o dia da semana em que a coleta será realizada neste bairro. Além disso, um carro de som percorre o bairro, informando sobre o dia de início do programa e o dia de coleta na semana. Esse carro de som continua informando até completar dois meses de início do programa.

Uma semana antes do início da operação, os agentes da COMDEP visitam novamente as residências e distribuem os sacos de lixo para acondicionamento dos recicláveis. Esse saco de lixo é transparente para que os coletores possam visualizar seu conteúdo e seja mais fácil identificar se o morador misturou os resíduos recicláveis e não-recicláveis. De um modo geral, a adesão da população ao programa tem sido satisfatória.

Para a realização da coleta, são disponibilizados de dois a três caminhões, dependendo do tamanho do bairro. Esses caminhões são do tipo Mercedes 914 – cabine dupla (há do tipo baús e gradeados). A capacidade dos caminhões é de 900 kg e cada caminhão faz por volta de duas viagens por dia. Com dois caminhões em operação, são realizadas quatro viagens, o que resulta em um volume de coleta diário de 3,6 toneladas. Cada saco de lixo de 100 ml acondiciona em média 3,5 kg de resíduos recicláveis. Desta forma, são coletados por dia cerca de 1000 sacos de lixo cheios.

Para a operação de coleta, segue com o caminhão um motorista e quatro coletores. Esses coletores se apresentam uniformizados. Dois desses coletores se adiantam em relação ao caminhão e agrupam os sacos de lixo em montes. Há ruas transversais, geralmente estreitas, que o caminhão não passa. Os coletores recolhem os sacos acondicionados

nestas ruas (na porta das casas) e alocam em montes na rua principal. O veículo segue o trajeto e para onde estão os montes. Os outros dois coletores acondicionam os sacos no interior do caminhão. No momento que o saco de lixo é retirado pelo coletor, outro saco vazio é deixado na caixa de correio ou amarrado no portão das residências.

Os coletores estão orientados ainda a verificar se há resíduos não-recicláveis alocados nos sacos. Se isto acontecer, devem anotar o número da casa. Posteriormente, a equipe de conscientização visita a casa para orientar o morador. A equipe visita ainda as casas em que os moradores não aderiram ao programa, segundo informação dos coletores.

Quando o caminhão está cheio, segue direto para uma cooperativa, onde é descarregado em 30 minutos. São três cooperativas no total que recebem os resíduos recicláveis (uma por semana). Além de coletar os resíduos, a COMDEP arca com os custos de aluguel e telefone do galpão e lanche dos cooperados (custo de telefone médio igual a R\$ 750,00).

No dia da visita, a cooperativa Esperança estava sendo atendida. Contudo, os caminhões estavam descarregando no galpão da COMDEP, pois não havia espaço para estocar os resíduos recicláveis no galpão da cooperativa. O representante da COMDEP alegou que mais cooperativas seriam necessárias para processar todo o resíduo coletado.

Acompanhou-se a operação de coleta que partiu às 09:00h e parou às 12:00h. Percorreu-se no total 1,5 km. Assim sendo, a velocidade média do caminhão foi de 0,5 km/h. Essa velocidade é baixa, pois o caminhão para ao longo do trajeto para que o coletor possa transferir os sacos de lixo para o caminhão. Em um determinado momento, é necessário que o coletor arrume a carga no veículo para abrir espaço para mais sacos de lixo.

Anexo VI: Relatório sobre a visita técnica ao aparista R-TEC

R-TEC é um aparista que atua comprando resíduos recicláveis desde Resende no sul do estado do Rio de Janeiro até Petrópolis na região Serrana. São comprados tanto resíduos enfardados quanto resíduos soltos. Seus principais clientes de papelão estão localizados em Juiz de Fora (Paraibuna Papéis) e em Guapimirim (Klabin e Cibrapel). Essa empresa adota o Simples Nacional, um regime especial de arrecadação de tributos.

Este aparista conta com um galpão de 400 m². Há uma área para estocagem dos resíduos e para estocagem dos fardos já prontos para serem expedidos. Há cargas fechadas em um caminhão que não passam pelo galpão. São carregados no fornecedor e seguem para o cliente diretamente. Há ainda cargas que são recebidas enfardadas e apenas aguardam formar volume para serem expedidas. Quando a carga recebida está solta, uma máquina produz os fardos. Quando é papel, essa máquina é capaz de triturá-lo. As aparas sobem por uma esteira e caem em uma câmara para prensagem. A mesma máquina é capaz de enfardar as aparas prensadas. No momento da expedição, é utilizada uma empilhadeira.

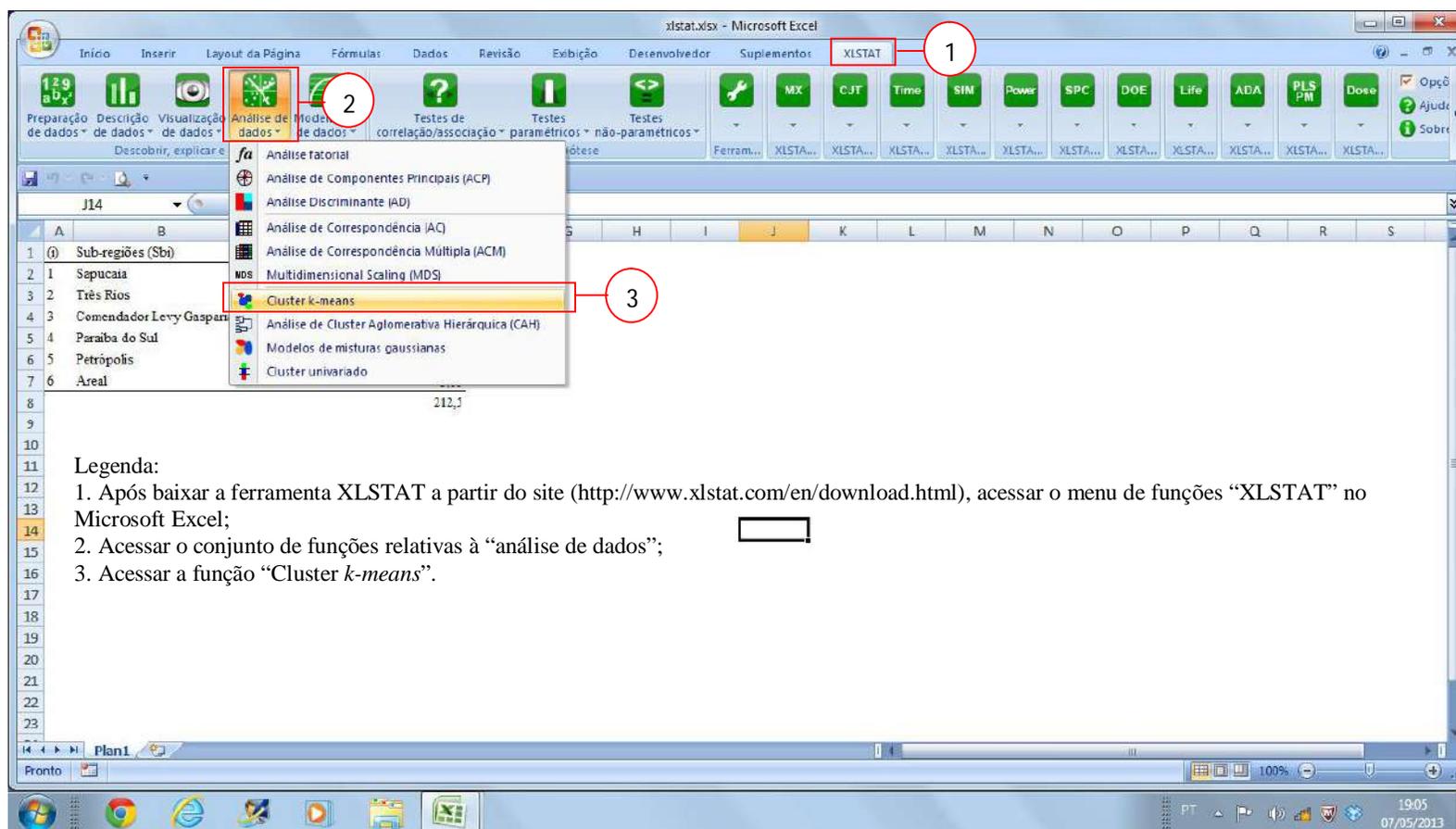
Assim sendo, as atividades realizadas pelo aparista são:

- (1) Transporte das aparas;
- (2) Estoque de aparas;
- (3) Trituração;
- (4) Transporte na esteira;
- (5) Prensagem;
- (6) Enfardamento;
- (7) Estocagem de fardos;
- (8) Transporte com a empilhadeira;
- (9) Carregamento;
- (10) Transporte dos fardos até o cliente.

Mensalmente, o aparista movimenta de 500 a 600 toneladas de resíduos recicláveis. O principal resíduo é o papelão com movimentação mensal de 250 a 370 toneladas. Cita-se ainda que o papelão custa R\$0,19/kg. Já a venda varia de R\$0,24 a R\$0,26/kg. Para sua operação, o aparista conta com 12 funcionários (3 motoristas), 1 empilhadeira a gás e 1 máquina horizontal que tritura, prensa e enfarda (capacidade de 3 toneladas/hora).

O aparista conta ainda com 3 veículos, utilizados para buscar o resíduo comprado e para entregar o resíduo vendido. Desses veículos, 1 é caminhão *Truck* com capacidade de 15 toneladas. Os outros dois são do tipo caçamba com sistema *Rollon Rolloff*. Os dois têm capacidade de 10 toneladas. Quando o caminhão caçamba é enviado para carregamento nas cooperativas em Petrópolis, dois ajudantes seguem junto com o motorista.

Anexo VII: Particionamento utilizando a ferramenta XLSTAT



Legenda:

1. Após baixar a ferramenta XLSTAT a partir do site (<http://www.xlstat.com/en/download.html>), acessar o menu de funções “XLSTAT” no Microsoft Excel;
2. Acessar o conjunto de funções relativas à “análise de dados”;
3. Acessar a função “Cluster *k-means*”.

Figura A7.1: Seleção da função Cluster *k-means* da ferramenta XLSTAT.

The image shows the XLSTAT 'Cluster k-means' dialog box. The spreadsheet data is as follows:

Sub-regiões (Sbi)	Longitude Xij	Latitude Yij	qi
Sapucaia	42864821	21990375	4,35
Três Rios	43194352	22101947	32,35
Comendador Levy Gasparian	43222398	22038443	1
Paraíba do Sul	43303843	22169490	1
Petrópolis	43166743	22484574	15
Areal	43107898	22235566	2

Legenda:

1. Seleciona-se as coordenadas do centróide CSbi;
2. Neste caso as colunas ou variáveis não possuem peso;
3. Considera-se as quantidades coletadas qi como peso dos centróides CSbi;
4. Seleciona-se a saída dos resultados (selecionado em nova planilha);
5. Seleciona-se o nome das linhas;
6. Deve-se preencher com o valor de (k) grupos de um particionamento;
7. Ok para particionar.

Figura A7.2: Preenchimento do Menu Cluster *k-means* da ferramenta XLSTAT.

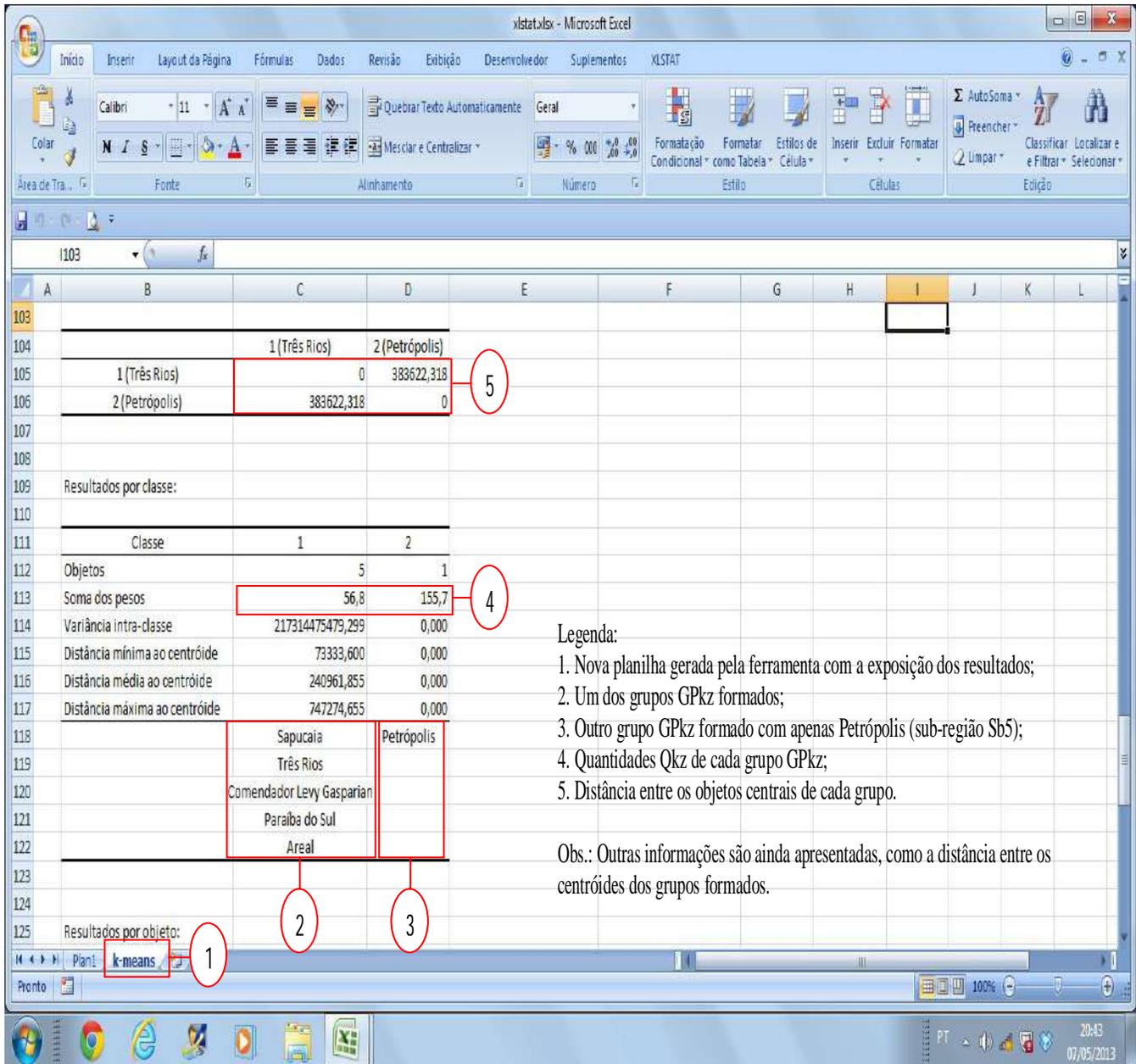


Figura A7.3: Apresentação dos resultados segundo a ferramenta XLSTAT.

Anexo VIII: Estimativa da distância total percorrida em cada grupo GP_{kz}

Tabela A8.1: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 1$ grupo.

CSb_i	Longitude $CSb_i - X_i$	Latitude $CSb_i - Y_i$	C_{kz}	Longitude $C_{kz} - X_i$	Latitude $C_{kz} - Y_i$	A ***	A em km	B = 2 * A	C	q_i	N = q_i/CP	D = B * N	E = C * N	F = D + E
CSb_1	42864821	21990375	C_{11}	43173588	22385705	501620	47	94	3	4,55	5	473	15	488
CSb_2	43194352	22101947	C_{11}	43173588	22385705	284517	27	53	3	32,35	36	1908	108	2016
CSb_3	43222398	22038443	C_{11}	43173588	22385705	350675	33	65	3	2,40	3	174	8	182
CSb_4	43303843	22169490	C_{11}	43173588	22385705	252419	24	47	3	14,45	16	756	48	804
CSb_5	43166743	22484574	C_{11}	43173588	22385705	99106	9	18	3	155,70	173	3199	519	3718
CSb_6	43107898	22235566	C_{11}	43173588	22385705	163881	15	31	3	3,05	3	104	10	114
Distância total percorrida da opção de particionamento $k = 1$ grupo														7.322

Distância euclidiana obtida por meio da Eq. 5.1; A: distância euclidiana; *** Cada 128649 = 12 km; B: Distância de transferência em km; C: distância de coleta em km; q_i : quantidade coletada de resíduos recicláveis em cada sub-região Sb_i em toneladas; N: número de viagens mensais necessárias; CP: capacidade do veículo-tipo = 900 kg; D: distância total de transferência em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i ; E: distância total de coleta em km em cada sub-região Sb_i ; F: distância total percorrida em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i até os respectivos centros de triagem C_{kz} .

Tabela A8.2: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 2$ grupos.

CSbi	Longitude CSbi - X_i	Latitude CSbi - Y_i	C_{kz}	Longitude $C_{kz} - X_i$	Latitude $C_{kz} - Y_i$	A ***	A em km	B = 2 * A	C	q_i	N = q_i/CP	D = B * N	E = C * N	F = D + E
CSb_1	42864821	21990375	C_{21}	43192352	22114684	350328	33	65	3	4,55	5	330	15	346
CSb_2	43194352	22101947	C_{21}	43192352	22114684	12893	1	2	3	32,35	36	86	108	194
CSb_3	43222398	22038443	C_{21}	43192352	22114684	81948	8	15	3	2,40	3	41	8	49
CSb_4	43303843	22169490	C_{21}	43192352	22114684	124234	12	23	3	14,45	16	372	48	420
CSb_6	43107898	22235566	C_{21}	43192352	22114684	147462	14	28	3	3,05	3	93	10	103
Distância total percorrida no grupo GP_{21}														1.112
CSb_5	43166743	22484574	C_{22}	43166743	22484574	0	0	0	3	155,70	173	0	519	519
Distância total percorrida no grupo GP_{22}														519
Distância total percorrida da opção de particionamento $k = 2$ grupos														1.631

Distância euclidiana obtida por meio da Eq. 5.1; A: distância euclidiana, *** Cada 128649 = 12 km; B: Distância de transferência em km; C: distância de coleta em km; q_i : quantidade coletada de resíduos recicláveis em cada sub-região Sb_i em toneladas; N: número de viagens mensais necessárias; CP: capacidade do veículo-tipo = 900 kg; D: distância total de transferência em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i ; E: distância total de coleta em km em cada sub-região Sb_i ; F: distância total percorrida em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i até os respectivos centros de triagem C_{kz} .

Tabela A8.3: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 3$ grupos.

CSb_i	Longitude $CSb_i - X_i$	Latitude $CSb_i - Y_i$	C_{kz}	Longitude $C_{kz} - X_i$	Latitude $C_{kz} - Y_i$	A ***	A em km	B = 2 * A	C	q_i	N = q_i/CP	D = B * N	E = C * N	F = D + E
CSb_1	42864821	21990375	C_{31}	43197144	22107825	352467	33	66	3	4,55	5	332	15	348
CSb_2	43194352	22101947	C_{31}	43197144	22107825	6508	1	1	3	32,35	36	44	108	151
CSb_3	43222398	22038443	C_{31}	43197144	22107825	73835	7	14	3	2,40	3	37	8	45
CSb_4	43303843	22169490	C_{31}	43197144	22107825	123237	11	23	3	14,45	16	369	48	417
Distância total percorrida no grupo GP_{31}														961
CSb_5	43166743	22484574	C_{32}	43166743	22484574	0	0	0	3	155,7	173	0	519	519
Distância total percorrida no grupo GP_{32}														519
CSb_6	43107898	22235566	C_{33}	43107898	22235566	0	0	0	3	3,05	3	0	10	10
Distância total percorrida no grupo GP_{33}														10
Distância total percorrida da opção de particionamento $k = 3$ grupos														1.490

Distância euclidiana obtida por meio da Eq. 5.1; A: distância euclidiana; *** Cada 128649 = 12 km; B: Distância de transferência em km; C: distância de coleta em km; q_i : quantidade coletada de resíduos recicláveis em cada sub-região Sb_i em toneladas; N: número de viagens mensais necessárias; CP: capacidade do veículo-tipo = 900 kg; D: distância total de transferência em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i ; E: distância total de coleta em km em cada sub-região Sb_i ; F: distância total percorrida em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i até os respectivos centros de triagem C_{kz} .

Tabela A8.4: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 4$ grupos.

CSb_i	Longitude $CSb_i - X_i$	Latitude $CSb_i - Y_i$	C_{kz}	Longitude $C_{kz} - X_i$	Latitude $C_{kz} - Y_i$	A ***	A em km	B = 2 * A	C	q_i	N = q_i/CP	D = B * N	E = C * N	F = D + E
CSb_1	42864821	21990375	C_{41}	42864821	21990375	0	0	0	3	4,55	5	0	15	15
Distância total percorrida no grupo GP_{41}														15
CSb_2	43194352	22101947	C_{42}	43189197	22108696	8493	1	2	3	32,35	36	57	108	165
CSb_3	43222398	22038443	C_{42}	43189197	22108696	77703	7	14	3	2,40	3	39	8	47
CSb_6	43107898	22235566	C_{42}	43189197	22108696	150684	14	28	3	3,05	3	95	10	105
Distância total percorrida no grupo GP_{42}														317
CSb_4	43303843	22169490	C_{43}	43303843	22169490	0	0	0	3	14,45	16	0	48	48
Distância total percorrida no grupo GP_{43}														48
CSb_5	43166743	22484574	C_{44}	43166743	22484574	0	0	0	3	155,70	173	0	519	519
Distância total percorrida no grupo GP_{44}														519
Distância total percorrida da opção de particionamento $k = 4$ grupos														899

Distância euclidiana obtida por meio da Eq. 5.1; A: distância euclidiana; *** Cada 128649 = 12 km; B: Distância de transferência em km; C: distância de coleta em km; q_i : quantidade coletada de resíduos recicláveis em cada sub-região Sb_i em toneladas; N: número de viagens mensais necessárias; CP: capacidade do veículo-tipo = 900 kg; D: distância total de transferência em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i ; E: distância total de coleta em km em cada sub-região Sb_i ; F: distância total percorrida em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i até os respectivos centros de triagem C_{kz} .

Tabela A8.5: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 5$ grupos.

CSb_i	Longitude $CSb_i - X_i$	Latitude $CSb_i - Y_i$	C_{kz}	Longitude $C_{kz} - X_i$	Latitude $C_{kz} - Y_i$	A ***	A em km	B = 2 * A	C	q_i	N = q_i/CP	D = B * N	E = C * N	F = D + E
CSb_1	42864821	21990375	C_{51}	43153719	22088189	305008	28	57	3	4,55	5	288	15	303
CSb_2	43194352	22101947	C_{51}	43153719	22088189	42899	4	8	3	32,35	36	288	108	395
Distância total percorrida no grupo GP_{51}														698
CSb_3	43222398	22038443	C_{52}	43222398	22038443	0	0	0	3	2,40	3	0	8	8
Distância total percorrida no grupo GP_{52}														8
CSb_4	43303843	22169490	C_{53}	43303843	22169490	0	0	0	3	14,45	16	0	48	48
Distância total percorrida no grupo GP_{53}														48
CSb_5	43166743	22484574	C_{54}	43166743	22484574	0	0	0	3	155,70	173	0	519	519
Distância total percorrida no grupo GP_{54}														519
CSb_6	43107898	22235566	C_{55}	43107898	22235566	0	0	0	3	3,05	3	0	10	10
Distância total percorrida no grupo GP_{55}														10
Distância total percorrida da opção de particionamento $k = 5$ grupos														1.283

Distância euclidiana obtida por meio da Eq. 5.1; A: distância euclidiana; *** Cada 128649 = 12 km; B: Distância de transferência em km; C: distância de coleta em km; q_i : quantidade coletada de resíduos recicláveis em cada sub-região Sb_i em toneladas; N: número de viagens mensais necessárias; CP: capacidade do veículo-tipo = 900 kg; D: distância total de transferência em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i ; E: distância total de coleta em km em cada sub-região Sb_i ; F: distância total percorrida em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i até os respectivos centros de triagem C_{kz} .

Tabela A8.6: Cálculo da distância total percorrida pela frota para a opção de particionar em $k = 6$ grupos.

CSbi	Longitude CSbi - X_i	Latitude CSbi - Y_i	C_{kz}	Longitude $C_{kz} - X_i$	Latitude $C_{kz} - Y_i$	A ***	A em km	B = 2 * A	C	q_i	N = q_i/CP	D = B * N	E = C * N	F = D + E
CSb_1	42864821	21990375	C_{61}	42864821	21990375	0	0	0	3	4,55	5	0	15	15
Distância total percorrida no grupo GP_{61}														15
CSb_3	43222398	22038443	C_{62}	43222398	22038443	0	0	0	3	2,40	3	0	8	8
Distância total percorrida no grupo GP_{62}														8
CSb_4	43303843	22169490	C_{63}	43303843	22169490	0	0	0	3	14,45	16	0	48	48
Distância total percorrida no grupo GP_{63}														48
CSb_5	43166743	22484574	C_{64}	43166743	22484574	0	0	0	3	155,70	173	0	519	519
Distância total percorrida no grupo GP_{64}														519
CSb_6	43107898	22235566	C_{65}	43107898	22235566	0	0	0	3	3,05	3	0	10	10
Distância total percorrida no grupo GP_{65}														10
CSb_2	43194352	22101947	C_{66}	43194352	22101947	0	0	0	3	32,35	36	0	108	108
Distância total percorrida no grupo GP_{66}														108
Distância total percorrida da opção de particionamento $k = 6$ grupos														708

Distância euclidiana obtida por meio da Eq. 5.1; A: distância euclidiana, *** Cada 128649 = 12 km; B: Distância de transferência em km; C: distância de coleta em km; q_i : quantidade coletada de resíduos recicláveis em cada sub-região Sb_i em toneladas; N: número de viagens mensais necessárias; CP: capacidade do veículo-tipo = 900 kg; D: distância total de transferência em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i ; E: distância total de coleta em km em cada sub-região Sb_i ; F: distância total percorrida em km para transporte dos resíduos recicláveis de cada sub-região Sb_i até os respectivos centros de triagem C_{kz} .

Anexo IX: Cálculo de T e W para os particionamentos em $k = 2, \dots, 5$ grupos.

Tabela A9.1: Cálculo de T para os particionamento $k = 2, \dots, 5$ grupos.

CSb_i	Longitude $CSb_i - X_i$	Latitude $CSb_i - Y_i$	C_{kz}	Longitude $C_{kz} - X_i$	Latitude $C_{kz} - Y_i$	A	A^2
CSb_1	42864821	21990375	C_{11}	43173588	22385705	501620	251623084473
CSb_2	43194352	22101947	C_{11}	43173588	22385705	284517	80949899890
CSb_3	43222398	22038443	C_{11}	43173588	22385705	350675	122973133689
CSb_4	43303843	22169490	C_{11}	43173588	22385705	252419	63715383711
CSb_5	43166743	22484574	C_{11}	43173588	22385705	99106	9821984159
CSb_6	43107898	22235566	C_{11}	43173588	22385705	163881	26856895421
Valor de T (somatório).....							555940381343

T: somatório do quadrado das distâncias dos centróides CSb_i até o centróide de toda a base; Cálculo de T segundo Eq. 5.7; A: distância euclidiana; A^2 : distância euclidiana ao quadrado;

Tabela A9.2: Cálculo de W para o particionamento em $k = 2$ grupos.

CSb_i	Longitude $CSb_i - X_i$	Latitude $CSb_i - Y_i$	C_{kz}	Longitude $C_{kz} - X_i$	Latitude $C_{kz} - Y_i$	A	A^2
CSb_1	42864821	21990375	C_{21}	43192352	22114684	350328	122729489891
CSb_2	43194352	22101947	C_{21}	43192352	22114684	12893	166237721
CSb_3	43222398	22038443	C_{21}	43192352	22114684	81948	6715400155
CSb_4	43303843	22169490	C_{21}	43192352	22114684	124234	15434042722
CSb_5	43166743	22484574	C_{22}	43166743	22484574	0	0
CSb_6	43107898	22235566	C_{21}	43192352	22114684	147462	21744936040
Valor de W (somatório).....							166790106530

W: somatório do quadrado das distâncias dos centróides CSb_i até os centróides dos respectivos grupos GP2z; Cálculo de W segundo Eq. 5.5; A: distância euclidiana; A^2 : distância euclidiana ao quadrado;

Tabela A9.3: Cálculo de W para o particionamento em $k = 3$ grupos.

CSb_i	Longitude $CSb_i - X_i$	Latitude $CSb_i - Y_i$	C_{kz}	Longitude $C_{kz} - X_i$	Latitude $C_{kz} - Y_i$	A	A^2
CSb_1	42864821	21990375	C_{31}	43197144	22107825	352467	124233287654
CSb_2	43194352	22101947	C_{31}	43197144	22107825	6508	42350368
CSb_3	43222398	22038443	C_{31}	43197144	22107825	73835	5451580456
CSb_4	43303843	22169490	C_{31}	43197144	22107825	123237	15187347325
CSb_5	43166743	22484574	C_{32}	43166743	22484574	0	0
CSb_6	43107898	22235566	C_{33}	43107898	22235566	0	0
Valor de W (somatório).....							144914565803

Tabela A9.4: Cálculo de W para o particionamento em $k = 4$ grupos.

CSb_i	Longitude $CSb_i - X_i$	Latitude $CSb_i - Y_i$	C_{kz}	Longitude $C_{kz} - X_i$	Latitude $C_{kz} - Y_i$	A	A^2
CSb_1	42864821	21990375	C_{41}	42864821	21990375	0	0
CSb_2	43194352	22101947	C_{42}	43189157	22108696	8517	72539167
CSb_3	43222398	22038443	C_{42}	43189157	22108696	77720	6040396477
CSb_4	43303843	22169490	C_{43}	43303843	22169490	0	0
CSb_5	43166743	22484574	C_{44}	43166743	22484574	0	0
CSb_6	43107898	22235566	C_{42}	43189157	22108696	150662	22699021981
Valor de W (somatório).....							28811957624

Tabela A9.5: Cálculo de W para o particionamento em $k = 5$ grupos.

CSb_i	Longitude $CSb_i - X_i$	Latitude $CSb_i - Y_i$	C_{kz}	Longitude $C_{kz} - X_i$	Latitude $C_{kz} - Y_i$	A	A^2
CSb_1	42864821	21990375	C_{51}	43153719	22088189	305008	93029814219
CSb_2	43194352	22101947	C_{51}	43153719	22088189	42899	1840302398
CSb_3	43222398	22038443	C_{52}	43222398	22038443	0	0
CSb_4	43303843	22169490	C_{53}	43303843	22169490	0	0
CSb_5	43166743	22484574	C_{54}	43166743	22484574	0	0
CSb_6	43107898	22235566	C_{55}	43107898	22235566	0	0
Valor de W (somatório).....							94870116617