



CONTRIBUIÇÕES PARA O INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DOS RESÍDUOS
ORGÂNICOS PROVENIENTES DA COLETA DOMICILIAR NA CIDADE DO RIO
DE JANEIRO

Ana Carolina Maia Angelo

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

Orientador: Rogerio de Aragão Bastos do Valle

Rio de Janeiro

Março de 2014

CONTRIBUIÇÕES PARA O INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DOS RESÍDUOS
ORGÂNICOS PROVENIENTES DA COLETA DOMICILIAR NA CIDADE DO RIO
DE JANEIRO

Ana Carolina Maia Angelo

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

Examinada por:

Prof. Rogerio de Aragão Bastos do Valle, D.Sc.

Prof. Carlos Alberto Nunes Cosenza, D.Sc.

Prof. Claudio Fernando Mahler, D.Sc.

Prof. José Antonio Assunção Peixoto, D.Sc.

Prof. Fernando Altino Medeiros Rodrigues, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2014

Angelo, Ana Carolina Maia

Contribuições para o Inventário do Ciclo de Vida dos Resíduos Orgânicos provenientes da Coleta Domiciliar na Cidade do Rio de Janeiro / Ana Carolina Maia Angelo. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

XII, 110 p.: il; 29,7 cm.

Orientador: Rogerio de Aragão Bastos do Valle

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE, Programa de Engenharia de Produção, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 98-101

1. Sustentabilidade. 2. Resíduos orgânicos 3. Avaliação do Ciclo de Vida. 4. Inventário do Ciclo de Vida. I. Valle, Rogerio de Aragão Bastos do. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

*“O teu olho é a lâmpada do corpo.
Se teu olho é bom, todo o teu corpo se encherá de luz.
Mas se ele é mau, todo o teu corpo se encherá de escuridão.
Se a luz que está em ti está apagada, imensa é a escuridão.”*

Jesus Cristo

Acredito que nada nos acontece por acaso. Sei que estou no lugar onde deveria estar, com a família e no lar que mereço, cercada pelas pessoas que cativei e energia que atraí. Por tudo isso, sou grata.

Sou grata por todos os obstáculos que passei nesses dois anos de mestrado, sou grata por cada palavra escrita neste trabalho, sou grata por poder expressar a minha gratidão.

Só tenho a agradecer a Deus, pois foi Ele:

- que me auxiliou quando tive que escolher o caminho a seguir;
- que colocou as pessoas certas e as pessoas erradas em minha trajetória. As certas me ajudaram a construir e as erradas, a evoluir;
- que me deu forças para seguir;
- que me guiou quando eu nada mais enxergava.

Ao Senhor, meu profundo agradecimento.
Espero continuar a ser merecedora de Suas bênçãos.

À minha família, meu eterno amor.

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

CONTRIBUIÇÕES PARA O INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DOS RESÍDUOS
ORGÂNICOS PROVENIENTES DA COLETA DOMICILIAR NA CIDADE DO RIO
DE JANEIRO

Ana Carolina Maia Angelo

Março/2014

Orientador: Rogério de Aragão Bastos do Valle

Programa: Engenharia de Produção

O gerenciamento adequado dos resíduos sólidos é um dos caminhos para o desenvolvimento sustentável desde que adotada a abordagem do ciclo de vida. Os resíduos sólidos orgânicos são fonte de gás metano, de outros poluentes para a atmosfera e lixiviado para o solo e corpos hídricos. Este trabalho tem como objetivo avaliar o gerenciamento da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro, sob as óticas do Pensamento do Ciclo de Vida e da Política Nacional de Resíduos Sólidos, visando auxiliar a tomada de decisão orientada ao desenvolvimento sustentável. Para isso foi elaborado o Inventário do Ciclo de Vida dos resíduos sólidos domiciliares, a partir do qual foi possível avaliar o modelo atual de gerenciamento dos resíduos. Menos de 3% da matéria orgânica é reciclada, o qual gera um composto inapropriado para fins agrícolas e o restante segue para disposição em aterro sanitário. Existem muitas lacunas de informação com relação aos dados dos processos de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos domiciliares na cidade, o que dificulta a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. Foi identificada a relevância do transporte no sistema de gerenciamento dos resíduos da cidade, o que sinaliza que a coleta e o encaminhamento dos resíduos ao aterro sanitário são fonte de potenciais impactos ao meio ambiente.

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

CONTRIBUTIONS TO THE LIFE CYCLE INVENTORY OF BIO-WASTE IN THE
CITY OF RIO DE JANEIRO

Ana Carolina Maia Angelo

March/2014

Advisor: Rogério de Aragão Bastos do Valle

Department: Production Engineering

The solid waste management is one of the pathways to sustainable development since the life cycle perspective is adopted. The organic waste is a source of methane, other pollutants into the air and leachate into the soil and water bodies. This study aims to analyze the bio-waste management in the city of Rio de Janeiro under the Life Cycle Thinking and the National Solid Waste Policy, in order to help the decision process oriented to sustainable development. The Life Cycle Inventory has been developed, from which it was possible to assess the current waste management in the city of Rio de Janeiro. Less than 3 % of organic matter is recycled by composting, which generates an inappropriate compost for agricultural purposes. The others 97% is landfilled. There are many information gaps related to the processes of data collection, transportation, treatment and final disposal of solid waste in the city, which affect the decision-making process. The relevance of transport in the waste management system of the city is identified as a source of potential environmental impacts due to the great distance from the downtown to the sanitary landfill.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	Apresentação do tema e problema de pesquisa.....	3
1.2.	Objetivos geral e específico	5
1.3.	Limitações da pesquisa	5
1.4.	Metodologia.....	6
1.5.	Estrutura do trabalho.....	8
2.	RESÍDUOS E SOCIEDADE	9
2.1.	Resíduos e a Sociedade de Risco.....	9
2.2.	Resíduos e Desenvolvimento Sustentável	10
2.3.	Definição de Resíduos Sólidos	12
3.	GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	17
3.1.	Evolução e importância do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.....	17
3.2.	Gerenciamento dos Resíduos Sólidos nos países em desenvolvimento	19
3.3.	A hierarquia dos resíduos	21
3.4.	Gerenciamento dos Resíduos Orgânicos	23
3.4.1.	Definição de Resíduos Sólidos Orgânicos	23
3.4.2.	Métodos de tratamento dos resíduos orgânicos.....	25
4.	O PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA	31
4.1.	Conceito de Pensamento do Ciclo de Vida.....	31
4.2.	O Pensamento do Ciclo de Vida aplicado em resíduos	33
4.3.	A Avaliação do Ciclo de Vida aplicada em resíduos.....	35
4.3.1.	A Avaliação do Ciclo de Vida aplicada aos biorresíduos	39
5.	PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL.....	46
5.1.	Política Nacional de Resíduos Sólidos	46
5.2.	Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, estado e cidade do RJ.....	50
6.	RESULTADOS	56
6.1.	Gerenciamento dos Resíduos Domiciliares da cidade do RJ.....	56
6.2.	Inventário do ciclo de vida.....	73
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
7.1.	Avaliação do gerenciamento dos resíduos orgânicos da cidade	92
7.2.	Conclusão, Recomendações e Sugestão para trabalhos futuros	96
	ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da metodologia da dissertação	6
Figura 2 - Hierarquia dos Resíduos	21
Figura 3 - Principais fontes de resíduos orgânicos	24
Figura 4 - Hierarquia dos resíduos aplicada aos resíduos orgânicos	25
Figura 5 - Ciclo de vida de um produto	32
Figura 6 - Foco PCV convencional x PCV de resíduos	35
Figura 7 - Principais itens da estrutura da ACV	36
Figura 8 - Como considerar o PCV na tomada de decisão em GRS	40
Figura 9 - Orientações para gerenciamento dos biorresíduos.....	43
Figura 10 - Geração <i>per capita</i> de RSU (kg/dia).....	51
Figura 11 - Composição dos RSU	51
Figura 12 - Composição dos RSU do estado do RJ por perfil de município.....	53
Figura 13 - Participação dos setores na emissão de GEE na cidade do RJ	54
Figura 14 - Representação do sistema de produto	57
Figura 15 - Processos envolvidos no gerenciamento dos RSD da cidade do RJ.....	58
Figura 16 - Mapa município do Rio de Janeiro por Áreas de Planejamento.....	59
Figura 17 - Resíduos Sólidos coletados pela Comlurb em 2012.....	60
Figura 18 - Geração diária de RS na cidade do Rio de Janeiro	61
Figura 19 - Caracterização dos RSD coletados na cidade do RJ (ano 2013)	62
Figura 20 - Frota coleta domiciliar por tipo de caminhão compactador	63
Figura 21 - Alguns veículos utilizados pela Comlurb	63
Figura 22 - Triciclo em viela	64
Figura 23 - Trator 4x4	64
Figura 24 - Mini basculante de 3m ³	65
Figura 25 - Mini pá carregadeira	65
Figura 26 - Logística de transferência dos resíduos na cidade do RJ.....	66
Figura 27 - Processos da ETR do Caju.....	68
Figura 28 - Biodigestores do Caju	70
Figura 29 - Distribuição da matéria orgânica por AP (ano 2012)	74
Figura 30 - Participação da matéria orgânica por AP.....	74
Figura 31 - Distribuição da matéria orgânica por RA na AP 1 (ano 2012).....	75
Figura 32 - Participação da matéria orgânica por RA na AP 1	75
Figura 33 - Distribuição da matéria orgânica por RA na AP 2 (ano 2012).....	76
Figura 34 - Participação da matéria orgânica por RA na AP 2	76
Figura 35 - Distribuição da matéria orgânica por RA na AP 3 (ano 2012).....	77
Figura 36 - Participação da matéria orgânica por RA na AP 3	78
Figura 37 - Distribuição da matéria orgânica por RA na AP 4 (ano 2012).....	78
Figura 38 - Participação da matéria orgânica por RA na AP 4	79
Figura 39 - Distribuição da matéria orgânica por RA na AP 5 (ano 2012).....	79
Figura 40 - Participação da matéria orgânica por RA na AP 5	80
Figura 41 - Dispersão das RAs por participação da matéria orgânica.....	81
Figura 42 - Fluxo dos resíduos orgânicos provenientes da coleta domiciliar	84

Figura 43 - Distribuição dos RSD por ETR	85
Figura 44 - Perfil de recebimento dos RSD da ETR do Caju.....	85
Figura 45 - Participação de cada destino dos RSD coletados na AP 5.....	86
Figura 46 - Participação da matéria orgânica por ETR	86
Figura 47 - ETRs de Marechal Hermes e Santa Cruz.....	88
Figura 48 - Destinação final dos RS do município do RJ	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características dos Resíduos Sólidos	15
Tabela 2 - Principais métodos de tratamento dos biorresíduos	29
Tabela 3 - Geração, coleta e destinação final dos RSU no Brasil	50
Tabela 4 - Ranking das 10 maiores RAs por geração de matéria orgânica (ano 2012)..	80
Tabela 5 - Inventário da Coleta	82
Tabela 6 - Inventário Transbordo e Tratamento	87
Tabela 7 - Inventário Disposição Final.....	90
Tabela 8 - Diretrizes do PMGIRS do RJ vs. Diretrizes do Plano Nacional de RS.....	92
Tabela 9 - Metas do Plano Nacional de RS x PMGIRS do RJ quanto à redução dos RSU úmidos em aterros.....	93

LISTA DE SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AC	Aterro Controlado
AP	Área de Planejamento
AS	Aterro Sanitário
ASCV	Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida
CCV	Custeio do Ciclo de Vida
CS	Coleta Seletiva
ETR	Estação de Transferência de Resíduos
FORSU	Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos
GEE	Gases de Efeito Estufa
GG	Grandes Geradores
GRS	Gerenciamento dos Resíduos Sólidos
GRSU	Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
LP	Limpeza Pública
MO	Matéria orgânica
MOP	Matéria orgânica putrescível
PCV	Pensamento do Ciclo de Vida
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RA	Região Administrativa
RCC	Resíduos da Construção Civil
RSD	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
RSS	Resíduos de Serviços de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

1. INTRODUÇÃO

Ao avaliar a história das sociedades, verifica-se que a relação de dominação entre o homem e a natureza se dá muito antes da modernidade. Quando se pensa na evolução do ser humano bem como no processo de complexificação das sociedades, a relação do homem com o meio ambiente está atrelada à evolução do uso da energia à medida que as técnicas de apropriação energética foram e são baseadas em relações de exploração da natureza (HEMERY *et al.*, 1993). Adicionalmente, as atividades antrópicas sempre estiveram relacionadas à geração de resíduos que, associada à histórica relação de exploração da natureza, resultam em intensa pressão nos ecossistemas e degradação ambiental, intensificadas após a consolidação da sociedade industrial.

São inúmeras as discussões acerca da atuação predatória do ser humano sobre o meio ambiente e a principal delas está na finitude dos recursos naturais. Entretanto, valendo-se do sentido figurado, o ponto nevrálgico da relação homem/meio ambiente não está no esgotamento dos recursos naturais, mas sim nos sumidouros, pois a dinâmica de preços do sistema capitalista permite a substituição de mercadorias e materiais, porém os resíduos continuam sendo gerados e absorvidos pelos ecossistemas.

Georgescu-Roegen (1971) corrobora essa linha de pensamento quando evidencia que a inteligência humana, na crença da continuidade incessante do crescimento econômico, constrói um mundo totalmente alheio à noção de entropia¹ à medida que considera a superação dos limites dos ecossistemas pelo progresso técnico, pelo capital e pelo trabalho, de forma que preocupações com o meio ambiente se tornam injustificáveis perante a maximização do crescimento econômico. Em outras palavras, a intensa exploração de recursos naturais e a geração inevitável de resíduos geram o aumento da entropia do planeta, e irreversivelmente, da energia degradada.

¹ O termo entropia é visto na segunda lei da termodinâmica, chamada de Lei da Entropia, a qual considera que há perda de energia em seu processo espontâneo de transformação. Além disso, também é usado como índice geral da desordem (ODUM, 1988). Georgescu-Roegen (1971) traz o conceito de entropia para expor as contradições dos modelos econômicos vigentes, no sentido de considerar que o sistema econômico não é um sistema cujo mecanismo de alimentação se dá de forma circular e sem perdas, pelo contrário, apresenta-se como um sistema linear e aberto caracterizado pela entrada de recursos naturais e saída de resíduos, resultando em ecossistemas maiores e complexos, e consequentemente, maiores custos energético de manutenção e entropia.

Lago & Padua (1984) criticam esse modelo de crescimento que, além de ignorar a existência de limites ecológicos, cresce em função de sua própria dinâmica interna, onde o crescimento é um fim e não um meio. Nesse sentido, a dinâmica do capitalismo contribui substancialmente para a geração de resíduos. A produção em larga escala, a competição dos mercados e a existência de uma sociedade com alto padrão de consumo reduzem a durabilidade dos produtos, fazendo com que seja mais barato comprar um novo produto do que tentar reaproveitá-lo, o que significa que cada vez mais surgem produtos com taxas decrescentes de utilidade, resultando em um desperdício de recursos (MESZÁROS, 2002).

Adicionalmente, a dinâmica capitalista traz consigo um paradoxo de falsas necessidades, pois novas necessidades são criadas a todo o momento, com a prerrogativa de satisfação do ser humano. Todos os seres possuem necessidades básicas e para satisfazê-las contam exclusivamente com recursos encontrados no meio ambiente. Diferentemente dos demais seres vivos, a atuação do homem no ambiente não é só para satisfação de suas necessidades básicas, ou seja, somente para garantia de sua subsistência. Mandeville *apud* Meszáros (2002) salienta que são inúmeras as necessidades do homem, resultando em um consumo muito além de suas necessidades elementares e um modo de vida marcado pela acumulação ilimitada de bens materiais.

Considerando a capacidade de suporte dos ecossistemas, ou seja, a quantidade de biomassa que pode ser sustentada por um ecossistema em condições de equilíbrio, a racionalidade capitalista de criação de falsas necessidades produz um dos maiores problemas da sociedade moderna: a geração e o tratamento dos resíduos.

É sabido que a geração de resíduos possui forte correlação com o crescimento populacional e a concentração demográfica, mas acima de tudo está intimamente ligada à renda, de modo que quanto maior o padrão de vida e rendimento da sociedade maior a geração de resíduos. Este consiste em sério problema e torna-se um grande desafio para a sociedade na busca por soluções que possam ser consideradas sustentavelmente adequadas do ponto de vista ambiental, econômico e social (GODECKE, 2010).

Desta maneira, vale ressaltar que a problemática dos resíduos pode ser potencialmente agravada em função da disparidade existente entre as sociedades. Os países em desenvolvimento, por exemplo, buscam obter os padrões econômicos dos países

desenvolvidos, o que se traduz em economias voltadas cada vez mais para o aumento do consumo² e acumulação de capital. Dados do World Bank (2012) revelam que as principais cidades do mundo geram em torno de 1,3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos por ano e as projeções apontam para um volume gerado de 2,2 bilhões de toneladas em 2025. Nos países em desenvolvimento, as taxas de geração de resíduos vão crescer mais que o dobro nos próximos 20 anos.

A problemática dos resíduos, portanto, envolve múltiplos fatores que muitas vezes associam-se potencializando ainda mais essa questão. Mesmo a parcela de resíduos que é intrínseca às necessidades elementares do homem, como os resíduos orgânicos, torna-se um grave problema para o meio ambiente em função da cultura de maximização vivida pela sociedade.

1.1. Apresentação do tema e problema de pesquisa

As reflexões do ser humano sobre os impactos de suas atividades no meio ambiente não são tão recentes. Durante as décadas de 60 e 70, marcadas pelo enorme avanço industrial e degradação do meio ambiente durante a segunda Guerra Mundial, houve significativa expansão dos debates e da movimentação social entorno da temática ambiental que resultaram em marcos importantes, como: a criação da NEPA (*National Environmental Policy Act*) em 1969, a realização da Conferência de Estocolmo em 1972, da Eco92 vinte anos mais tarde, a assinatura do Protocolo de Quioto e a Rio+20 em 2012.

Mesmo com tantas iniciativas de âmbito global para minimizar os impactos gerados pelas atividades antrópicas, ainda são necessárias transformações significativas no sentido de mudança de paradigma, de padrões de produção e consumo. E foi, a partir dessa reflexão sobre a latente necessidade de mudança de paradigma da sociedade, que surgiu o tema desta dissertação, com o intuito de abordar um dos mais graves problemas da Modernidade: os resíduos sólidos; desde a geração e tratamento até a disposição final.

² Países em desenvolvimento como o Brasil ainda estão cumprindo as promessas da Modernidade e uma delas é a inclusão de mais pessoas no mercado consumidor.

A indagação motivadora desta pesquisa parte de uma visão mais pontual da problemática dos resíduos sólidos que é a geração e tratamento dos resíduos orgânicos, pois estes fazem parte do mecanismo de sobrevivência do ser humano e, por isso, sua geração é inevitável. Ademais, contribuem fortemente para o efeito estufa, pois seu processo natural de digestão emite gás metano (CH₄), cujo potencial de aquecimento global³ é 28 vezes superior ao dióxido de carbono (CO₂) (IPCC, 2013).

No Brasil, cuja legislação orientadora representada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos data de 2010, a temática dos resíduos apresenta-se com extrema relevância visto que seu gerenciamento ainda é incipiente. Neste contexto incluem-se os resíduos orgânicos como uma das principais diretrizes do gerenciamento de resíduos sólidos do país a fim de reduzir a disposição de resíduos úmidos em aterros sanitários. Com isso, sistemas de compostagem bem como geração de energia, a partir do aproveitamento dos gases produzidos pela biodigestão da matéria orgânica, também são vistos como pontos estratégicos nos níveis estaduais e municipais.

Assim, o problema de pesquisa para o qual esta dissertação pretende responder é: *Quais são as alternativas de tratamento de resíduos orgânicos mais adequadas, sob a ótica do Pensamento do Ciclo de Vida, que podem ser aplicadas na cidade do Rio de Janeiro a fim proporcionar uma gestão de resíduos sólidos urbanos mais sustentável com base na Política Nacional de Resíduos Sólidos?*

Com geração de aproximadamente 10 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) por dia, a cidade do Rio de Janeiro é a segunda maior geradora de resíduos sólidos do Brasil, estando atrás apenas de São Paulo – a maior cidade do país. Tornou-se foco da atenção mundial por ser a sede dos próximos Jogos Olímpicos que ocorrerão em 2016 e, por isso, está vivendo um momento muito singular em termos de transformações culturais (ex. Programa Lixo Zero), de infraestrutura e de investimentos.

³ Potencial de Aquecimento Global do Metano do IPCC para o horizonte de 100 anos: Segundo Relatório de Mudanças Climáticas 1995 (SAR) = 21; Quarto Relatório de Mudanças Climáticas 2007 (AR4) = 25; Quinto Relatório de Mudanças Climáticas 2013 (AR5) = 28.

1.2. Objetivos geral e específico

O objetivo deste estudo é, portanto, avaliar o gerenciamento da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro, sob as óticas do Pensamento do Ciclo de Vida e da Política Nacional de Resíduos Sólidos, visando auxiliar a tomada de decisão orientada ao desenvolvimento sustentável.

Para atingir o objetivo geral desta dissertação, são previstos os seguintes objetivos específicos:

- Elaborar um diagnóstico do gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares da cidade a partir do Inventário do Ciclo de Vida;
- Avaliar esse gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares, com base no Pensamento do Ciclo de Vida e nas diretrizes trazidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos;
- Indicar elementos de apoio à tomada de decisão em gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares.

É importante ressaltar que, embora o objetivo geral deste trabalho tenha como foco a matéria orgânica, os objetivos específicos não se limitam a ela porque o sistema de coleta dos resíduos sólidos domiciliares do município do Rio de Janeiro é predominantemente misto, o que significa que não há separação dos resíduos na fonte geradora. Dessa forma, é necessário avaliar o gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares como um todo, para que se tenha a avaliação do gerenciamento da fração orgânica.

1.3. Limitações da pesquisa

Esta dissertação limitar-se-á ao estudo da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares gerados no município do Rio de Janeiro. Com isso, não se pretende:

- Esgotar ou revisar totalmente a bibliografia sobre a legislação que envolve a temática de resíduos;
- Avaliar o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos;

- Elaborar a Avaliação do Ciclo de Vida das opções de tratamento dos resíduos orgânicos;
- Elaborar um plano de gestão dos resíduos orgânicos para a cidade do Rio de Janeiro.

1.4. Metodologia

O trabalho foi realizado por pesquisa bibliográfica e visitas a campo. Para alcance do objetivo geral desta pesquisa, assim como dos objetivos específicos, foi feita uma revisão da principal bibliografia existente acerca da temática não só dos resíduos orgânicos como também dos resíduos em geral, incluindo consulta a documentos públicos do Governo Federal, do município do Rio de Janeiro, publicações da União Europeia, que é bastante avançada na questão em gerenciamento de resíduos sólidos (GRS), e artigos. O esquema ilustrado na Figura 1 evidencia os objetivos dessa pesquisa e como foram alcançados:

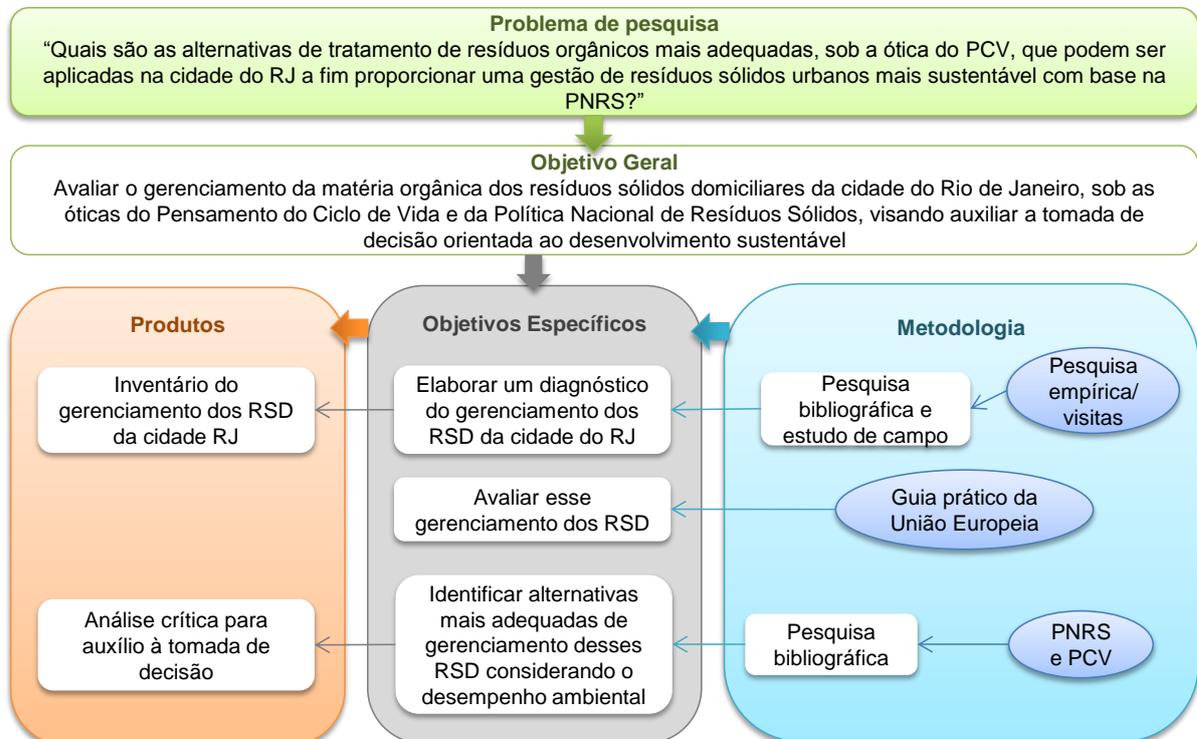


Figura 1 - Representação esquemática da metodologia da dissertação

Fonte: Elaboração própria.

O diagnóstico do gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro deu-se por pesquisa bibliográfica, consulta a documentos públicos municipais e visitas às instalações de transferência de resíduos da cidade. Como resultado desse diagnóstico, foi elaborado o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) dos resíduos sólidos domiciliares da cidade.

A etapa de avaliação do gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares foi realizada a partir das orientações contidas em um Guia Prático de Gerenciamento de Biorresíduos, elaborado em 2011 pela Comissão Europeia, cujo principal objetivo é auxiliar a tomada de decisão para um gerenciamento de biorresíduos com melhor desempenho ambiental a partir da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida.

Após a etapa de avaliação, foram identificadas as formas de gerenciamento da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares mais adequadas ao contexto da cidade, tomando como base a Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Pensamento do Ciclo de Vida. Por fim, o produto final desta dissertação consiste em uma análise crítica desse gerenciamento, onde serão pontuados os desafios e oportunidades de melhoria visando um melhor desempenho ambiental do gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares do município do Rio de Janeiro.

1.5. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos: cinco com abordagem teórica e dois para apresentação e avaliação dos resultados. A ordenação da parte teórica foi construída de acordo com a lógica do mapa conceitual apresentado no anexo 1.

O **primeiro capítulo** compõe a parte introdutória, onde são apresentados o tema, o problema de pesquisa, os objetivos geral e específicos, as limitações da pesquisa, a metodologia e a estrutura do trabalho.

O **segundo capítulo** traz a definição de resíduo e reflexões acerca da questão dos resíduos no contexto da sociedade de risco e do desenvolvimento sustentável.

O **terceiro capítulo** trata do gerenciamento de resíduos sólidos, desde as suas origens até as barreiras encontradas pelos países em desenvolvimento na implementação de uma gestão adequada dos resíduos. Traz, também, os principais aspectos do gerenciamento dos resíduos orgânicos, que são foco deste trabalho.

O **quarto capítulo** aborda o conceito de Pensamento do Ciclo de Vida e como ele pode ser introduzido no gerenciamento de resíduos a partir da aplicação de sua metodologia quantitativa de avaliação do desempenho ambiental: a Avaliação do Ciclo de Vida, onde são apresentados aspectos do modelo de gerenciamento dos biorresíduos elaborado pela Comissão Europeia.

O **quinto capítulo** aborda as principais considerações abarcadas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos e o estado da arte dos resíduos sólidos do país, do estado e do município do Rio de Janeiro.

Já o **sexto capítulo** traz os resultados do Inventário do Ciclo de Vida, onde é apresentado um diagnóstico detalhado do gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos provenientes dos domicílios da cidade do Rio de Janeiro.

Por fim, o **sétimo capítulo** traz a avaliação do gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares a partir dos resultados do Inventário, a conclusão final e sugestões para trabalhos futuros.

2. RESÍDUOS E SOCIEDADE

Este capítulo traz a relação entre a geração e tratamento de resíduos, a sociedade de risco e o desenvolvimento sustentável. Também são apresentadas as definições de resíduos bem como sua diferenciação dos rejeitos.

2.1. Resíduos e a Sociedade de Risco

Segundo Drackner (2005), o lixo pode ser visto sob diversas óticas, entre as quais se destacam: o lixo visto como um risco, como um ativo ou, até mesmo, como um problema de alguém. A primeira percepção, que será mais detalhada a seguir, é facilmente entendida quando analisado o conceito de sociedade de risco trazido por Ulrich Beck em seu livro “Sociedade de Risco: rumo a uma nova modernidade” publicado na Alemanha em 1986. Com relação à segunda percepção, o autor refere-se ao fato de muitas pessoas tirarem seu sustento do lixo e, por isso, o considerar como uma benção vinda dos Céus. Já a terceira percepção envolve a crença de que tanto as deficiências de um sistema de gestão de resíduos quanto a culpa pela geração do lixo são atribuídas a alguém, ou seja, a uma terceira pessoa.

A questão do lixo envolve e atinge múltiplos atores, mas, embora verdadeiro, este pensamento não é compartilhado por todos. Essa última percepção, de que o lixo é um problema de alguém, mostra a falta de consciência da sociedade. Ainda segundo Drackner (2005), pouquíssimas pessoas veem relação do seu comportamento de consumo com o montante de lixo produzido, de modo que não seria possível reduzir o volume de lixo gerado em suas residências, o que significa que há uma isenção de obrigação por parte das pessoas com relação à problemática do lixo no sentido de que elas não se sentem responsabilizadas por sua geração e disposição/ tratamento.

O problema é que a intensa geração de resíduos bem como sua inadequada destinação são potencialmente nocivas ao meio ambiente e à humanidade em virtude da gravidade e extensão dos riscos envolvidos. Riscos estes que vão se acumulando em complexidade e tamanho ao longo de gerações.

Entende-se como risco algo que ainda não ocorreu, mas com potencial de ocorrer no futuro. Um risco apresenta-se como um problema quando suas previsões tornam-se

realidade ou quando seus efeitos, anteriormente desconhecidos, revelam-se negativos. A sociedade só é capaz de perceber os riscos quando estes se tornam problemas, e a partir daí a busca por mudanças dá-se de forma reativa e não proativa (DRACKNER, 2005).

Os processos de industrialização e modernização trouxeram para a humanidade ameaças e perigos capazes de alterar a dinâmica e a constituição da sociedade, cuja evolução deu-se em três estágios segundo Beck (2010): sociedade pré-industrial, em que os riscos são os perigos naturais como terremotos por exemplo; sociedade industrial, cujos riscos estão associados diretamente ao trabalho com as máquinas; e finalmente, a sociedade de risco, a qual não é capaz de calcular e prever seus riscos. Essa sociedade de risco é a sociedade atual, que incorre em riscos que ela mesma criou, cujos impactos não são limitados geograficamente, apresentando alcance potencialmente global.

Entre os riscos associados ao lixo, os mais conhecidos referem-se à disseminação de doenças que afetam à saúde humana, à contaminação do solo e lençol freático e ao impacto visual à paisagem. Entretanto, existem outros riscos que não são perceptíveis a uma simples observação, como a emissão de gases de efeito estufa e a geração de trabalho. Este último é visto muitas vezes como algo positivo já que muitas famílias tiram seu sustento do lixo, mas deve-se tomar cuidado porque, considerando as condições mínimas necessárias de um trabalho decente⁴, observa-se de que se trata de um trabalho precário. Já os demais riscos estão associados à degradação ambiental, que segundo Beck (2010), configura-se como o mais sistemático e abrangente de todos os perigos.

2.2. Resíduos e Desenvolvimento Sustentável

São diversos os conceitos de sustentabilidade. O mais difundido entre a sociedade baseia-se no conceito exposto no relatório de *Brundtland*, intitulado “Nosso Futuro Comum”, que propõe o desenvolvimento sustentável como aquele capaz de atender às necessidades atuais sem comprometer o atendimento às necessidades das gerações

⁴ A OIT (Organização Internacional do Trabalho) definiu o conceito de trabalho decente em 1999 como sendo um trabalho que possua remuneração adequada e condições de liberdade, igualdade e segurança, sendo capaz de garantir uma vida digna para os trabalhadores e suas famílias (OIT, 2009).

futuras (OCDE, 1987). Em outras palavras, a sustentabilidade pode ser entendido como uma forma de garantir que o bem estar *per capita* não decline ao longo do tempo.

Meadows *et al.* (2007) simplifica o conceito de sustentabilidade quando a traduz em um par de palavras: suficiência e equidade. Segundo os autores, para que a sustentabilidade seja alcançada, é necessária uma mudança estrutural na sociedade moderna, a partir de uma revolução orgânica, englobando bilhões de pessoas, originária de diversas visões, ideias e experimentos.

O relatório de *Brundtland* é considerado como um marco na discussão sobre meio ambiente e desenvolvimento, pois introduz uma análise crítica ao modelo de crescimento adotado pelos países industrializados e reproduzido pelas nações em desenvolvimento, de modo que evidencia uma incompatibilidade entre o desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo neoclássicos, trazendo à tona a necessidade de uma nova relação entre ser humano e meio ambiente, o que significa conciliar o crescimento econômico com a capacidade de suporte dos ecossistemas.

Muito recente nas pautas de discussão sobre desenvolvimento sustentável, tem-se o conceito de economia verde. A economia verde pode ser vista como uma economia que pretende promover a melhoria do bem estar da humanidade e igualdade social ao mesmo tempo em que reduz, de forma significativa, os riscos ambientais e a escassez ecológica (UNEP, 2011). Resumidamente, a economia verde é vista como uma economia de baixa emissão de carbono, eficiente no uso dos recursos e socialmente inclusiva.

Segundo Abromovay (2012) a economia verde envolve três dimensões fundamentais e uma delas relaciona-se à adoção de técnicas capazes de reduzir a emissão de gases de efeito estufa e à redução do emprego de materiais e energia na produção de bens e serviços, além do aproveitamento dos resíduos gerados. As outras duas dimensões tratam da transição do uso de energia fóssil para fontes renováveis de energia e no aproveitamento dos produtos e serviços oferecidos pela biodiversidade (economia do conhecimento da natureza).

O conceito de Economia Verde é bastante delicado porque se ele estiver ligado ao conceito da sustentabilidade fraca, não será capaz de mudar o rumo da sociedade

moderna. Meszaros (2002) sinaliza a fragilidade desse conceito fraco de desenvolvimento sustentável quando afirma que as energias renováveis estão entrando como um sistema de amortecimento da crise ecológica e não como forma de emancipação. Ele quis dizer com isso que quando as alternativas para o desenvolvimento sustentável se moldam ao paradigma capitalista da sociedade, estas deixam de ser alternativas e passam a ser mais uma forma de mecanismo de dominação.

É importante ressaltar que, embora o desenvolvimento sustentável seja anterior ao de economia verde, o último não veio substituir o primeiro. O que existe entre eles é uma forte relação, pois a realização da sustentabilidade se baseia quase que inteiramente na obtenção do modelo certo de economia (UNEP, 2011).

O setor de resíduos é um dos dez setores chave para a Economia Verde e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos é um dos caminhos para o desenvolvimento sustentável, desde que adotada a abordagem do ciclo de vida (conceito fundamental para a sustentabilidade, pois permite que o resíduo seja considerado como recurso). Mas afinal, o que são resíduos sólidos?

2.3. Definição de Resíduos Sólidos

Em sua essência, lixo e resíduo são sinônimos, pois se referem a algo que não serve mais, que é inútil. A diferença está no fato de, em geral, o lixo estar associado a um sentimento de aversão, em função de ser composto por elementos inúteis, malcheirosos e prejudiciais à saúde humana; e os resíduos estão associados a materiais que, embora não apresentem utilidade direta, podem ser reaproveitados. Nesse sentido, o termo lixo associa-se mais precisamente aos resíduos que não possuem serventia a nenhum indivíduo e o termo resíduo aos que podem servir como matéria prima para um novo produto ou processo (IBAM, 2001). Dessa forma, entende-se como verdadeira a afirmação de que todo lixo é um resíduo, mas nem todo resíduo é lixo.

Na verdade, essa afirmação está mais ligada à diferença entre resíduo sólido e rejeito. Resíduo sólido, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), refere-se a todo material, substância, objeto ou bem descartados resultantes das atividades antrópicas, mas que podem ser tratados ou recuperados. Já os rejeitos são justamente os

resíduos sólidos que, após esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por tecnologias disponíveis e economicamente viáveis, devem seguir para disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

A NBR ISO 10004 (2004), que revisou a versão de 1987 a fim de fornecer subsídios para o gerenciamento dos resíduos sólidos, define resíduo sólido como:

“Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Adicionalmente a este conceito de resíduo sólido, a NBR ISO 14040:2009⁵ define resíduo como substância ou objeto cuja disposição é requerida ao proprietário (ABNT, 2009).

Os resíduos sólidos podem ser classificados pela sua origem, natureza física, composição química ou pelos riscos associados. A classificação pela origem é o principal elemento para caracterização dos resíduos sólidos e refere-se ao local de geração do resíduo. De acordo com a PNRS, os resíduos sólidos podem ser classificados em (BRASIL, 2010):

- a. **Resíduos domiciliares (RSD)**, que são os resíduos originários das atividades domésticas em área urbana;

⁵ Esta norma trata dos princípios e estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida e faz parte da série de normas da ISO 14000 de Gestão Ambiental. A ISO 14040:2009 é uma adoção idêntica em conteúdo técnico e redação da ISO 14040:2006.

- b. **Resíduos de limpeza urbana**, que são os resíduos provenientes de serviços de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e demais serviços de limpeza urbana;
- c. **Resíduos sólidos urbanos (RSU)**, que englobam os resíduos domiciliares e os de limpeza urbana;
- d. **Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços**, que são os resíduos sólidos gerados nos estabelecimentos comerciais;
- e. **Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico**, que englobam os resíduos gerados nessas atividades, exceto os resíduos sólidos urbanos;
- f. **Resíduos industriais (RSI)**, que envolvem os resíduos gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g. **Resíduos de serviços de saúde (RSS)**, são os resíduos gerados nos serviços de saúde, bem como hospitais e clínicas;
- h. **Resíduos de construção civil (RCC)**, englobam os resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições;
- i. **Resíduos agrossilvopastoris**, que são os resíduos originários das atividades agropecuárias e silviculturais;
- j. **Resíduos de serviços de transporte**, são os originários de portos, aeroportos, terminais rodoviários, ferroviários, entre outros;
- k. **Resíduos de mineração**, os resíduos gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Já a classificação pela natureza física indica se os resíduos são secos ou molhados; e pela composição química, se é matéria orgânica ou inorgânica. A classificação pelos riscos envolve a diferenciação dos resíduos perigosos, inertes e não inertes e é o tipo de classificação utilizado pela NBR ISO 10004:2004. Segundo a Norma, os resíduos sólidos são classificados de acordo com sua periculosidade ao meio ambiente e à saúde humana, a saber:

- resíduos classe I, que são os perigosos;
- resíduos classe II, referente aos não perigosos;
 - resíduos classe II A, que fazem parte dos não perigosos e não são inertes;
 - resíduos classe II B, que diz respeito aos não perigosos e inertes.

A Tabela 1 resume as três classificações e suas principais características.

Tabela 1 - Características dos Resíduos Sólidos

Classificação		Característica	Descrição
Classe I A – resíduos perigosos		Inflamabilidade	Capaz de entrar em combustão ou estimular a combustão de outros materiais
		Corrosividade	Capaz de corroer superfícies e outros materiais
		Reatividade	Instável quimicamente, capaz de reagir com a água ou formar misturas potencialmente explosivas com a água
		Toxicidade	Letal ou nocivo ao ser humano ou ao meio ambiente
		Patogenicidade	Capaz de provocar doenças no ser humano, em animais ou vegetais
Classe II – resíduos perigosos não inertes	Classe II A – resíduos não inertes	Não apresentam periculosidade e podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água	e podem ter propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água
	Classe II B – resíduos inertes		

Fonte: Elaboração própria com base em ABNT (2004).

Uma outra classificação para os resíduos sólidos é encontrada na Resolução de nº 5 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicada em 1993, que diferencia os resíduos sólidos em quatro grupos:

- Grupo A: Composto principalmente pelos resíduos de serviços de saúde (RSS), este grupo contempla os resíduos com potencial risco ao meio ambiente e à saúde pública em função de seus constituintes biológicos;
- Grupo B: Neste grupo estão os resíduos que apresentam potencial risco ao meio ambiente e ao ser humano devido à sua composição química. Entre eles encontram-se os resíduos farmacêuticos, drogas quimioterápicas e demais resíduos classificados como perigosos pela NBR ISO 10004:2004;
- Grupo C: Refere-se aos rejeitos radioativos ou materiais contaminados oriundos serviços de medicina nuclear;
- Grupo D: São os resíduos comuns, referentes a todos aqueles não enquadrados nos grupos anteriores.

Diante do que foi exposto, é possível perceber que a definição de resíduos não é uma questão tão simples e tal complexidade reflete em definições próprias de cada país ou região e, por isso, não há uma definição universal do que é resíduo e do que não é, de modo que qualquer avaliação a nível mundial possui certo grau de imprecisão. No entanto, há um grande e crescente esforço por parte dos países em classificar e categorizar os resíduos a nível internacional a exemplo do Catálogo Europeu de Resíduos⁶, as listas da OCDE⁷ e a Convenção de Basileia⁸ (CHALMIN & GAILLOCHET, 2009).

Além disso, dependendo da localidade, o mesmo resíduo pode apresentar importância diferente, como ocorre com as garrafas de plástico do tipo PET (polietileno tereftalato): na Europa, as garrafas PET são incineradas para geração de energia térmica em função de possuir maior poder calorífico do que o carvão; já em países em desenvolvimento como o Brasil, a garrafa PET é reciclada e entra como matéria prima em diversos setores industriais, principalmente o têxtil. Neste exemplo, a garrafa PET é vista como recurso em ambos os casos, porém com formas de tratamento diferentes, diretamente relacionadas à necessidade específica local.

Com relação ao contexto brasileiro, as políticas públicas, os planos de gerenciamento de resíduos sólidos estaduais, municipais e de empresas devem seguir as definições e classificações trazidas pela PNRS, pois mesmo que existam normas e legislações locais, estas devem estar em consonância com as diretrizes da Lei Federal. Essa questão é abordada com mais profundidade no capítulo que traz o panorama dos resíduos sólidos no Brasil e a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

⁶ Estabelecido pela Decisão da Comissão Europeia 94/3/EC em dezembro de 1993.

⁷ Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

⁸ Acordo que dispõe sobre o controle de movimentos de resíduos perigosos e seu depósito adotado em 1989 por iniciativa das Organizações das Nações Unidas.

3. GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Este capítulo traz uma breve revisão bibliográfica sobre o gerenciamento de resíduos sólidos (GRS), desde as suas origens até as barreiras encontradas pelos países em desenvolvimento na implementação de uma gestão adequada dos resíduos. Apresenta, também, os principais aspectos do gerenciamento dos resíduos orgânicos - foco do presente trabalho.

3.1. Evolução e importância do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos

A geração de resíduos faz parte do processo civilizatório humano e, portanto, o homem teve que lidar com a disposição de resíduos desde quando deixou de ser nômade e passou a fixar-se na terra (cerca de 10.000 anos a.C.). As sociedades primitivas costumavam enterrar seus resíduos, mas o crescimento das comunidades fez com que práticas organizadas para disposição dos resíduos fossem necessárias a fim de evitar doenças e odores. Assim, os primeiros indícios de gestão de resíduos datam de 2.000 a.C. em Mohenjo-Daro, uma antiga cidade do Vale do Indu (SEADOM, 2006).

Cerca de 320 anos a.C. já existia um esquema de fiscalização da limpeza pública. Na antiga Grécia, por exemplo, havia uma espécie de “polícias de rua” que cuidavam do cumprimento das normas de limpeza, abastecimento de água e do trabalho dos coletores de excremento e dos limpadores de ruas. Neste período, dois aspectos mostram-se importantes para a história do gerenciamento de resíduos: o primeiro era o processo de adubação feito a partir das fezes humanas e de animais; e o segundo eram os limpadores de rua, responsáveis por despejar os dejetos coletados em locais distantes da cidade (EIGENHEER, 2009).

Na Idade Média, a relação do ser humano com o lixo torna-se mais complicada em virtude do aumento populacional e, conseqüentemente, redução dos espaços livres. As ruas das cidades eram impregnadas pelo mau cheiro devido ao costume de armazenar os dejetos humanos e de animais na parte frontal das residências além da criação de animais, que circulavam livremente pelas ruas. Muitas medidas foram tomadas na tentativa de limpar as cidades com o intuito de reduzir o forte odor e o volume de excrementos. Foi aí que surgiram os primeiros indícios da utilização do valor comercial do resíduo: os pobres retiravam das ruas tudo que era passível de venda, inclusive os

resíduos orgânicos, que eram vendidos aos agricultores para fertilização das terras; além disso, como os recursos eram relativamente escassos nessa época, diversos itens eram reparados e reutilizados (WILSON, 2007; EIGENHEER, 2009).

Até o final do século XV, inúmeros decretos relativos à limpeza pública foram emitidos a fim de alterar as circunstâncias vividas durante a Idade Média, pois não havia calçadas, canalização, distribuição de água e nem coleta regular de lixo. Porém, somente a partir da segunda metade do século XIX é que ocorreram as mudanças verdadeiramente significativas, devidas principalmente à Revolução Industrial e ao avanço científico, que culminou na teoria microbiana de doenças (EIGENHEER, 2009).

As duas guerras mundiais também tiveram grande influência na evolução do gerenciamento dos resíduos, pois a reciclagem fortaleceu-se em função da escassez dos recursos. Houve diversos avanços no tratamento dos resíduos sólidos, como a troca das fogueiras por incineradores, a implantação de usinas de triagem e coleta seletiva. Entretanto, as ações de tratamento dos resíduos eram motivadas, principalmente, por questões relacionadas à saúde pública com foco prioritário na coleta dos resíduos e as formas de destinação final ainda eram muito precárias.

Somente na segunda metade do século XX, mais precisamente início da década de 70, os resíduos passaram a ser vistos como questão estratégica e entraram para a agenda política dos países desenvolvidos. Pode-se dizer que o progresso do gerenciamento dos resíduos foi e é conduzido por cinco grandes fatores: saúde pública, meio ambiente, escassez de recursos, mudanças climáticas e, conscientização e participação da sociedade (MARSHALL & FARAHBAKSH, 2013).

Segundo os autores, os países desenvolvidos já ultrapassaram a etapa onde o gerenciamento dos resíduos é motivado, principalmente, por questões de saúde pública e meio ambiente. Enquanto que uma das principais preocupações do gerenciamento de resíduos sólidos nos países em desenvolvimento ainda é com relação aos serviços de coleta e remoção dos resíduos, pois quase dois séculos após a Reforma Sanitária Europeia, muitos países em desenvolvimento ainda passam por diversas dificuldades envolvendo tratamento de resíduos, saneamento e saúde pública.

É importante salientar que a definição não apropriada ou dúbia do que é resíduo impacta diretamente em seu sistema de gerenciamento, o que pode resultar em sérias consequências para a sustentabilidade e segurança ambiental. Ainda há sérios problemas com relação à definição precisa do termo resíduo e, conseqüentemente, com relação à harmonização da terminologia nas diversas leis e regulamentos dos países, prejudicando assim a eficiência da gestão dos resíduos em escala global (TWARDOWSKA, 2004). Mahler *et al.* (2012) corroboram que, para um gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, o ponto de partida é o conhecimento de suas características gravimétricas, morfológicas e granulométricas.

É indiscutível a importância de ser ter uma gestão dos resíduos sólidos, garantindo tratamento e disposição adequados. Tal importância foi reconhecida globalmente com a Agenda⁹ 21, onde há um capítulo específico para o manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos. Manejo este que deve ultrapassar a simples questão da disposição ou aproveitamento do resíduo gerado, para, assim, tratar do cerne do problema: a mudança dos padrões de produção e consumo não sustentáveis.

Nesse sentido, o gerenciamento adequado de resíduos é um dos mais importantes para a manutenção da qualidade de meio ambiente e alcance do desenvolvimento sustentável em todos os países. E, a busca da melhor forma para se avançar no desenvolvimento de sistemas sustentáveis na gestão de resíduos começa no entendimento das motivações que impulsionaram a evolução da gestão de resíduos no passado como também os direcionadores que impactam atualmente no desenvolvimento da gestão de resíduos (WILSON, 2007).

3.2. Gerenciamento dos Resíduos Sólidos nos países em desenvolvimento

Quando os países em desenvolvimento possuem um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos inserido em suas agendas públicas, este é voltado principalmente para a saúde pública, cujo enfoque social faz com que o maior objetivo seja o de retirar o lixo

⁹ A Agenda 21 foi elaborada três anos após a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992 (Eco-92) com o intuito de reunir os compromissos firmados pelos participantes da Conferência para o futuro da humanidade, de modo a assegurar a realização destes. Através dela foi possível identificar os problemas prioritários, os recursos para enfrentá-los e as metas para o século vindouro.

de locais inapropriados ao despejo, evitando assim a proliferação de doenças à população.

Desta maneira, enquanto os países desenvolvidos estão no estágio de busca por uma visão holística do gerenciamento dos resíduos sólidos, no sentido de se obter uma gestão integrada dos resíduos, os países em desenvolvimento ainda buscam alcançar os objetivos primários: saúde pública e proteção ambiental.

Essa visão holística, isto é, a gestão integrada dos resíduos permite atender aos seguintes objetivos (BAUD *et al.*, 2001):

- A minimização da geração de resíduos;
- A maximização do reuso e reciclagem dos resíduos, bem como recuperação energética;
- A disposição adequada dos rejeitos sem comprometer a capacidade de suporte dos locais escolhidos para essa destinação (sumidouros);
- Criação de empregos que proporcionem salários adequados para garantia de uma vida digna aos trabalhadores;
- Atenção para os aspectos de saúde e segurança;
- Garantia de um ambiente urbano limpo e saudável;
- Ser legítimo aos olhos dos diversos atores envolvidos no setor (setor público, privado, comunidade local);
- Garantia de um sistema financeiramente viável tanto para os consumidores quanto para as autoridades locais (e empresas privadas se forem o caso);
- Melhorar a coordenação interna.

Com isso, seja nos países desenvolvidos ou nos em desenvolvimento, o gerenciamento de resíduos deve contribuir para o desenvolvimento sustentável e um dos primeiros passos para isso é a adoção da principal ferramenta gerenciamento de resíduos sólidos: a hierarquia dos resíduos.

3.3. A hierarquia dos resíduos

A hierarquia dos resíduos, alicerce dos modelos de gerenciamento de resíduos em toda a Europa, consiste em um modelo de prioridades para tratamento dos resíduos, objetivando minimizar os impactos ambientais relacionados ao não tratamento ou disposição inadequada dos resíduos.

De acordo com a hierarquia, definida no Artigo 4º da Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, é composta por cinco opções de gerenciamento de resíduos: (1) a prevenção da geração do resíduo, que é a opção mais desejável, onde medidas devem ser tomadas para que determinado produto ou material não se torne resíduo, diminuindo assim a quantidade de resíduos gerados; caso não seja possível a prevenção, a alternativa preferível é a da (2) reutilização do resíduo, o qual se torna matéria prima retroalimentando a própria cadeia produtiva ou alguma outra; em seguida tem-se a (3) reciclagem, onde os resíduos passam por uma operação de valorização (reprocessamento ou beneficiamento) transformando-se novamente em produtos ou materiais com a mesma ou outra finalidade; a quarta opção da hierarquia é a (4) recuperação do resíduo, que consiste em outros de tipos de valorização do resíduo, sendo o reaproveitamento energético a forma de valorização mais usada; por fim, após esgotadas as possibilidades de tratamento, tem-se a (5) eliminação, cuja principal forma é a disposição em aterro sanitário após tratamento de redução dos riscos inerentes aos resíduos (inertização). A Figura 2 ilustra essa hierarquia.



Figura 2 - Hierarquia dos Resíduos
Fonte: Adaptado de Comissão Europeia (2008).

Embora definida oficialmente em 2008, a hierarquia dos resíduos vem sendo considerada nas políticas europeias desde a década de 70, quando a problemática dos impactos ambientais associados à disposição de resíduos tornou-se tema de interesse público. Entretanto, é importante ressaltar que a ideia original da hierarquia dos resíduos surgiu a partir da necessidade do governo holandês em criar alternativas à eliminação dos resíduos devido à falta de espaço para os aterros sanitários. Essa limitação espacial moldou a política de resíduos holandesa, cujo principal objetivo era reduzir o volume de resíduos descartados em aterros, resultando no aumento expressivo da incineração já que o intuito era incinerar o maior volume possível de resíduos (WOLSINK, 2010).

O conceito da hierarquia dos resíduos também foi incorporado nos Estados Unidos quando a Lei de Prevenção da Poluição de 1990 determinou que formas de poluição deveriam ser evitadas ou reduzidas na fonte geradora, buscando a prevenção ou a reciclagem (desde que fosse ambientalmente segura) e, por fim, o descarte como última alternativa (FRANCHETTI, 2009). O Brasil também incorpora o conceito da hierarquia dos resíduos quando estabelece a ordem de prioridade no gerenciamento dos resíduos sólidos, trazida como principal diretriz da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Assim sendo, do ponto de vista da sustentabilidade, seguir a hierarquia dos resíduos, significa reduzir ao máximo a disposição de resíduos em aterros sanitários, de modo que estes recebam apenas os rejeitos, garantindo que as futuras gerações não sofram os danos ambientais causados pela disposição dos resíduos produzidos pelas gerações anteriores.

A hierarquia dos resíduos pode ser aplicada no gerenciamento dos resíduos orgânicos, os quais, por sua vez, são resíduos e devem ser tratados em detrimento à disposição em aterro sanitário. O próximo item apresenta os principais aspectos do gerenciamento dos resíduos orgânicos.

3.4. Gerenciamento dos Resíduos Orgânicos

3.4.1. Definição de Resíduos Sólidos Orgânicos

Os resíduos sólidos orgânicos são resíduos de origem animal ou vegetal e compreendem grande parte dos resíduos sólidos urbanos e rurais, além dos resíduos provenientes de sistemas de tratamento de esgoto doméstico e de resíduos industriais. Também chamados de resíduos biodegradáveis, os resíduos orgânicos são capazes de entrar em decomposição com ou sem a presença de oxigênio (digestão aeróbia ou anaeróbia), sendo grandes fontes de gases e líquidos poluentes, de maus odores e de vetores.

São diversas as nomenclaturas relacionadas aos resíduos orgânicos. Estes são vistos na literatura como matéria orgânica, fração orgânica, biorresíduos, resíduos biodegradáveis, resíduos putrescíveis, entre outros. No entanto, existem diferenças entre alguns termos que merecem ser destacadas.

Como já falado anteriormente, os resíduos orgânicos referem-se aos resíduos biodegradáveis, logo o termo biodegradável e orgânico são substitutos perfeitos. Os termos matéria orgânica e fração orgânica aparecem justamente para determinar a parcela biodegradável do resíduo, também é muito comum o termo fração orgânica do resíduo sólido urbano (FORSU), que se refere à parcela biodegradável dos resíduos domiciliares e de limpeza pública, resíduos estes que compõem os resíduos sólidos urbanos (RSU) segundo a PNRS. Com relação à matéria orgânica, esta é utilizada principalmente para se referir à matéria orgânica putrescível, isto é, aos restos alimentares e animais mortos. Há também a matéria orgânica não putrescível, que compreende materiais como papel, papelão, madeira, ossos, couro e trapos. Já os biorresíduos, definidos na Diretiva Europeia 2008/98/EC, englobam os resíduos de jardim/poda e os resíduos alimentares provenientes dos domicílios, restaurantes, fornecedores e indústrias alimentícias, não estando incluídos os resíduos florestais e agrícolas. A Figura 3 mostra as principais fontes de geração de resíduos orgânicos:

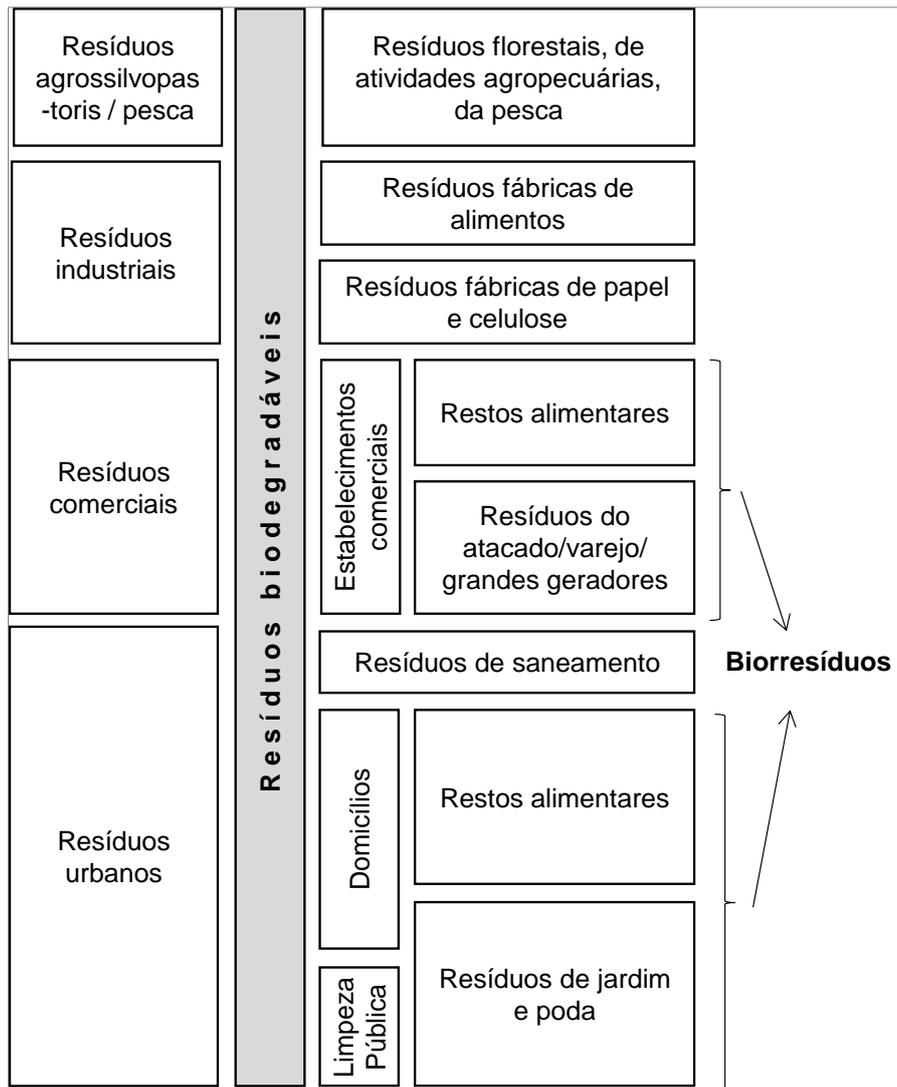


Figura 3 - Principais fontes de resíduos orgânicos
 Fonte: Adaptado de UNIÃO EUROPEIA (2011).

Observa-se, portanto, que são diversas as fontes geradoras de resíduos orgânicos. Considerando-se o ciclo de vida dos alimentos em geral, têm-se as seguintes fases: cultivo, processamento (se o alimento for industrializado), distribuição, comercialização, consumo e descarte. Esta última fase, a de descarte, na verdade pode ser colocada paralelamente às demais, pois em cada etapa é gerado um tipo de resíduo orgânico que exige um tratamento e gerenciamento adequados.

3.4.2. Métodos de tratamento dos resíduos orgânicos

O gerenciamento inadequado dos resíduos orgânicos pode causar sérios impactos ao meio ambiente e para quem os gera em função, principalmente, do mau odor e do chorume produzidos no processo de decomposição. Quando dispostos sem tratamento, são grandes contribuintes para o aquecimento global e contaminação dos corpos hídricos devido à emissão de gás metano e produção de lixiviado respectivamente.

Adicionalmente, a presença de resíduos orgânicos misturados aos demais resíduos, ou seja, quando não há separação dos resíduos na fonte geradora e a coleta é regular, influenciam diretamente a logística de coleta e os processos de tratamento, pois exigem maior frequência de coleta (especialmente em locais de clima tropical como o Brasil), dificultam o beneficiamento dos materiais recicláveis misturados a eles além de produzirem um composto contaminado por inorgânicos, metais pesados, etc. Por essas razões, devem ser buscadas alternativas de tratamento dos resíduos orgânicos de modo a minimizar seus impactos associados.

Desde 1999, com a Diretiva dos Aterros (1999/31/EC), a União Europeia vem incentivando seus Estados-Membros a reduzir o volume de resíduos orgânicos destinados a aterros e, nesse sentido, a hierarquia dos resíduos apresenta-se como instrumento norteador para o gerenciamento adequado desses resíduos orgânicos conforme mostrado na figura abaixo:

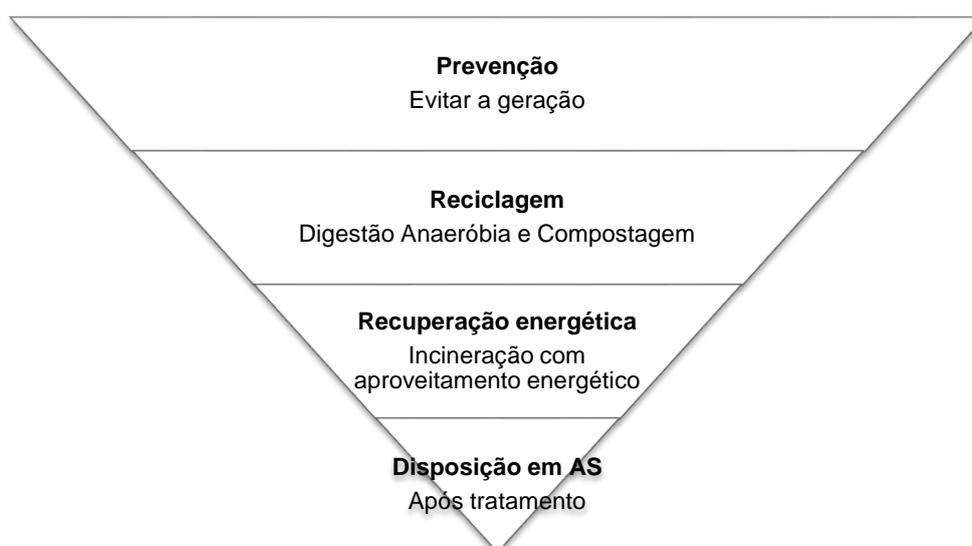


Figura 4 - Hierarquia dos resíduos aplicada aos resíduos orgânicos
Fonte: Adaptado de UNIÃO EUROPEIA (2011).

Assim sendo, a Figura 4 apresenta como a hierarquia dos resíduos pode ser aplicada no gerenciamento dos resíduos orgânicos, trazendo as principais opções de tratamento, que vão desde a não geração do resíduo até os processos controlados de digestão, incineração e disposição final em aterro sanitário, detalhados a seguir:

i. Prevenção

Prevenir nada mais é que evitar a geração do resíduo. Deste modo, no caso da matéria orgânica proveniente dos domicílios, prevenir a geração do resíduo significa evitar o desperdício alimentar. Segundo a Diretiva Europeia (2008/98/EC), a prevenção é um conjunto de ações tomadas antes de o produto virar resíduo de modo a reduzir a quantidade de resíduos gerados e, consequentemente, os impactos ao meio ambiente e à saúde humanos por eles causados.

ii. Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia consiste na degradação da matéria orgânica por microrganismos na ausência de oxigênio. Pode tratar diversos tipos de resíduos biodegradáveis, incluindo lodo de esgoto, fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, matéria orgânica industrial, comercial além de resíduos agrícolas. Considerada uma forma de reciclagem dos resíduos orgânicos, a digestão anaeróbia ocorre em equipamentos chamados de biodigestores, onde a matéria orgânica transforma-se em composto e biogás, o qual é composto por gás metano em concentrações de 60 a 70%, dióxido de carbono em proporções de 20 a 30% além de outros gases (MAHLER *et al.*, 2012).

Devido à elevada concentração de metano, produzir biogás para utilização como combustível alternativo aos combustíveis fósseis traz inúmeros benefícios ambientais. Também pode ser utilizado na geração de energia elétrica, para fins de aquecimento e, se tratado¹⁰, pode substituir o gás natural em todas as suas aplicações (residência, veículos, etc).

¹⁰ O tratamento do biogás consiste na remoção do CO₂ a fim de que se aumente a concentração de CH₄ e sua densidade energética.

Com relação à produção de composto, na verdade a digestão anaeróbia produz o digestado que pode ser aplicado diretamente no solo como fertilizante para a agricultura. Entretanto, o digestado produzido a partir da digestão de resíduos misturados (provenientes da coleta regular) pode conter níveis elevados de contaminação, e por isso, deve ser sanitizado pelo processo da compostagem a fim de que se reduza o risco de toxicidade (UNIÃO EUROPEIA, 2011).

iii. Compostagem

O processo de compostagem envolve a degradação dos resíduos orgânicos por microrganismos em ambiente aeróbio, ou seja, com a presença de oxigênio. A matéria orgânica transforma-se em composto, o qual serve como melhorador de solos e fertilizante orgânico, podendo ser aplicado nas atividades agrícolas por exemplo. Entretanto, há resistências quanto à utilização do composto na agricultura se este for produzido a partir da decomposição da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, principalmente se a separação dos resíduos for feita depois da coleta. Isso ocorre porque o composto pode conter alguns contaminantes para o meio ambiente, como: metais pesados, substâncias tóxicas e/ou patogênicas além do baixo valor de nutrientes (MAHLER *et al.*, 2012).

A compostagem é um processo relativamente simples, que vai desde a escala caseira (produção aproximada de 10 a 50 kg/mês de composto) até a escala industrial, usada para processar grandes volumes (produção superior a 300 t/mês) (SCHUELER & MAHLER, 2003). A compostagem caseira normalmente é feita no quintal das residências e, por ser realizada na fonte geradora dos resíduos, traz benefícios para o sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares uma vez que impacta diretamente no sistema de coleta, não contamina os resíduos recicláveis (no caso da coleta regular) e reduz a quantidade de resíduos orgânicos dispostos em aterro ou para tratamento. Este tipo de compostagem em pequena escala refere-se a um sistema descentralizado de compostagem, no qual está incluída a compostagem coletiva ou comunitária, realizada em condomínios, comunidades e estabelecimentos comerciais (shopping, hotel, etc). É importante ressaltar, no entanto, que esse tipo de compostagem requer conhecimento por parte dos moradores, pois uma

compostagem não ou mal controlada pode causar sérios problemas ambientais como geração de gases, proliferação de vetores e maus odores.

Com relação à compostagem industrial, isto é, em grande escala e centralizada, existem duas técnicas que são as mais comuns: por leiras revolvidas (compostagem *Windrow*) e compostagem em vasos (biodigestores). A primeira é realizada em grandes pilhas ou leiras revolvidas periodicamente. Este tipo de compostagem pode ser realizado a céu aberto, porém exige maior controle para evitar odores e emissões gasosas. A compostagem em vasos consiste na compostagem dentro de reatores fechados, permitindo a aceleração da degradação do resíduo orgânico, a coleta e a filtragem dos gases. Esses gases são na grande maioria dióxido de carbono, mas também são encontrados metano, gás amoníaco e óxido nitroso (UNIÃO EUROPEIA, 2011).

iv. Incineração

A incineração é um método de tratamento que envolve a combustão de resíduos e, quando há produção de energia, este tipo de tratamento é chamado de *waste to energy* (WTE). Tendo como objetivo básico a redução do volume e a periculosidade do resíduo, a incineração pode ser utilizada para tratamento de resíduos domiciliares, industriais, comerciais, resíduos perigosos como os resíduos sólidos de serviços de saúde (RSS), lodo de esgoto e resíduos para combustível derivado do resíduo (CDR). No caso da incineração dos biorresíduos, não existe quase resíduo para incinerar devido ao baixo poder calorífico e elevada concentração de água na matéria orgânica a não ser em casos onde há contaminação do biorresíduo.

v. Disposição final

O aterramento dos resíduos orgânicos induz o processo de digestão anaeróbia, o que pode acarretar em sérios riscos ambientais em função da emissão de gases de efeito estufa e poluição para o solo e águas subterrâneas por meio do lixiviado. Por esta razão, os aterros sanitários devem possuir sistemas de captação e tratamento de gases e lixiviados. O biogás coletado do aterro sanitário pode ser queimado para conversão do metano em dióxido de carbono, o

que minimiza o impacto ao aquecimento global, ou pode ser recuperado para geração de energia elétrica e/ou calor, trazendo maiores benefícios ambientais. É importante ressaltar, com relação aos impactos ambientais do aterramento, que além dos impactos para o ar, solo e corpos hídricos, o aterro sanitário requer um grande espaço físico, o que envolve o impacto do “uso da terra”, pois esta pode ser utilizada para outros fins. Sem contar o impacto social associado, pois ninguém deseja um “depósito” de resíduos como vizinho (*Not In My Back Yard* - NIMBY).

Desta maneira, a compostagem e digestão anaeróbia são mais adequados para tratamento dos resíduos orgânicos quando há um sistema de coleta seletiva, onde os resíduos são separados na fonte geradora. Já a incineração e aterramento são indicados quando a separação dos resíduos ocorre após a coleta devido ao elevado risco de contaminação. A tabela a seguir resume os principais métodos de tratamento da matéria orgânica dependendo do sistema de coleta:

Tabela 2 - Principais métodos de tratamento dos biorresíduos

Método	Produto	Descrição
<i>Para sistema de coleta seletiva</i>		
Digestão anaeróbia	Biogás Digestado	Digestão da matéria orgânica com produção de energia (biogás usado para geração de energia elétrica, calor e combustível veicular) e fertilizante (digestado que pode ser usado na agricultura)
Compostagem	Composto	Sistema aberto ou fechado, centralizado ou em pequena escala, produção de fertilizante (composto orgânico que pode ser utilizado na agricultura)
<i>Para sistema de coleta regular (matéria orgânica misturada à inorgânica)</i>		
Incineração	Energia	Produção de energia elétrica ou calor, as cinzas (resíduo do processo) podem ser utilizadas como matéria prima para o setor da construção, mas não a partir dos biorresíduos
Aterro Sanitário	Biogás	Coleta de gás de aterro (biogás) que pode ser apenas queimado em <i>flares</i> ou recuperado para geração de energia elétrica e/ou calor

Fonte: Adaptado de UNIÃO EUROPEIA (2011).

É importante destacar que existem outras opções de tratamento dos resíduos orgânicos como a gaseificação e a pirólise, que são tratamentos térmicos usados para recuperação

energética dos resíduos, mas que ainda não são tão utilizados por questões principalmente técnicas. Na **pirólise**, a fração orgânica é degradada sob pressão e na ausência de oxigênio. Neste processo, quanto maior a concentração de carbono da matéria orgânica melhor a eficiência. Entretanto, o resíduo deve ser separado antes da coleta para, assim, estar homogêneo e com baixa quantidade de componentes inorgânicos misturados. A pirólise transforma o resíduo orgânico em três frações: sólida, líquida e gasosa. Esta última é utilizada na geração de energia elétrica; já a fração líquida pode ser empregada como combustível em turbinas, motores a diesel, entre outros; e, por fim, a parte sólida consiste em cinzas e carbono e deve ser aterrada ou processada via gaseificação, por exemplo. A **gaseificação** exige uma temperatura maior que a utilizada na pirólise e a adição de um oxidante (ar ou oxigênio). Também produz um gás, que pode ser utilizado como energia elétrica, além de uma parte sólida (carvão), que necessita de disposição adequada ou pode ser utilizada como material secundário no setor da construção (UNIÃO EUROPEIA, 2011; LORA *et al.* 2012).

Também existe o **tratamento mecânico biológico** (TMB), método muito importante quando há sistema de coleta regular, pois funciona como uma espécie de pré-tratamento, em que a matéria orgânica é separada mecanicamente para posterior tratamento (como compostagem ou digestão anaeróbia, por exemplo). O TMB também é utilizado com vistas redução do volume e estabilização do resíduo orgânico para disposição em aterro sanitário, reduzindo assim o odor e a geração de biogás e lixiviado.

É importante salientar que a hierarquia dos resíduos, seja para os resíduos orgânicos ou para os resíduos em geral, é usada como princípio norteador das políticas públicas em gerenciamento de resíduos e de planos de gestão de resíduos das empresas, levando à escolha da opção de tratamento mais preferível em termos de minimização dos impactos ambientais. Porém, nem sempre seguir a ordem de prioridades da hierarquia dos resíduos resulta na escolha da melhor opção de tratamento em termos ambientais. Por este motivo, tem-se a adoção do Pensamento do Ciclo de Vida como ferramenta complementar à hierarquia de resíduos no gerenciamento de resíduos.

4. O PENSAMENTO DO CICLO DE VIDA

Este capítulo aborda o conceito de Pensamento do Ciclo de Vida e como ele pode ser introduzido no gerenciamento de resíduos a partir da aplicação de sua metodologia quantitativa de avaliação do desempenho ambiental: a Avaliação do Ciclo de Vida. Também são apresentados aspectos do modelo de gerenciamento dos biorresíduos elaborado pela Comissão Europeia, o qual utiliza o Pensamento do Ciclo de Vida e a Avaliação do Ciclo de Vida como ferramentas de apoio à decisão.

4.1. Conceito de Pensamento do Ciclo de Vida

O pensamento do ciclo de vida (PCV) é uma abordagem conceitual que transcende os limites físicos da produção de bens e serviços. Busca identificar os impactos potenciais e oportunidades de melhoria em todos os estágios do ciclo de vida de um produto¹¹, desde a extração de recursos naturais para serem usados como matéria prima até o descarte final dos resíduos, ou seja, do berço ao túmulo. Segundo UNEP (2007), os principais objetivos do PCV são a redução do uso de recursos naturais e emissões para o meio ambiente além da melhoria das condições socioeconômicas ao longo de todo o ciclo de vida do produto.

Ainda que de forma intuitiva, o PCV está presente na sociedade desde o século XIX, quando era discutida a importância da reutilização de bens de consumo já que alguns bens ou até mesmo partes deles poderiam ser aproveitados para elaboração de outros produtos (HENRIQUES, 2004).

Conforme ilustrado na Figura 5, cada produto possui um ciclo de vida que se inicia com a extração do recurso natural e processamento da matéria prima, segue para a produção e distribuição do bem para o mercado consumidor, o qual utiliza o produto até o fim de sua vida útil, onde termina com sua disposição final já na forma de resíduo.

¹¹ A fim de uma abordagem mais simplificada, será utilizada a definição da ISO 2006:09 para produto que se refere a qualquer bem ou serviço.



Figura 5 - Ciclo de vida de um produto
 Fonte: Adaptado de UNEP (2007).

Ao analisar a figura acima, é possível perceber que a abordagem do ciclo de vida envolve múltiplos atores (produtores, transportadores, consumidores, cooperativas de triagem, governo, entre outros), trazendo um conceito de responsabilidade compartilhada pelo produto. Nesse sentido, quando criado um mecanismo de cooperação entre os responsáveis por cada etapa do ciclo de vida do produto com o intuito de minimizar a utilização dos recursos e dos impactos associados, tem-se a inserção da sustentabilidade no sistema (UNEP, 2007; UNIÃO EUROPEIA, 2011).

Todavia, quando os processos de tomada de decisão não consideram essa visão holística do produto, corre-se o risco de se ter situações nas quais um problema é resolvido enquanto outros são criados, resultando muitas vezes, em degradação ambiental e uso imprudente de recursos.

4.2. O Pensamento do Ciclo de Vida aplicado em resíduos

Com vistas à identificação de melhorias e redução dos impactos associados a um produto em todas as fases do seu ciclo de vida, o PCV torna-se indispensável ao desenvolvimento sustentável e, por esta razão, foi reconhecido pela Comissão Europeia em 2005 como uma temática estratégica para o uso sustentável dos recursos naturais e para prevenção e reciclagem de resíduos, conforme observado no trecho a seguir (COMISSÃO EUROPEIA, 2005):

“... para conter a degradação do ambiente e para preservar os serviços essenciais que os recursos naturais proporcionam, é necessário que a política ambiental vá mais longe que o controle das emissões e dos resíduos. É necessário desenvolver meios para identificar os impactos ambientais negativos da utilização de materiais e energia em todos os ciclos de vida (frequentemente referidos como a abordagem do berço ao túmulo) e determinar sua importância respectiva.”

O PCV pode ser aplicado por três metodologias quantitativas que servem como ferramentas de apoio à decisão para avaliação do desempenho ambiental, econômico e social respectivamente, são elas: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Avaliação do Custeio do Ciclo de Vida (CCV) e Avaliação Social do Ciclo de Vida (S-ACV). Quando aplicadas as três metodologias em conjunto, tem-se a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV).

A ACV, cuja primeira aplicação data da década de 60, objetiva identificar, quantificar e avaliar as emissões, os recursos utilizados (materiais, energia e água) e os impactos potenciais ao meio ambiente e à saúde humana associados à cada etapa do ciclo de vida de determinado produto. O CCV é o mais antigo das três metodologias (década de 30) e consiste em avaliar todos os custos diretamente envolvidos no ciclo de vida de um produto. Já a S-ACV, com estudos mais recentes que datam da década de 80, tem por objetivo avaliar os aspectos sociais dos produtos, que afetam direta ou indiretamente os

*stakeholders*¹², bem como os potenciais impactos positivos e negativos envolvidos em cada etapa (UNEP/SETAC, 2011).

Todas as três metodologias podem ser aplicadas somente para avaliação do desempenho (ambiental, econômico ou social) do produto, permitindo identificar oportunidades de melhoria. Entretanto, também são muito utilizadas em estudos de comparação entre dois ou mais produtos a fim de verificar qual apresenta os menores impactos associados.

É importante ressaltar que, embora o PCV envolva todo o ciclo de vida de um produto, isto é, com abordagem do berço ao túmulo, é possível realizar avaliações para determinadas etapas do ciclo de vida, como por exemplo: avaliação do berço ao portão, que significa identificar e avaliar os impactos potenciais associados às etapas de extração dos recursos naturais até a produção do produto; avaliação portão a portão, que consiste na avaliação somente dentro da planta produtiva; avaliação portão ao túmulo, que considera os impactos envolvidos desde a saída do produto para o mercado consumidor até o momento da sua destinação final.

Quando aplicado a resíduos, o PCV não foca em todo o ciclo de vida do produto que virou resíduo, mas sim na fase do fim da vida útil do produto, como mostrado na Figura 6. Conforme já discutido na introdução do presente trabalho, o “fim da vida útil” de um produto não reflete necessariamente o momento a partir do qual acabou a durabilidade deste produto, pois hoje em dia se tem, cada vez mais, a redução de sua taxa de utilidade.

¹² Entende-se como *stakeholder* a parte interessada, isto é, indivíduo ou grupo que tem interesse ou é afetado pelo desempenho ambiental de um produto em qualquer fase de seu ciclo de vida NBR ABNT 14044:2009.

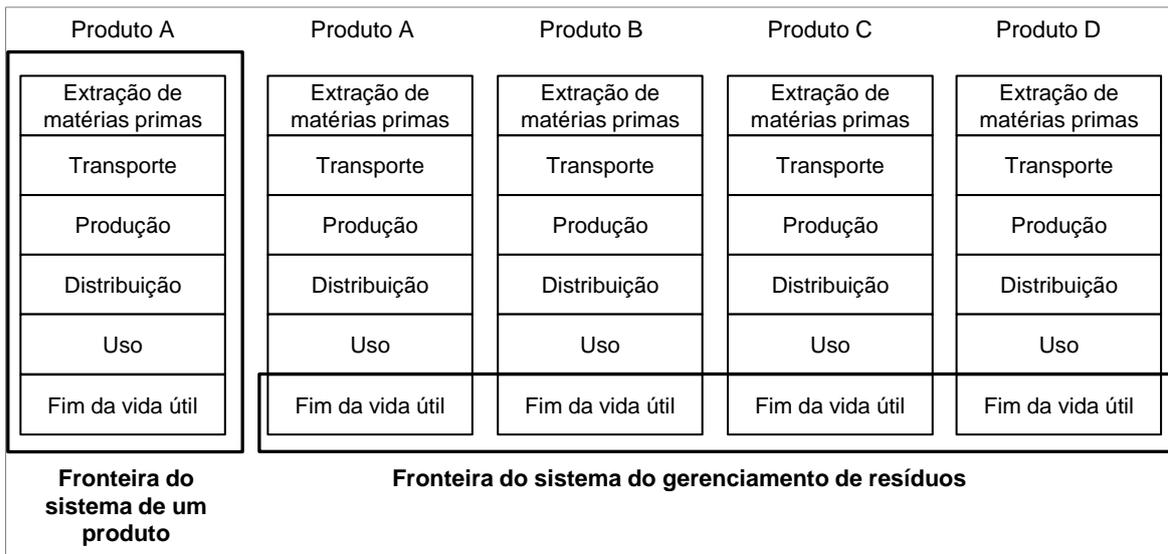


Figura 6 - Foco PCV convencional x PCV de resíduos
 Fonte: Adaptado de McDougall *et al.* (2001) *apud* Burnley *et al.* (2012).

Assim, todas as três metodologias de PCV podem ser aplicadas como ferramentas de apoio à decisão no gerenciamento de resíduos, o que significa avaliar e comparar as diferentes opções de tratamento do resíduo para escolha da melhor alternativa, atuando de forma complementar a hierarquia dos resíduos.

4.3. A Avaliação do Ciclo de Vida aplicada em resíduos

Gerenciar resíduos é, sem dúvida, uma problemática complexa em função da multiplicidade de atores envolvidos (esfera pública, privada e a própria sociedade em geral) bem como os riscos associados. Um dos parâmetros para avaliar o gerenciamento dos resíduos é a avaliação de seus impactos ambientais, cuja principal ferramenta utilizada é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Considerada uma poderosa ferramenta que pode ser aplicada em diversos contextos como apoio à tomada de decisão para melhoria da gestão ambiental e na formulação de políticas públicas em níveis local e nacional, a metodologia de ACV apresenta-se mais fortemente em alguns países da União Europeia, como Suécia e Alemanha, e nos Estados Unidos. Foi padronizada em 2006 pelas normas internacionais ISO 14040 e 14044, as quais trazem, respectivamente, os Princípios e Estrutura, e Requisitos e Orientações.

Aplicar a metodologia de ACV significa quantificar todas as trocas físicas com o ambiente, iniciando pela entrada de recursos naturais e terminando com a saída desses materiais na forma de emissões para o ar, água e solo, traduzidas em indicadores associados a diversas categorias de impacto, como por exemplo: depleção dos recursos, mudança climática, acidificação ou toxicidade para plantas, animais e pessoas (UNIÃO EUROPEIA, 2011).

De acordo com a Norma ISO 14040:2006, os estudos de ACV desenvolvem-se em quatro fases iterativas, a saber: definição do objetivo e escopo do estudo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados. A Figura 7 mostra, de forma esquemática, essas quatro fases que formam a estrutura da ACV.

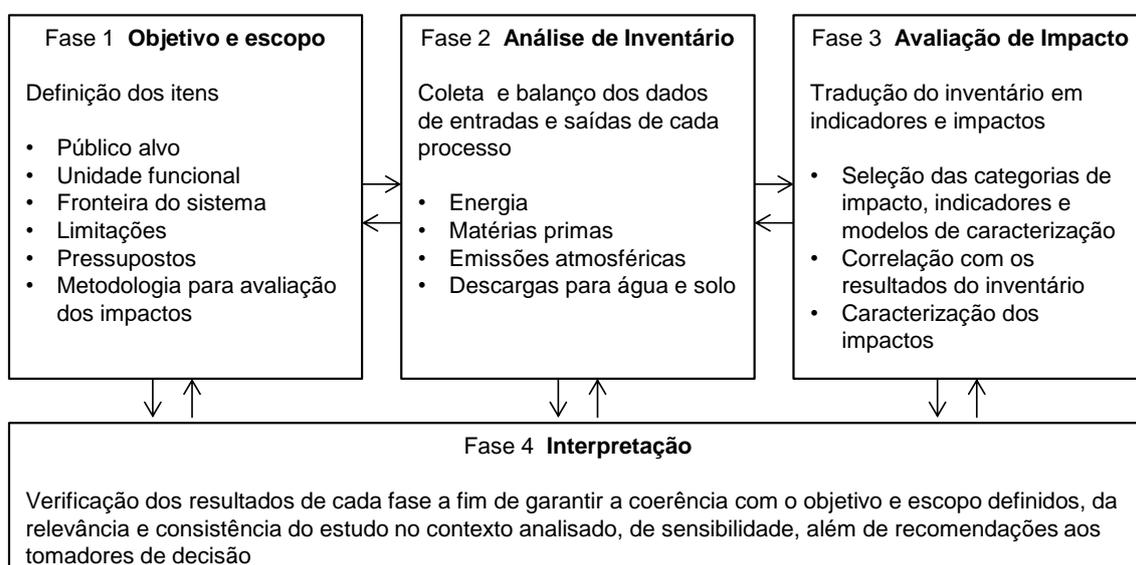


Figura 7 - Principais itens da estrutura da ACV
 Fonte: Elaboração própria com base em (ABNT, 2009).

Na primeira fase, **definição do objetivo e escopo do estudo**, são definidos os itens cruciais para o estudo de ACV. A definição do objetivo consiste na declaração da aplicação pretendida (onde e para quem será realizada a ACV), das razões para execução do estudo bem como o público alvo.

A elaboração do escopo consiste na definição do sistema de produto a ser estudado, englobando os processos e fluxos (elementares) envolvidos; na definição da unidade funcional, onde é escolhida uma unidade de referência para quantificar o desempenho do sistema de produto; na determinação da fronteira do sistema, ou seja, da abrangência

do estudo bem como quais as etapas do ciclo de vida serão estudadas (berço ao túmulo, portão a portão, etc), além da abrangência geográfica e temporal. Também são definidos no escopo: os procedimentos de alocação dos fluxos de entradas e saídas; a metodologia e as categorias de impacto, as quais representam as questões ambientais que são relevantes quando associadas aos resultados da análise do inventário do ciclo de vida; os requisitos e qualidade dos dados a serem coletados; além dos pressupostos e limitações do estudo.

Dos elementos definidos na primeira fase da ACV, a tarefa crucial está na escolha da unidade funcional, principalmente se o estudo for comparativo, pois ela deve, além de ser relevante para o sistema estudado, permitir uma comparação justa entre os produtos analisados. Com relação à ACV aplicada no gerenciamento de resíduos, a unidade funcional pode ser, por exemplo, a coleta e tratamento dos resíduos em uma determinada região e período de tempo, expressa em quilograma ou tonelada de resíduo gerado (MANFRED & PANT, 2013; EKVALL *et al.*, 2007).

A segunda fase da ACV, **inventário do ciclo de vida (ICV)**, compreende a coleta de dados para quantificar as entradas e saídas relevantes do sistema estudado. Desta maneira, devem ser coletados dados quantitativos e qualitativos para cada processo elementar incluído na fronteira do sistema, de modo que sejam correlacionados à unidade funcional para posterior agregação e análise.

Na terceira fase, **avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)**, os resultados do balanço das entradas e saídas realizado na fase de inventário são traduzidos em impactos ambientais potenciais, a partir dos quais é possível avaliar a magnitude e a significância do desempenho ambiental do sistema de produto estudado.

E por fim, a quarta fase é a da **interpretação** dos resultados, a qual ocorre paralelamente às demais fases com o intuito de interpretar os impactos ambientais em conjunto com os resultados do inventário com o intuito de verificar se os mesmos estão coerentes com o objetivo e escopo definidos para garantia de maior robustez do estudo.

Quanto à aplicação da ACV no gerenciamento de resíduos, a Diretiva Europeia 2008/98/EC deixa claro a relação complementar entre a hierarquia de resíduos e o Pensamento do Ciclo de Vida quando afirma que os Estados-Membros, ao aplicar a

hierarquia dos resíduos, buscam a opção de tratamento que apresente melhor resultado ambiental. Porém, em determinadas situações, não é possível identificar somente pela hierarquia dos resíduos e é justamente nesses casos que a aplicação do Pensamento do Ciclo de Vida, representado pela metodologia quantitativa da ACV, faz-se necessária para identificação e avaliação dos impactos ambientais associados ao tipo de tratamento em questão.

De acordo com Ekvall *et al.* (2007), a aplicação da ACV no gerenciamento de resíduos permite identificar e quantificar os principais benefícios ambientais de cada tipo de tratamento, como por exemplo:

- A incineração de resíduos com recuperação energética reduz a necessidade de se utilizar outras fontes de energia;
- A reciclagem de materiais permite a substituição de algumas matérias primas, reduzindo a necessidade de recursos naturais;
- Tratamento biológico pode reduzir a necessidade de produção de fertilizantes artificiais e combustíveis fósseis;
- As cinzas oriundas do processo de incineração de resíduos podem ser utilizadas na construção civil.

Entretanto, ainda segundo os autores, a aplicação da ACV como ferramenta de apoio à decisão no gerenciamento de resíduos e formulação de políticas públicas envolve certas restrições, que muitas vezes são ligadas às próprias limitações metodológicas da ACV ou as inerentes ao contexto dos resíduos. Entre as limitações metodológicas da ACV, destacam-se as arbitragens que o responsável pelo estudo deve fazer com relação à determinação do período de tempo a ser analisado, bem como suposições e alocações de impactos, além da própria questão da fonte de dados, que muitas vezes não é fidedigna.

Já com relação às limitações da aplicação da metodologia no contexto dos resíduos, esta se torna um método inadequado quando o objetivo é avaliar as alternativas referentes à prevenção da geração dos resíduos, pois é complicado quantificar a não geração. Além disso, a ACV não permite identificar a localização geográfica mais adequada para instalação de determinada unidade de tratamento de resíduos, a não ser que sejam criados cenários considerando as características de cada localização geográfica para que seja avaliada a opção com melhor desempenho ambiental. Por fim, os autores salientam

que a linearidade dos resultados da ACV prejudica análises de *mix* de alternativas de tratamento dos resíduos para indicar níveis ótimos de reciclagem e reutilização por exemplo (EKVALL *et al.*, 2007).

Essas limitações, no entanto, não reduzem a importância do papel da ACV no gerenciamento dos resíduos, pelo contrário: elas precisam ser conhecidas a fim de garantir a realização de um estudo robusto para auxílio nos processos de tomada de decisão.

4.3.1. A Avaliação do Ciclo de Vida aplicada aos biorresíduos

Quando há incertezas com relação à escolha da alternativa de tratamento de resíduos mais adequada sob o ponto de vista ambiental a partir da simples aplicação da hierarquia dos resíduos, faz-se necessária a adoção da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida como ferramenta complementar. A ACV serve como poderoso instrumento no apoio à decisão em gerenciamento de resíduos, pois permite identificar e avaliar os impactos ambientais potenciais associados à determinada opção de tratamento no contexto específico em que esta será aplicada.

Dessa forma, a ACV apresenta-se como valiosa ferramenta de apoio à decisão não só no gerenciamento de resíduos em geral como também dos biorresíduos e, justamente por tal importância, que o Centro de Pesquisa da União Europeia elaborou um Guia Prático de Gerenciamento de Biorresíduos com aplicação do Pensamento do Ciclo de Vida e Avaliação do Ciclo de Vida (*Supporting Environmentally Sound Decisions for Bio-Waste Management*). Este guia reúne um conjunto de orientações aos tomadores de decisão (formadores de políticas públicas e gestores envolvidos na gestão de resíduos) em biorresíduos a fim de que se realize um gerenciamento ambientalmente adequado deles. É importante salientar que este Guia é direcionado especificamente aos biorresíduos, mas pode ser estendido aos demais resíduos orgânicos.

De acordo com o Guia, o primeiro passo para um gerenciamento adequado dos biorresíduos está no reconhecimento de que decisões precisarão ser tomadas, para as quais devem estar claramente definidas as opções de tratamento disponíveis bem como

os principais aspectos ambientais a serem considerados. Com isso, tem-se a seguinte árvore de decisão:

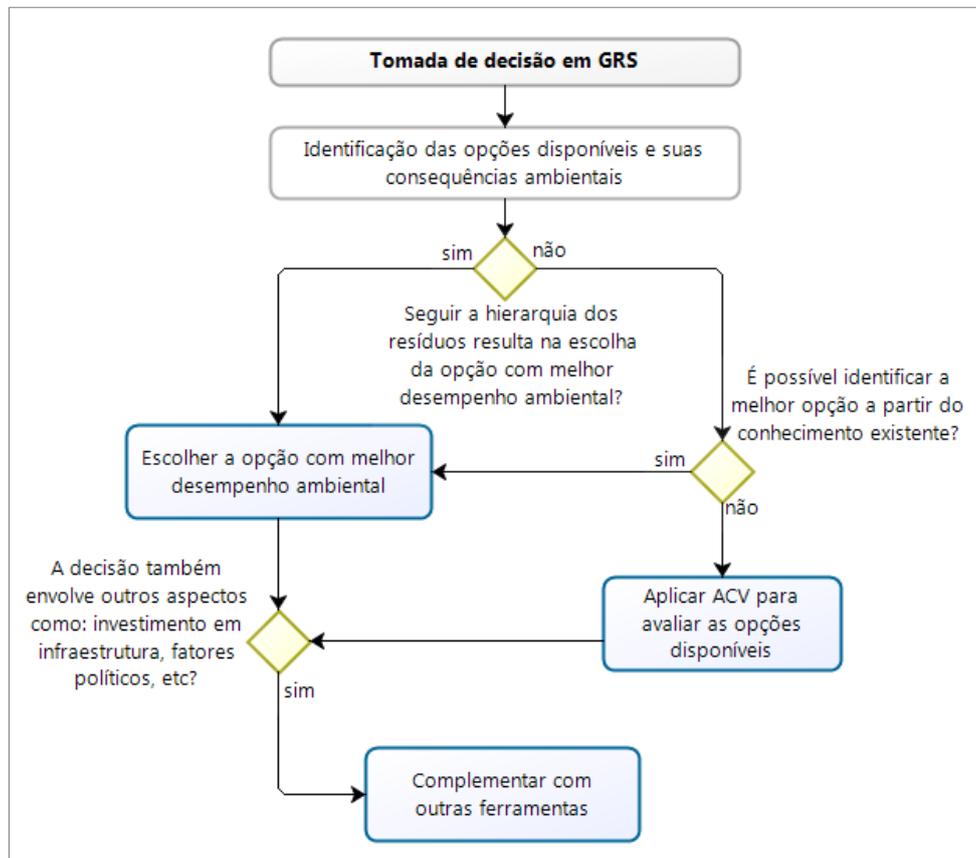


Figura 8 - Como considerar o PCV na tomada de decisão em GRS
 Fonte: Elaboração própria com base em UNIÃO EUROPEIA (2011).

Conforme mostrado no fluxograma da figura 8, todos esses passos servem para o processo de tomada de decisão no gerenciamento dos biorresíduos. O primeiro passo para condução de um gerenciamento adequado consiste na identificação das opções de tratamento disponíveis e suas principais consequências ambientais. Para isso, é preciso que haja uma descrição detalhada de cada uma delas assim como dos potenciais impactos ambientais envolvidos.

Em seguida, deve-se verificar se a hierarquia dos resíduos resulta na escolha da melhor alternativa de tratamento em termos de desempenho ambiental. Caso não haja certeza do desempenho ambiental de uma ou outra forma de tratamento do resíduo nas condições locais e contexto analisado, a tomada de decisão pode ser feita a partir de informações já disponíveis. Se estas informações não forem suficientes para garantir a escolha da melhor alternativa de tratamento do resíduo, faz-se necessária a aplicação da

Avaliação do Ciclo de Vida para identificação da melhor opção em termos ambientais. Entretanto, se aspectos como os sociais, econômicos, políticos e de infraestrutura forem relevantes no contexto analisado, o processo de escolha da opção de tratamento deve levar em conta também esses aspectos, acarretando em uma análise mais complexa por meio da aplicação conjunta da ACV com outras ferramentas (S-ACV, CCV, etc).

Assim, algumas informações tornam-se relevantes para garantia de um gerenciamento adequado dos biorresíduos (UNIÃO EUROPEIA, 2011):

1. Quantidade de resíduo gerado

É importante saber de quanto é a geração do biorresíduo (t/mês por exemplo), pois dependendo da quantidade gerada, uma ou outra alternativa de tratamento será viável técnica e/ou economicamente.

2. Qualidade do biorresíduo

A qualidade do biorresíduo engloba suas características físico-químicas, como relação carbono/nitrogênio (C/N), biodegradabilidade e se há contaminação com outras substâncias ou não. A avaliação da qualidade do biorresíduo possibilita a identificação das opções de tratamento mais adequadas. A compostagem de um biorresíduo contaminado, por exemplo, produz um composto contaminado, impossibilitando sua aplicação na agricultura. Isso significa portanto, que a compostagem torna-se um tratamento inadequado para um um biorresíduo contaminado.

3. Existência de mercado consumidor para os produtos do tratamento

Conforme mostrado na sessão anterior, cada método de tratamento do biorresíduo resulta em determinado tipo de produto, desde fertilizante até combustível veicular. Nesse sentido, é importante verificar se há mercado consumidor para o produto resultante do tratamento em questão.

4. Disponibilidade física

Em determinadas regiões, a disponibilidade de espaço físico para o tratamento dos biorresíduos torna-se um aspecto relevante e deve ser considerada no processo decisório.

O gerenciamento dos biorresíduos envolve uma série de decisões, para as quais são fundamentais essas informações. Portanto, o levantamento dessas informações cria, um arcabouço de conhecimento que auxilia na escolha do método de tratamento com melhor desempenho ambiental em dado contexto específico. A aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida mostra-se como ferramenta auxiliar quando não é possível determinar claramente a melhor opção de tratamento baseando-se somente pela ordenação proposta na hierarquia dos resíduos.

A seguir, é apresentado um conjunto de decisões que devem ser tomadas no gerenciamento dos biorresíduos:

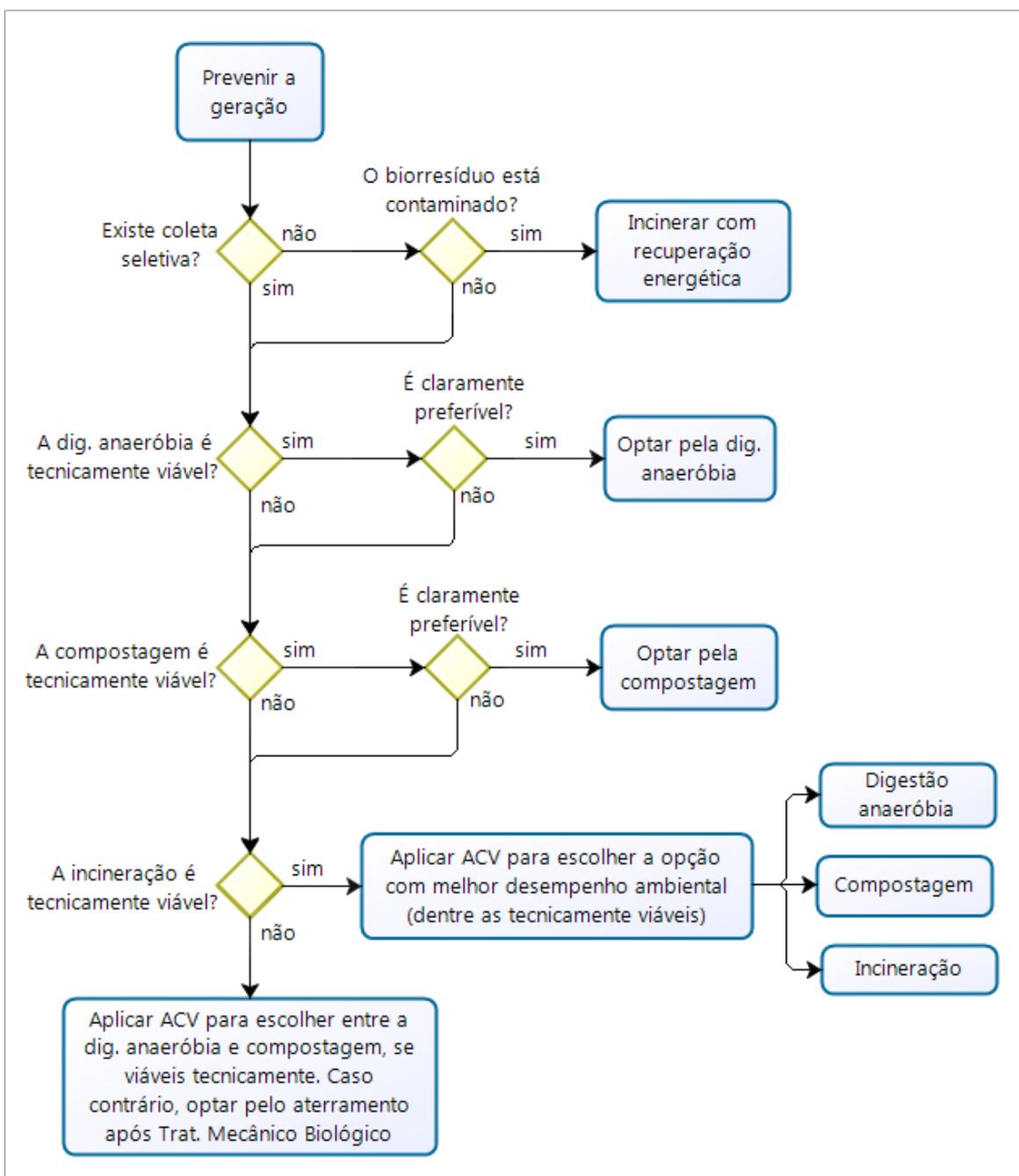


Figura 9 - Orientações para gerenciamento dos biorresíduos
 Fonte: Adaptado de UNIÃO EUROPEIA (2011).

De acordo com as orientações indicadas no fluxograma da Figura 9, a primeira decisão no gerenciamento dos biorresíduos é a de prevenir a geração do resíduo. Isso envolve a adoção de medidas que visam a não produção do biorresíduo, ou seja, de ações de prevenção que devem ser continuamente realizadas a fim de evitar perdas e desperdício de alimentos, preferencialmente em todas as etapas de seu ciclo de vida (cultivo, processamento, distribuição, comercialização e consumo). Neste momento também deve ser buscada a não contaminação do biorresíduo, o que significa a implementação de um sistema de coleta seletiva dos resíduos.

O próximo passo no gerenciamento do biorresíduo consiste na escolha da alternativa de tratamento com melhor desempenho ambiental e, para isso, é seguida a ordem de preferência apresentada pela hierarquia dos resíduos, exceto para situações em que há contaminação do biorresíduo, pois se o mesmo estiver contaminado por substâncias perigosas como substâncias patogênicas, metais pesados ou apresentar elevada quantidade de material inorgânico misturado, opta-se pela incineração com recuperação energética. Vale ressaltar que, com exceção dos metais pesados, cuja remoção não é trivial, é possível realizar o processo de digestão do biorresíduo contaminado, pois alguns microrganismos são destruídos em temperaturas elevadas e os materiais inorgânicos podem ser parcialmente removidos após tratamento mecânico.

Caso o biorresíduo não esteja contaminado, a primeira alternativa de tratamento a ser considerada é a digestão anaeróbia. Opta-se pela digestão anaeróbia se esta for tecnicamente viável e opção claramente preferível sob o ponto de vista ambiental.

Em contrapartida, caso a digestão anaeróbia não se apresente como uma alternativa tecnicamente viável, a compostagem passa a ser a próxima alternativa considerada. Opta-se pela compostagem se esta for tecnicamente viável e ambientalmente preferível, caso contrário, a incineração passa a ser a próxima alternativa de tratamento considerada.

Nos casos onde a incineração é tecnicamente viável, realiza-se um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida para determinação da opção, dentre as que apresentam viabilidade técnica, com melhor desempenho ambiental. Assim, se tanto a digestão anaeróbia quanto a compostagem e a incineração forem viáveis do ponto de vista técnico, faz-se necessária a aplicação da ACV para identificação da opção ambientalmente preferível.

Caso a incineração do biorresíduo não seja tecnicamente viável, deve-se realizar um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida entre os tratamentos de digestão anaeróbia e compostagem (se viáveis do ponto de vista técnico). Se nenhum deles for tecnicamente viável, a opção é o aterramento do biorresíduo após tratamento mecânico biológico (TMB), de preferência.

Desta maneira, a condução de um estudo de Avaliação de Ciclo de Vida faz-se necessário quando não há certeza do desempenho ambiental entre as opções de tratamento tecnicamente viáveis, de modo que um estudo de ACV comparativo possibilita a escolha da opção com os menores impactos ao meio ambiente.

Vale ressaltar que o biorresíduo é uma biomassa e, logo, é fonte de matéria e energia. Escolher a opção de tratamento ambientalmente preferível significa selecionar a alternativa que permite maior aproveitamento dessas duas características. Em outras palavras, assim como é buscada a alternativa de tratamento que resulte nos maiores benefícios ambientais, também devem ser consideradas as melhores opções de coleta e tratamento do biorresíduo em termos de reciclagem e recuperação energética do biorresíduo (COMISSÃO EUROPEIA, 2008). Nesse sentido, a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida pode auxiliar na avaliação ambiental das diversas combinações de gerenciamento do biorresíduo.

Até agora, foram apresentados os principais aspectos do gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos e da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida. Para que se cumpra a proposta do presente trabalho, é necessário conhecer o estado da arte dos resíduos sólidos no Brasil, bem como o papel da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

5. PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

O presente capítulo aborda as principais considerações abarcadas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, a qual se configura como um divisor de águas no gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil. Traz também um breve panorama dos resíduos sólidos do país, do estado e do município do Rio de Janeiro.

5.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos

Considerada um marco regulatório no setor dos resíduos sólidos no Brasil, a lei 12.305 de agosto de 2010, regulamentada pelo Decreto nº 7.404/10, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que reúne um conjunto de princípios, objetivos, metas, instrumentos e diretrizes que devem ser adotados pelos estados, municípios e empresas em busca da gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

Tramitada no Governo por mais de vinte anos, a PNRS é considerada como um passo importante na evolução do gerenciamento de resíduos sólidos no país, pois mesmo tendo legislação que contemplasse de certa maneira a problemática da gestão de resíduos sólidos, o Brasil sempre careceu de um sistema legal que unificasse princípios, diretrizes, objetivos e instrumentos relacionados ao gerenciamento desses resíduos.

Antes da PNRS, a problemática dos resíduos sólidos era tratada apenas pela Constituição Federal e algumas leis, normas e resoluções. A Constituição de 1988 considera que a União, os estados e os municípios são responsáveis pela proteção do meio ambiente e combate a toda e qualquer forma de poluição; a lei 9.966/00 dispõe sobre a fiscalização, prevenção e controle dos danos causados pelo lançamento de óleo e outras substâncias nocivas em águas sob jurisdição nacional; a resolução CONAMA nº 313 de 2002 dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais para que sejam fornecidas informações sobre geração, armazenamento, transporte, reutilização, tratamento e disposição final dos resíduos oriundos de atividades industriais.

No que tange à legislação local, muitos estados e municípios já tinham legislação para o setor de resíduos mesmo antes da PNRS, como o caso do Rio de Janeiro, cuja lei 4.191

de 2003 dispunha sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e o decreto 41.122 de 2008, que instituiu o plano diretor de gestão de resíduos sólidos na região metropolitana. Nesse sentido, Yoshida (2012) salienta a dificuldade existente em alinhar essa legislação precedente às diretrizes da PNRS.

A PNRS aplica-se a todo tipo de resíduo, desde os domiciliares até os perigosos, com exceção dos radioativos. Nasceu com caráter adicional às leis 11.445/07 (Lei do Saneamento Básico), 9.974/00 (altera a lei 7.802/89 que dispõe sobre inspeção e fiscalização de agrotóxicos), 9.966/00 (dispõe sobre inspeção e fiscalização dos lançamentos de óleos e outras substâncias na água) e às normas dos Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

Na PNRS são estabelecidos objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos, orientados pelos seguintes princípios (BRASIL, 2010):

- i. Prevenção e precaução;
- ii. Poluidor-pagador e Protetor-recebedor;
- iii. Visão sistêmica da gestão dos resíduos sólidos, onde são consideradas não só as variáveis ambientais como também as sociais, culturais, econômicas e tecnológicas;
- iv. Desenvolvimento Sustentável;
- v. Ecoeficiência;
- vi. Cooperação entre as diferentes esferas (pública, privada, sociedade);
- vii. Responsabilidade Compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- viii. Reconhecimento de que o resíduo sólido é reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, do qual é possível gerar trabalho e renda;
- ix. Respeito às diversidades locais e regionais;
- x. Direito à informação e ao controle por parte da sociedade;
- xi. Razoabilidade e proporcionalidade.

Dentre os princípios listados acima, o que merece destaque por seu caráter inovador na legislação brasileira é o da Responsabilidade Compartilhada pelo Ciclo de Vida dos

produtos, onde estabelece que todos os atores (indústria, comércio, importadores, poder público e consumidores) são responsáveis pelos resíduos sólidos gerados, atuando não só na redução de geração desses resíduos como também na redução do desperdício de materiais, da poluição e dos danos ambientais. Dessa maneira, o princípio da Responsabilidade Compartilhada faz com que cada ator possua responsabilidade por cada etapa do ciclo de vida do produto de modo a reduzir os impactos ao meio ambiente e à saúde humana durante o ciclo de vida dos produtos.

Entre os principais objetivos da PNRS, enquadram-se (BRASIL, 2010):

- Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento de resíduos sólidos;
- Disposição final dos rejeitos de forma ambientalmente adequada;
- Racionalização do uso de recursos naturais, como água, energia e insumos, nos processos produtivos diversos;
- Intensificação dos esforços de educação ambiental;
- Aumento da reciclagem no país;
- Promoção da inclusão social, bem como geração de emprego e renda para os catadores de materiais recicláveis.

Assim sendo, através de seus princípios e objetivos, a PNRS traz importantes temas como a reavaliação dos padrões de consumo da sociedade, reciclagem de materiais, oportunidades de novos negócios com viés socioambiental, *ecodesign*, inclusão social e logística reversa. Este último é de grande relevância, pois propõe que os resíduos sólidos sejam coletados e encaminhados novamente ao setor empresarial, o qual pode reaproveitá-los em seu ciclo produtivo ou encaminhá-los para uma destinação final que seja ambientalmente adequada.

Um ponto que merece destaque na PNRS é que ela traz metas para os municípios brasileiros. Uma delas é o início imediato de programas de coleta seletiva, com participação de associações e cooperativas de catadores de materiais recicláveis, além de campanhas de educação ambiental para conscientizar a população acerca da importância da separação dos resíduos na fonte geradora. Outra meta diz respeito ao encerramento dos lixões até 2014 e implantação de aterros sanitários, preferencialmente compartilhados, que recebam somente os rejeitos.

Para que a meta de disposição apenas de rejeitos nos aterros sanitários seja alcançada, a PNRS prevê a recuperação das áreas degradadas pelos lixões, a separação dos resíduos domiciliares na fonte em secos e úmidos, a coleta seletiva dos resíduos secos pelo sistema do porta a porta ou pela implantação de locais de entrega voluntária de resíduos recicláveis, a compostagem dos resíduos orgânicos, separação dos resíduos volumosos (como móveis por exemplo), segregação dos resíduos de serviços de saúde (RSS) e de resíduos da construção e demolição (RCD) ou reciclagem dos resíduos de classe A e B.

De forma semelhante à legislação europeia, a PNRS estabelece uma ordem de prioridade no gerenciamento de resíduos sólidos, cuja opção mais desejável é a não geração, seguida pela redução, reutilização, reciclagem e tratamento para disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Entretanto, diferentemente de alguns países da Europa, o Brasil apresenta questões sociais relevantes e que devem ser levadas em conta. Por esta razão, a PNRS orienta que também sejam considerados aspectos sociais como geração de emprego e renda no processo decisório em gerenciamento de resíduos sólidos, principalmente no que diz respeito à inclusão social e econômica de catadores de materiais recicláveis.

Um dos instrumentos da PNRS é a criação de um banco de dados do setor de resíduos sólidos. Chamado de Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), esse sistema de informações já está disponível para consulta pública, mas os dados mais atuais disponíveis referem-se ao ano de 2010. A proposta é que o SINIR atue em conjunto com o Sistema Nacional de Informação com o Meio Ambiente (SINIMA), o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SINIS), entre outros, porém informações com relação ao gerenciamento dos resíduos sólidos no Brasil ainda são muito precárias, principalmente nos níveis estadual e municipal.

Fica claro, portanto, que a PNRS trouxe conceitos importantíssimos para a problemática dos resíduos sólidos no país, não só a partir de um conjunto de normas com vistas à gestão e a destinação adequada dos resíduos sólidos, como também a partir de uma doutrina avançada de gestão. Entretanto, cabe ressaltar que na mesma intensidade revolucionária e inovadora, a PNRS mostra-se complexa no que diz respeito à implementação da gestão integrada e do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos calcados nas diretrizes referentes à logística reversa, ao tratamento dos resíduos e

disposição final dos rejeitos, além da preocupação da inclusão social de catadores na cadeia de reciclagem (YOSHIDA, 2012).

5.2. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, estado e cidade do RJ

Desde 2003, a ABRELPE (Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais) divulga o Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil, que reúne dados e informações sobre a geração, coleta e destinação de resíduos sólidos urbanos, oriundos de serviços de saúde e do setor de construção civil. Para o presente trabalho, serão apresentados a seguir os principais dados do Panorama elaborado pela ABRELPE. Entretanto, cabem ressalvas quanto aos dados nele contidos, pois a metodologia utilizada por esta Associação pode tender a privilegiar as empresas de limpeza pública. Além disso, a representatividade da amostra dos municípios pesquisados é de apenas 51,3% da população total urbana do país, ou seja, uma representatividade pequena dadas as dimensões continentais do Brasil e as disparidades regionais, corroborando assim a falta de robustez dos dados.

Tabela 3 - Geração, coleta e destinação final dos RSU no Brasil

	2010	2011	2012
Cobertura do serviço de coleta	89,8%	89,7%	90,2%
Geração de RSU no Brasil (<i>milhões toneladas/ano</i>)	60,9	61,9	62,7
Coleta de RSU no Brasil (<i>milhões toneladas/ano</i>)	54,2	55,5	56,6
Destinação final adequada	57,60%	58,10%	58,00%
Aterro sanitário	57,60%	58,10%	58,00%
Destinação final inadequada	42,40%	41,90%	42,00%
Aterro controlado	24,30%	24,20%	24,20%
Lixão	18,10%	17,70%	17,80%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da ABRELPE (2013).

Os dados apresentados na tabela acima mostram que o Brasil ainda possui grandes desafios com relação ao gerenciamento de seus resíduos sólidos. O principal deles refere-se à destinação final, pois uma parcela significativa de resíduos sólidos ainda são

dispostos de forma inadequada. Além disso, há o desafio com relação à cobertura do serviço de coleta, que cresceu timidamente nestes últimos três anos. Os dois gráficos apresentados nas figuras a seguir permitem comparar o Brasil com restante do mundo no que diz respeito à geração e composição de seus resíduos sólidos.

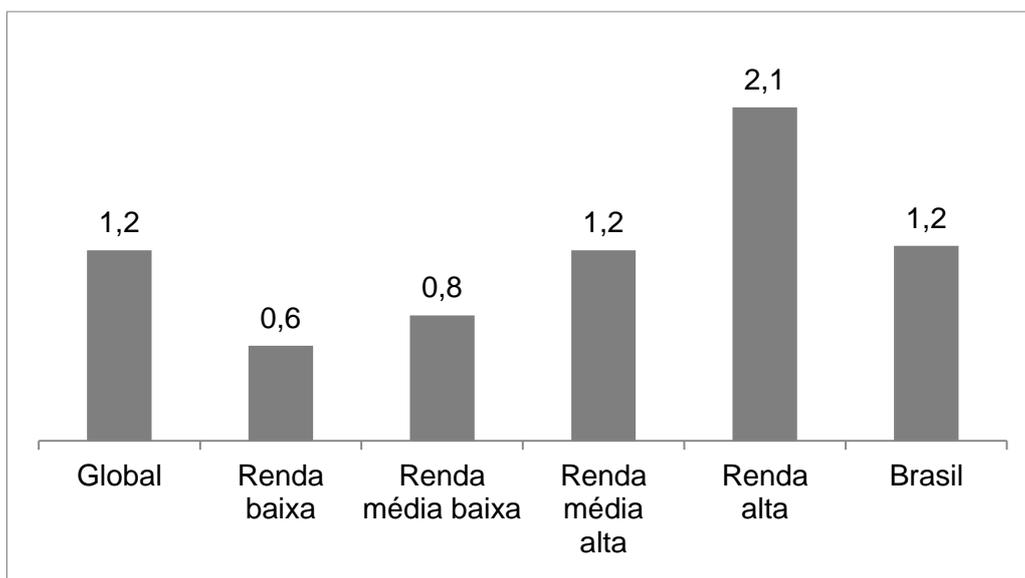


Figura 10 - Geração *per capita* de RSU (kg/dia)

Fonte: Elaboração própria a partir de World Bank (2012) e ABRELPE (2013).

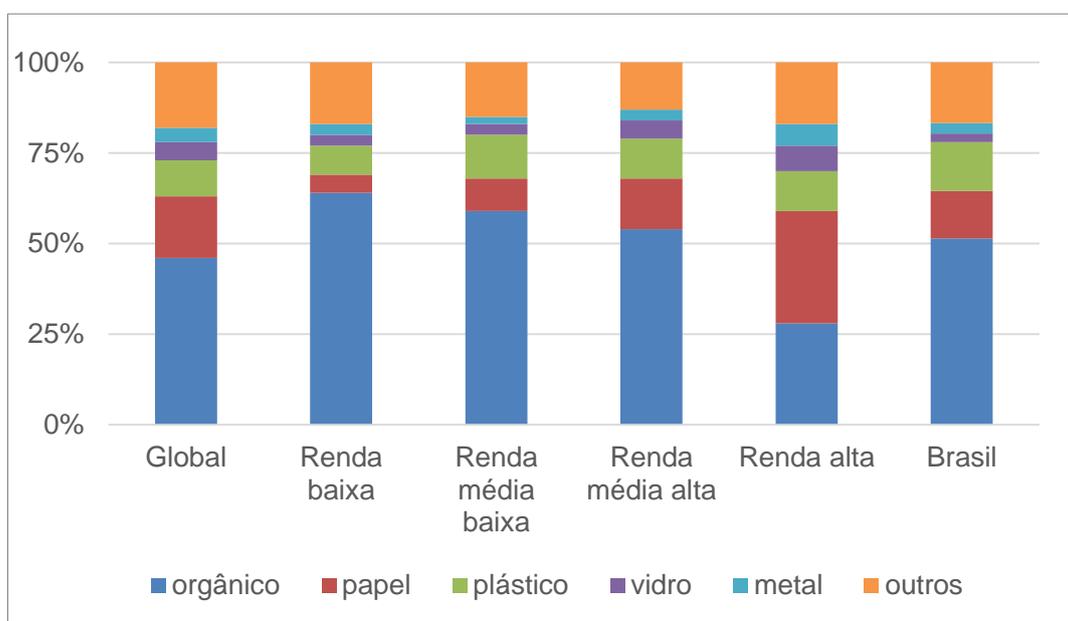


Figura 11 - Composição dos RSU

Fonte: Elaboração própria a partir de World Bank (2012) e ABRELPE (2013).

A partir do primeiro gráfico, é possível observar que a geração *per capita* de resíduos sólidos urbanos no Brasil, isto é, resíduos sólidos domiciliares e de limpeza pública, está em linha com a média do grupo dos países com renda média alta. Grupo este no qual, segundo World Bank (2012), o Brasil está inserido juntamente com outros países como Cuba, México, África do Sul, Venezuela, entre outros.

Já o segundo gráfico, que traz a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos, evidencia que o a participação da parcela orgânica de fato é menor em países com maior índice de desenvolvimento. No Brasil, a participação dos resíduos orgânicos é um pouco menor que a média do grupo dos países com renda média alta e cerca de 80% maior que a participação da parcela orgânica dos países com renda alta.

Com relação ao total de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil, mais da metade está concentrada na região sudeste, representando mais de 52% do total gerado no país. O Rio de Janeiro é o segundo estado que mais gera resíduos sólidos da região sudeste, atrás somente de São Paulo (ABRELPE, 2013).

Predominantemente urbano, o estado do Rio de Janeiro possui 92 municípios que totalizam quase 16 milhões de pessoas. Deste total, cerca de 12 milhões vivem em áreas urbanas, representando 97% da população total do estado, onde a maioria da população reside na região metropolitana¹³. Quanto à geração de resíduos sólidos urbanos, a região metropolitana representa 83% da geração total do estado e possui maior índice *per capita*, com geração média de 1,19 kg/dia (SEA, 2013).

Segundo dados do Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro (PERS), os resíduos orgânicos representam mais da metade dos resíduos sólidos urbanos gerados pelo estado. Porém, vale ressaltar que a representatividade dos resíduos orgânicos na geração total varia em função do porte do município e de seu desenvolvimento econômico, conforme pode ser observado na composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos mostrada na Figura 12.

¹³ Abrange os seguintes municípios: Rio de Janeiro, Belford Roxo, Duque de Caxias, Guapimirim, Itaboraí, Japeri, Magé, Maricá, Nilópolis, Mesquita, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, São Gonçalo, São João de Meriti, Seropédica, Tanguá e Itaguaí.

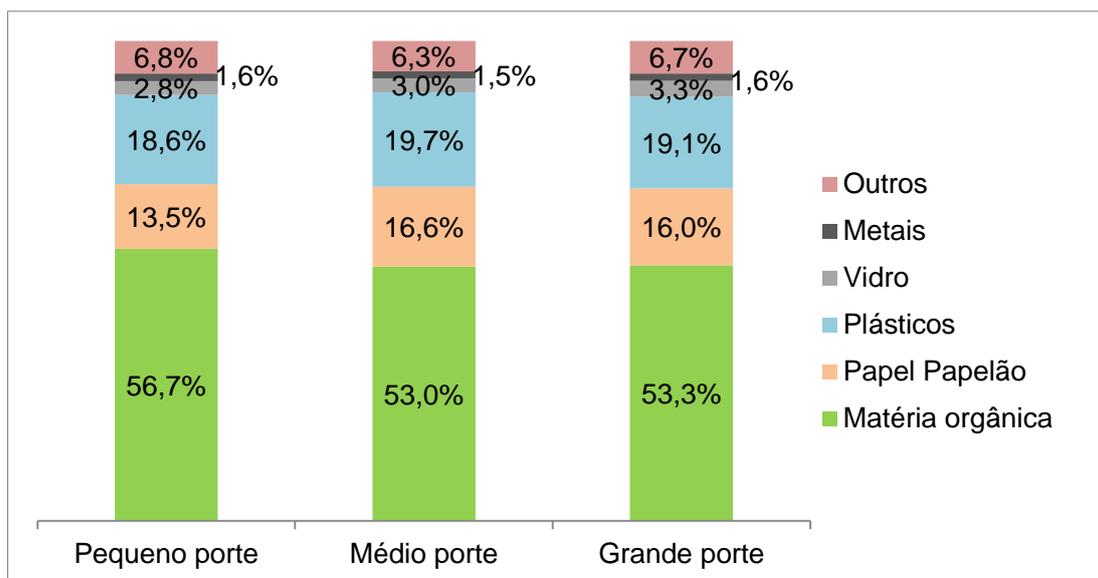


Figura 12 - Composição dos RSU do estado do RJ por perfil de município
 Fonte: Elaboração própria com base em SEA (2013).

Desta maneira, a parcela dos resíduos orgânicos provenientes da coleta domiciliar e limpeza pública é mais representativa em municípios que têm população com até 100 mil habitantes. Em municípios de médio e grande porte, este último com população que ultrapassa 1 milhão de habitantes, os resíduos orgânicos representam mais da metade do total de resíduos sólidos urbanos gerados, o que está em linha com a composição gravimétrica do Brasil, pois por se tratar de um país em desenvolvimento, os resíduos orgânicos são os que possuem maior participação. Com isso, estima-se que a geração de resíduos sólidos urbanos no estado do Rio de Janeiro é da ordem de 6 milhões de toneladas por ano, dos quais 3 milhões são matéria orgânica (SEA, 2013).

Esses números evidenciam a grande relevância de se possuir um gerenciamento adequado não só dos resíduos sólidos urbanos em geral, mas principalmente dos resíduos orgânicos. Por esta razão, os municípios devem atuar na implantação de coleta seletiva e de sistemas de compostagem, este último estratégico para redução dos resíduos sólidos orgânicos dispostos em aterros sanitários.

O setor de resíduos sólidos é o segundo maior emissor de gases de efeito estufa (GEE) do município, atrás somente do setor de transportes conforme evidenciado no gráfico da Figura 13. Por esta razão, o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos é de extrema relevância para atendimento das metas de redução das emissões de GEE da cidade. De acordo com a Lei Municipal de Mudanças Climáticas (Lei n.º 5.248 de 27.01.2011), o

município do Rio de Janeiro deve reduzir suas emissões de GEE em 16% até 2016 e em 20% até 2020.

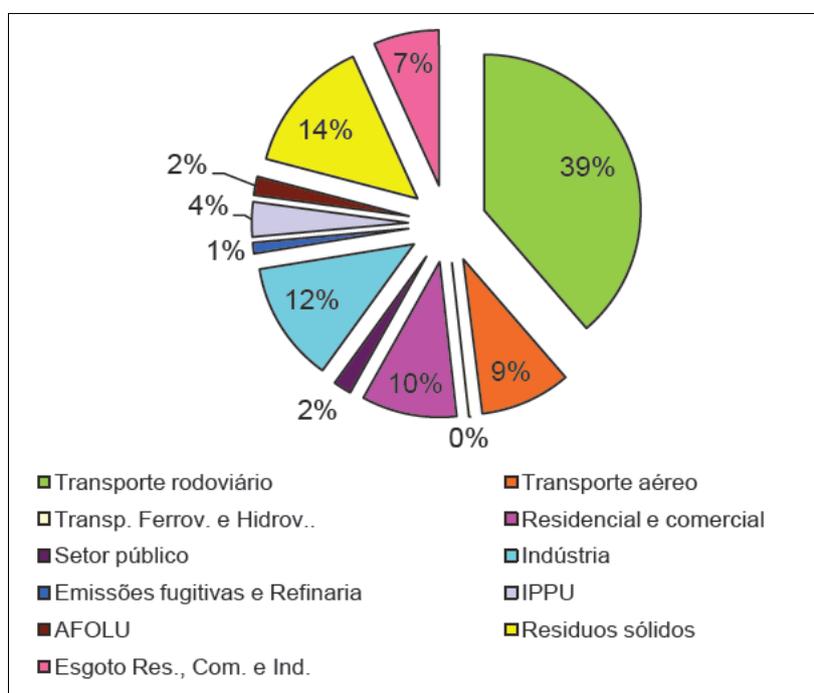


Figura 13 - Participação dos setores na emissão de GEE na cidade do RJ
Fonte: SMAC/COPPE (2011).

Ainda com relação às emissões de GEE, 98% da emissão do total de resíduos sólidos do município referem-se aos resíduos sólidos urbanos, já os resíduos sólidos industriais correspondem a apenas 2% das emissões totais (SEA/COPPE, 2011). Isso ocorre não somente pela parcela de geração de RSU, que é maior, mas principalmente pelo fato de que os RSU, em função da elevada presença de matéria orgânica, emitem gás metano quando submetidos a situações de ausência de oxigênio (anaerobiose), que normalmente ocorre quando são aterrados.

Mesmo antes de exigido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, o município do Rio de Janeiro elabora o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), revisto a cada quatro anos em conformidade com a Lei Municipal n.º 4.969 de 2008. No Plano é feito o diagnóstico da situação da gestão dos resíduos sólidos na cidade bem como os objetivos e metas a serem alcançados. Entre os principais objetivos do Plano, destacam-se (SMAC, 2012):

- Proteção da saúde pública e do meio ambiente;
- Incentivo à coleta seletiva, a reutilização e a reciclagem de modo a reduzir a quantidade de resíduos sólidos;
- Garantia de adequada disposição final dos resíduos a partir de técnicas ambientalmente sustentáveis e propiciadoras do aproveitamento energético;
- Definir o papel do setor privado e da sociedade civil na gestão dos resíduos e suas responsabilidades no que tange o cumprimento dos objetivos especificados;
- Geração benefícios sociais e a busca da sustentabilidade econômica dos serviços ligados ao gerenciamento dos resíduos de forma a promover o desenvolvimento sustentável;
- Incentivo ao uso de matérias primas e insumos derivados de materiais reciclados bem como o desenvolvimento de novos produtos e processos a fim de estimular o uso de tecnologias ambientalmente sustentáveis.

Entre as metas do PMGIRS, destacam-se: a garantia de que 50% dos resíduos provenientes das atividades de poda sejam tratados de forma ambientalmente adequada até 2016 e 100% até 2020, com ênfase na compostagem e no aproveitamento energético desde que identificada a alternativa técnica ou ambientalmente viável; e a implementação da coleta seletiva e tratamento (desde que seja técnico, econômico e ambientalmente viável) de 10% da fração orgânica até 2016 e 100% até 2020.

Em consonância com a PNRS portanto, é possível observar que o município do Rio de Janeiro prevê a minimização do volume de matéria orgânica depositada em aterro sanitário, o que requer um gerenciamento adequado desses resíduos. Para o qual, os resultados do presente trabalho, apresentados a seguir, pretendem contribuir.

6. RESULTADOS

Neste capítulo é apresentado um diagnóstico detalhado, na forma de Inventário do Ciclo de Vida, do gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos provenientes dos domicílios da cidade do Rio de Janeiro a fim de contribuir para o desenvolvimento de futuros estudos de Avaliação do Ciclo de Vida do gerenciamento dos resíduos sólidos do município.

6.1. Gerenciamento dos Resíduos Domiciliares da cidade do RJ

O sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro é apresentado a partir dos resultados do Inventário do Ciclo de Vida. Desta maneira, os resultados obtidos são apresentados a seguir com base nos requisitos e orientações da norma ABNT NBR ISO 14044:2009.

Definição do objetivo, aplicação pretendida e público alvo

O objetivo da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida no gerenciamento da matéria orgânica dos resíduos sólidos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro é avaliar os potenciais impactos ambientais associados ao modelo de gerenciamento atual e identificar oportunidades de melhoria em busca do melhor desempenho ambiental. Entretanto, este estudo limita-se somente à etapa de construção do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) e, mesmo o foco do estudo sendo os resíduos orgânicos, o inventário foi elaborado para todos os resíduos sólidos domiciliares já que o sistema de coleta domiciliar é predominantemente misto, isto é, sem separação dos resíduos na fonte geradora.

Embora este estudo contemple somente a construção do ICV dos resíduos orgânicos, esta significa uma grande contribuição para o país, pois o Brasil, além de carecer de um banco de dados¹⁴ estruturado para estudos de ACV, ainda está no processo de construção de um banco de dados para o setor de resíduos.

¹⁴ Na verdade, iniciou-se em 2006 o Programa de Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade Ambiental da Indústria Brasileira, porém há poucos inventários de dados brasileiros publicados na literatura.

Os resultados do inventário podem ser utilizados para condução de futuros estudos de ACV no setor de resíduos a fim de avaliar o desempenho ambiental do gerenciamento atual e, também, poder compará-lo com outras opções de coleta, tratamento e disposição final. Destina-se aos formuladores de políticas públicas e tomadores de decisão do setor de resíduos, a pesquisadores da área, usuários da técnica de ACV e demais interessados no tema.

Definição da unidade funcional, fluxo de referência, fronteira do sistema e sistema de produto

O estudo tem como foco a coleta, o transporte e a disposição final da matéria orgânica putrescível (MOP) produzidas nos domicílios da cidade do Rio de Janeiro, isto é, restos de alimentos e animais mortos. Comumente, a unidade funcional aplicada a estudos de ACV de resíduos baseia-se na quantidade de resíduo gerada por unidade temporal. Neste caso, a unidade funcional escolhida foi a quantidade de matéria orgânica coletada mensalmente nos domicílios da cidade do Rio de Janeiro e encaminhada para destinação final. Consequentemente, o fluxo de referência se dá a partir da composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares, em tonelada de matéria orgânica por mês (t/mês). Como o objeto do estudo é um resíduo, a fronteira do sistema contempla o momento em que o produto virou resíduo até sua disposição final, ou seja, a etapa do fim da vida útil do produto, também chamado de túmulo. Desta maneira, têm-se o sistema de produto representado abaixo:

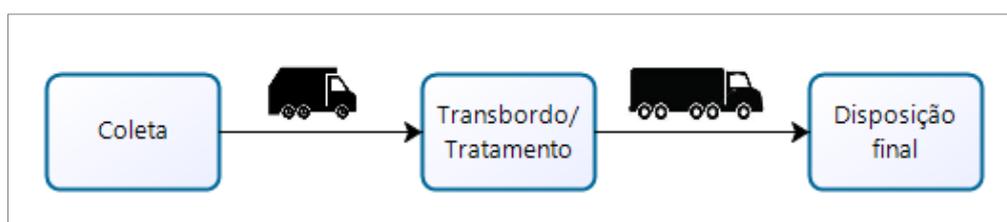


Figura 14 - Representação do sistema de produto
Fonte: Elaboração própria.

Os macroprocessos (Coleta-Transbordo-Disposição), que compõem o sistema de produto definido anteriormente, representam o gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro. A figura a seguir mostra os principais processos envolvidos nesse gerenciamento.

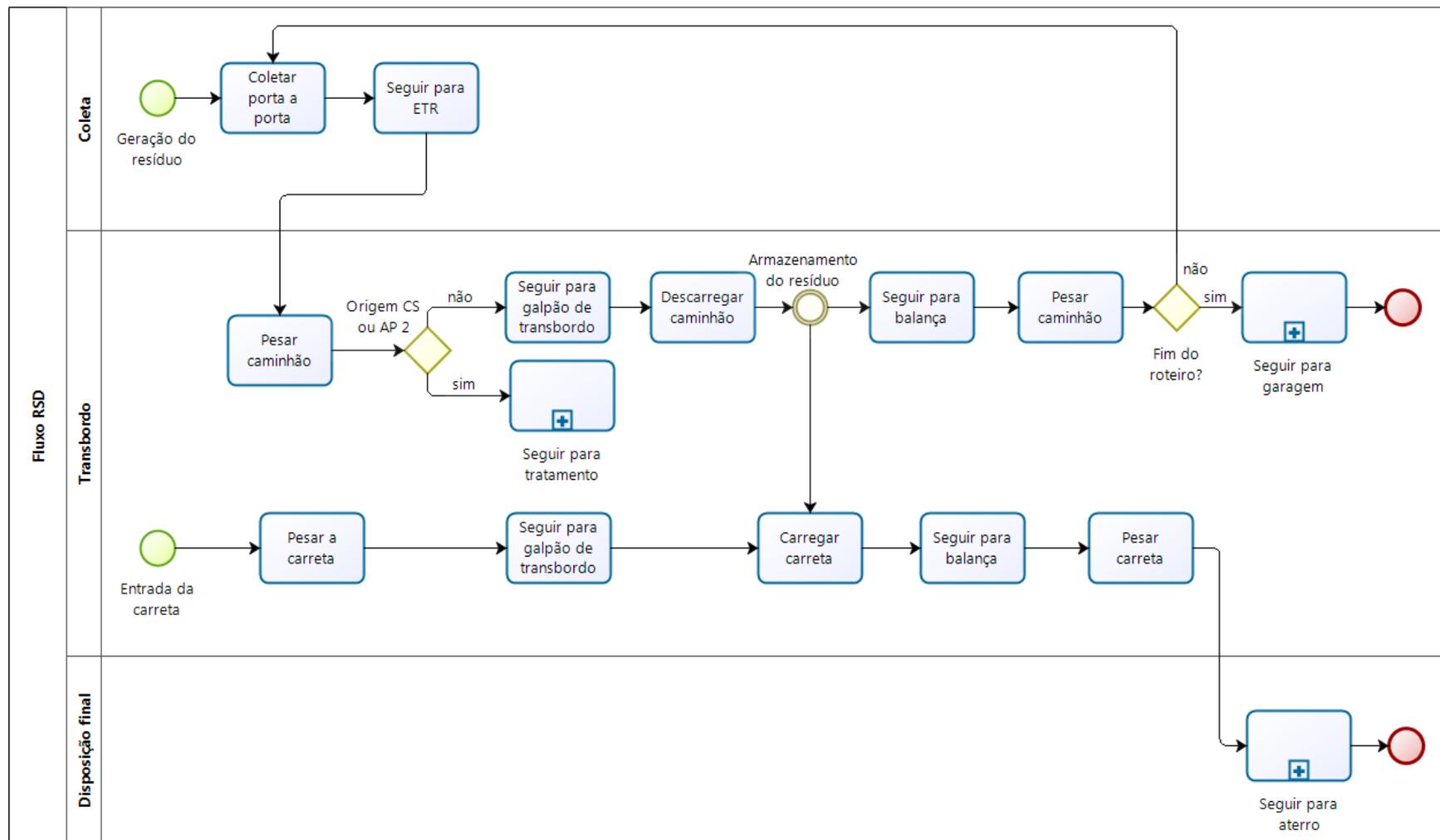


Figura 15 - Processos envolvidos no gerenciamento dos RSD da cidade do RJ
 Fonte: Elaboração própria.

Coleta

O município do Rio de Janeiro ocupa uma área de aproximadamente 1.200 km², onde mais de 2 milhões de domicílios abrigam uma população urbana de quase 6,4 milhões de pessoas (IBGE, 2010). A coleta dos resíduos sólidos domiciliares é realizada exclusivamente pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana (Comlurb), que atende os 160 bairros que formam as 33 regiões administrativas da cidade, divididas em 5 áreas de planejamento conforme apresentado na Figura 16.



Figura 16 - Mapa município do Rio de Janeiro por Áreas de Planejamento
Fonte: Rio Prefeitura, 2013.

Diariamente, são gerados cerca de 10 mil toneladas de resíduos na cidade. Desse total, 12% referem-se à produção de resíduos por Grandes Geradores (GG), que são aqueles com geração diária superior a 60 kg. Os GGs são responsáveis pela coleta e disposição final de seus resíduos e, após aprovação da Lei Municipal 5.538 de 16 de janeiro de 2013, passaram também a ser responsáveis pelo encaminhamento de seus resíduos recicláveis para beneficiamento.

A outra parcela dos resíduos sólidos gerados na cidade, que representa a grande maioria (88%), é de responsabilidade do Poder Público Municipal representado pela Comlurb, a qual tem como objetivo principal a limpeza urbana do município, sendo responsável pelos seguintes serviços:

- Coleta de resíduos domiciliares e limpeza de logradouros;
- Coleta marítima em ilhas da lagoa de Jacarepaguá;
- Remoção de entulho e bens inservíveis;
- Compostagem e produção de combustível derivado do resíduo;
- Limpeza, desinfecção e coleta dos resíduos de hospitais públicos municipais;
- Manutenção de parques e jardins, incluindo poda das árvores;
- Controle de vetores;
- Tratamento e destinação final adequada dos resíduos coletados;
- Fabricação e venda de material recuperado (ex. vassoura e equipamentos urbanos como brinquedos).

Dos resíduos sólidos coletados pela Comlurb, a maior parte tem origem nos domicílios do município (45%), seguida pelos resíduos provenientes da limpeza pública (29%). A Figura 17 mostra a participação de cada tipo de serviço realizado pela Comlurb.

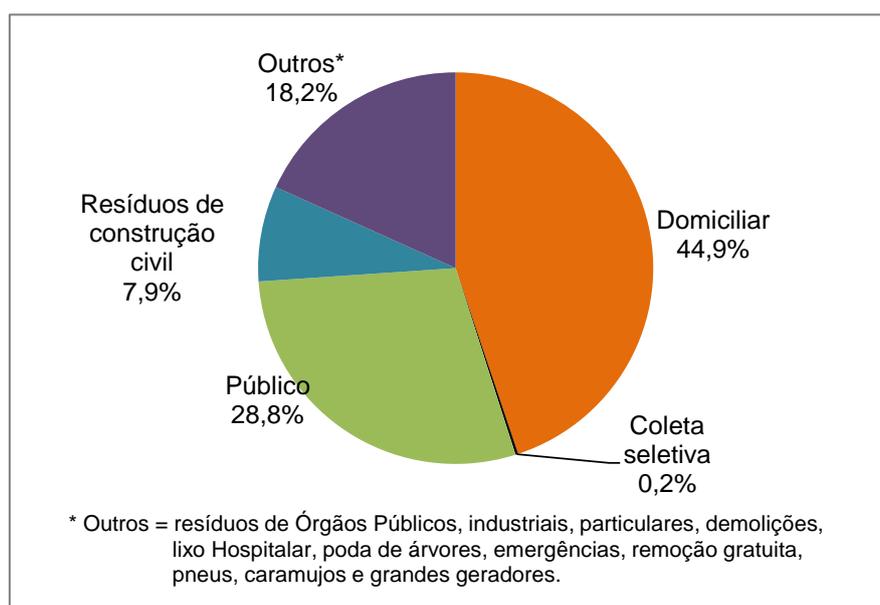


Figura 17 - Resíduos Sólidos coletados pela Comlurb em 2012
Fonte: Comlurb (2013a).

A seguir, é apresentada a geração diária dos resíduos sólidos no município, separados por competência (público ou privado), por tipo de serviço de coleta e material coletado.

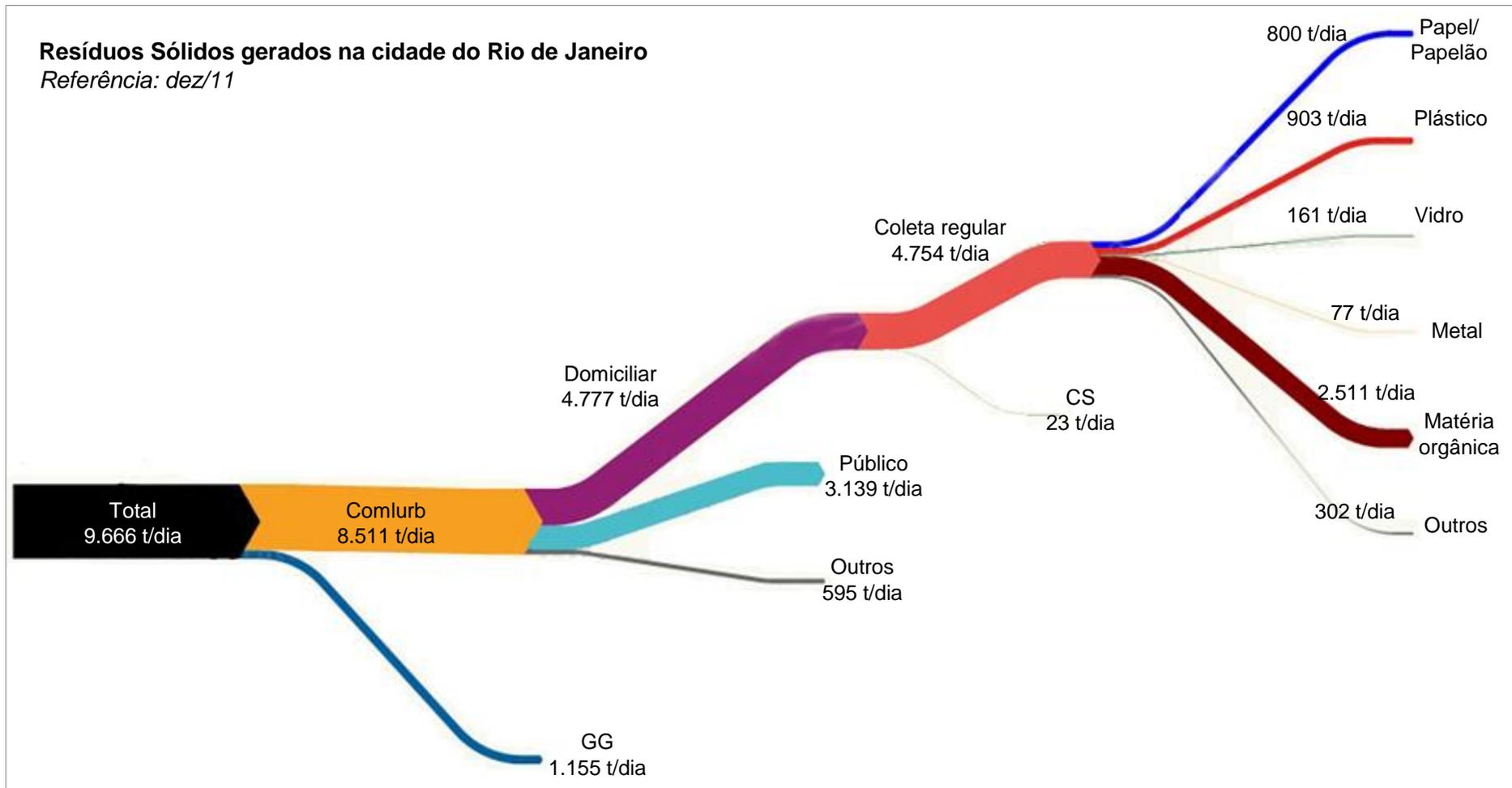


Figura 18 - Geração diária de RS na cidade do Rio de Janeiro
Fonte: Elaboração própria a partir de SMAC (2012).

A partir do fluxo mostrado na Figura 18, é possível observar que o sistema de coleta dos resíduos domiciliares na cidade do Rio de Janeiro é predominantemente misto, o que significa que não há separação dos resíduos na fonte geradora. Em contrapartida, a coleta seletiva ainda é bastante incipiente mesmo três anos após a assinatura de um contrato de aproximadamente 52 milhões entre a Prefeitura do Rio de Janeiro e o BNDES em 2010 para implantação de um Programa de Ampliação da Coleta Seletiva da Cidade. Atualmente, apenas 68 bairros são atendidos pela coleta seletiva (vide anexo 2), a qual envolve somente a separação entre lixo comum – restos de alimentos, embalagens sujas, isopor e copos descartáveis – e material reciclável – papel e papelão, vidro, plásticos e PET, latas de óleo e alumínio (SMAC, 2012; COMLURB, 2013b).

A figura anterior também evidencia que são diversos os constituintes dos resíduos domiciliares. Entretanto, a análise da composição gravimétrica dos RSD realizada anualmente pela Comlurb mostra que apenas três componentes representam quase 90% dos resíduos domiciliares, são eles: matéria orgânica putrescível, plástico e papel. O restante é constituído por vidro, metal, folha, madeira, borracha, pano, couro, osso, coco, parafina, resíduo eletrônico e material inerte. Vale ressaltar que a matéria orgânica é a parcela com maior participação conforme apresentado na Figura 19.

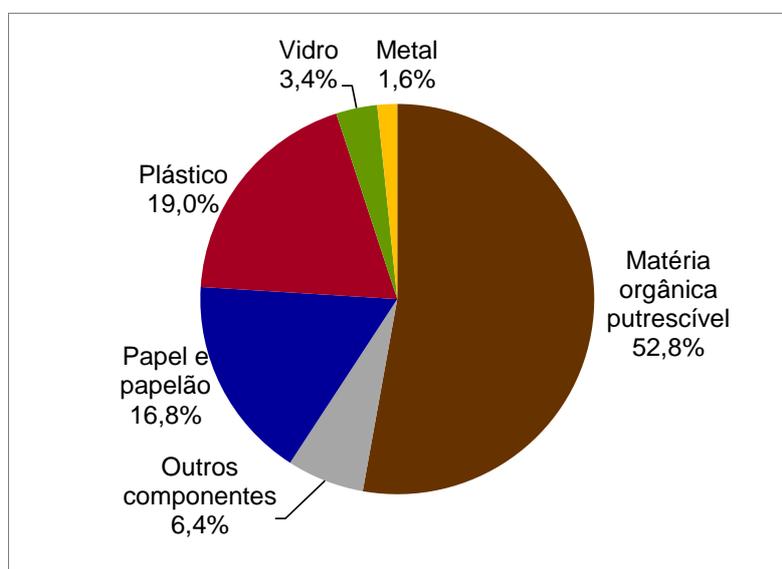


Figura 19 - Caracterização dos RSD coletados na cidade do RJ (ano 2013)
Fonte: Comlurb (2013a).

A Comlurb conta com 257 veículos compactadores para realização da coleta domiciliar, divididos em quatro modelos de caminhão segundo a capacidade de carga: compactador

6m³, compactador 15m³, compactador 19m³ e o super compactador 19m³. Os modelos mais utilizados são o compactador de 15m³ e de 19m³, com 107 e 97 veículos respectivamente. A figura a seguir mostra a divisão da frota de caminhões compactadores responsáveis pela coleta domiciliar do município.

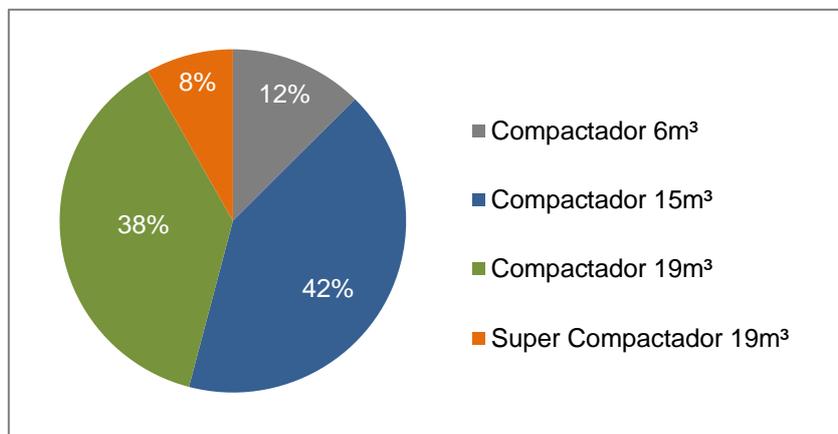


Figura 20 - Frota coleta domiciliar por tipo de caminhão compactador
Fonte: Comlurb (2013c).

É importante salientar que a frota da Comlurb é terceirizada e os demais serviços de coleta e limpeza pública contam com o auxílio de outros veículos, conforme evidenciado na Figura 21.

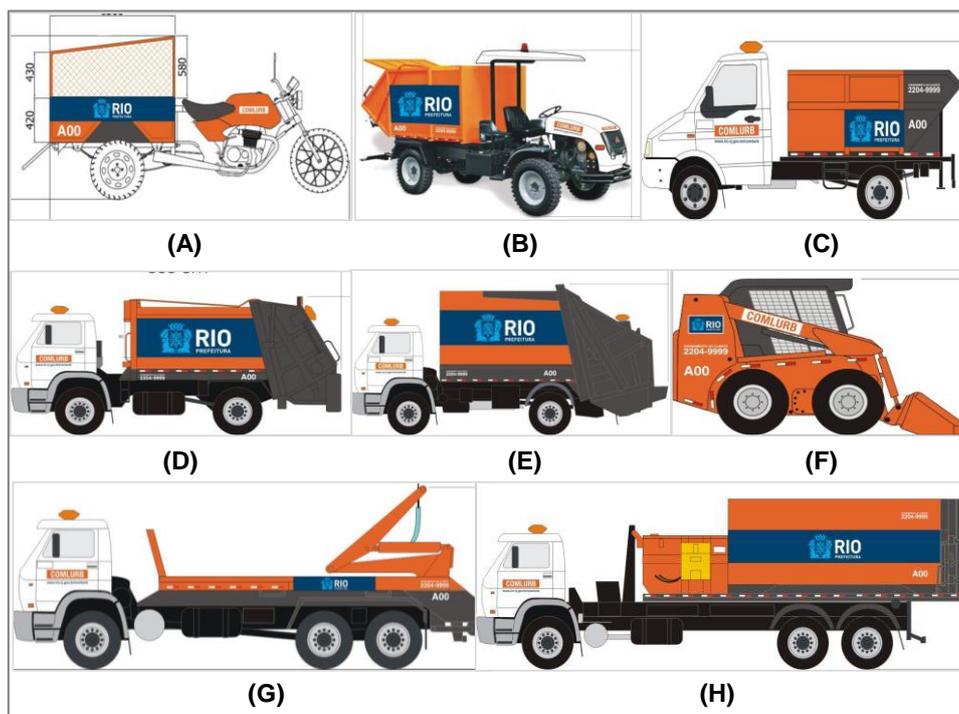


Figura 21 - Alguns veículos utilizados pela Comlurb
Fonte: Comlurb (2011).

O veículo indicado pela letra A é o **triciclo**. Ele é utilizado nas vielas, onde as demais viaturas não têm acesso. O veículo indicado pela letra B é o **trato 4x4 com carroceria compactadora**, o qual circula em logradouros com menor caixa. Já o indicado pela letra C é o **mini basculante de 3m³**, que também circula em logradouros com menor caixa e remove entulhos. Todos esses três tipos de veículos descarregam os resíduos em caixas compactadoras localizadas em Centrais de Compactação, que são instaladas nas proximidades das áreas de Assentamento Precário Urbano (APU) e funcionam como sistema coletivo de acondicionamento dos resíduos. As figuras a seguir exemplificam a utilização desses veículos:



Figura 22 - Triciclo em viela
Fonte: Comlurb (2011).



Figura 23 - Trator 4x4
Fonte: Comlurb (2011).



Figura 24 - Mini basculante de 3m³
Fonte: Comlurb, 2011.

Os veículos representados pelas letras D e E são **caminhões compactadores** que se diferenciam pela capacidade. O primeiro tem capacidade para armazenamento de 6m³ de resíduos e o segundo de 15m³. Ambos têm como fator limitante a altura da fiação da rua, sendo o último mais utilizado em logradouros principais. Por fim, o veículo indicado pela letra F é a **mini pá carregadeira**, também conhecida como *Bobcat*, que atua principalmente na remoção de entulhos e inservíveis, conforme observado na Figura 25, na qual a mini pá descarrega em caminhão basculante.



Figura 25 - Mini pá carregadeira
Fonte: Comlurb (2011).

Por fim, os veículos indicados pelas letras G e H são, respectivamente, o **poliguindaste duplo** e o **Rollo on / Roll off**. O primeiro é utilizado na remoção de entulhos e inservíveis, atuando na coleta concentrada desses resíduos em área pública. E o segundo é responsável, principalmente, pelo transporte das caixas compactadoras estacionárias localizadas nas Centrais de Compactação.

Todos os resíduos coletados nos domicílios são encaminhados para Estações de Transferência de Resíduos (ETRs ou Estações de Transbordo) e, em seguida, encaminhados para disposição final em aterro.

Transbordo/Tratamento

Os resíduos sólidos coletados pela Comlurb são encaminhados para as ETRs, que funcionam como ponto de recebimento e transferência de resíduos, os quais chegam em caminhões compactadores e saem em carretas de 30 toneladas para disposição final em aterro. A cidade do Rio de Janeiro conta com sete ETRs, são elas: ETR do Caju, de Jacarepaguá, Marechal Hermes, Santa Cruz, Taquara (Tanque), Penha e Bangu; sendo que as três últimas estão em fase de licenciamento conforme mostrado na Figura 26.

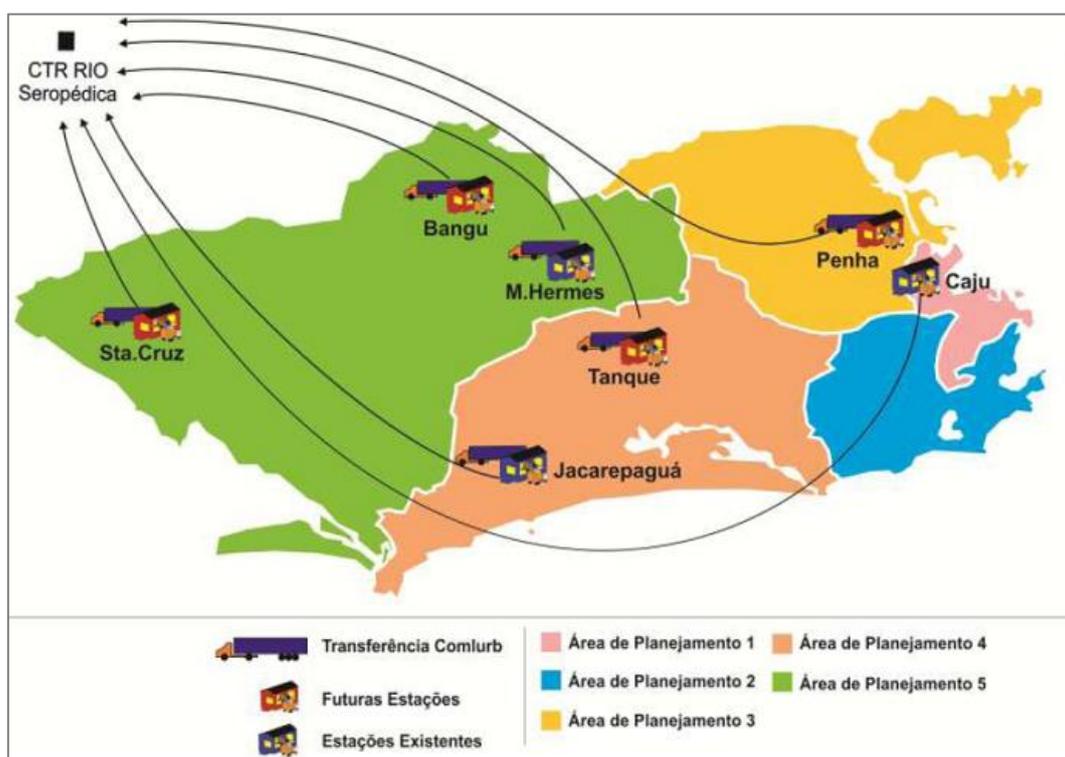


Figura 26 - Logística de transferência dos resíduos na cidade do RJ
Fonte: Comlurb, 2012.

Nas ETRs do Caju e de Jacarepaguá ocorre a segregação dos materiais recicláveis pelas cooperativas de reciclagem para posterior comercialização. Todos os resíduos sólidos provenientes da coleta seletiva domiciliar são encaminhados para a ETR do Caju. Também há separação dos recicláveis em centrais de triagem localizadas nos bairros da Penha, Irajá, Bangu e Campo Grande. Porém, como os recicláveis não estão contemplados no escopo deste estudo, estes não serão detalhados.

Na ETR do Caju funciona uma usina de compostagem, onde há reciclagem de uma parcela da matéria orgânica recebida. O composto orgânico produzido é utilizado no reflorestamento de áreas degradadas da cidade, pois o mesmo não pode ser empregado em atividades agrícolas em função da elevada quantidade de material inerte.

Essa contaminação do composto orgânico dá-se em função da mistura da matéria orgânica com os demais resíduos domiciliares visto que não há separação do lixo na fonte geradora. Resultados da análise do composto orgânico produzido na usina do Caju em julho de 2012 revelam quantidade de material inorgânico de aproximadamente 60% no composto final, o que não garante a qualidade para fins de adubação no setor agrícola.

Assim, parte da FORSU gerada no município do Rio de Janeiro é reciclada pela compostagem e a outra é disposta em aterro sanitário. As figuras a seguir mostram, respectivamente, os processos envolvidos na ETR do Caju bem como o fluxo dos resíduos orgânicos que vão para a compostagem.

Os caminhões compactadores, que chegam diariamente à ETR do Caju, passam inicialmente por uma **balança** onde há a pesagem do caminhão e o controle da origem da coleta. Os caminhões provenientes da coleta seletiva encaminham-se para o **fosso 2** para despejo dos resíduos. Neste local, os resíduos são coletados por uma garra (também conhecida como aranha), que os despeja em um funil. A partir daí começa o processo da triagem dos resíduos, onde os materiais passam por esteiras, peneiras e eletroímã. Os materiais separados na triagem são pesados, compactados e encaminhados para venda. Os que foram rejeitados pelo processo da triagem, mas que podem ser recuperados, são encaminhados para a Usina Verde¹⁵ para produção de RDF¹⁶ (*refuse-derived fuel*) e os demais para o aterro sanitário.

Já os caminhões provenientes da coleta domiciliar normal, isto é, mista, são encaminhados para a **estação de transbordo**. Caso os resíduos coletados pelo caminhão sejam oriundos da Zona Sul da cidade (AP 2), estes são encaminhados para despejar os resíduos no **fosso 1**, local onde são despejados os resíduos que vão para a compostagem. É importante ressaltar que o percentual de matéria orgânica dos resíduos domiciliares da AP 2, ou seja dos bairros nobres da cidade, é menor que o percentual dos resíduos coletados na AP 3 por exemplo (que também leva seus resíduos para a ETR do Caju), o que significa que seria mais vantajoso para a compostagem, os resíduos cuja parcela orgânica fosse maior. Entretanto, os resíduos coletados na AP 3 possuem grande quantidade de material inerte misturado à matéria orgânica, o que dificulta a compostagem e contamina o composto.

Dessa maneira, os resíduos despejados no fosso 1 também passam pelo mesmo processo de triagem e a matéria orgânica, mesmo misturada à partículas de outros materiais, é encaminhada para a **compostagem**. Passados os (cerca de) 90 dias da compostagem, a matéria orgânica, já como composto, passa por um sistema de duas peneiras (20 e 10 mm cada) para remoção dos inorgânicos. Somente a parcela do composto que atravessa a peneira de 10 mm que é utilizada no Programa de Reflorestamento da cidade; a parcela que não passa por essa peneira de 10 mm retorna à compostagem como um reativador do processo; e a parcela mais grossa, a que não passa pela peneira de 20 mm,

¹⁵ Usina de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos e industriais localizada no Campus da UFRJ na Ilha do Fundão. Tem capacidade para tratar 30 t/dia de resíduos com geração de energia elétrica.

¹⁶ Refere-se à porção dos recicláveis usada como combustível (combustível derivado do resíduo - CDR).

segue para a Usina Verde. O anexo 3 traz fotos das principais operações que ocorrem na ETR do Caju.

Ainda com relação à reciclagem dos orgânicos, funcionava no Caju um aterro controlado que operou por quarenta e dois anos até ser fechado em 1977. Neste ano de encerramento, a Comlurb, em parceria com a Companhia Estadual de Gás do Rio de Janeiro (CEG), iniciou um projeto de aproveitamento energético do biogás, o qual era coletado e transportado por um gasoduto de 4 km até à planta de gás da CEG, onde era transformado em gás natural para uso residencial na cidade. Neste período, o biogás chegou a responder por 3% do gás natural distribuído pela CEG. Este projeto teve duração de 10 anos e, logo após seu término, a Comlurb passou a utilizar o biogás como combustível no abastecimento da sua frota de caminhões. Porém esta iniciativa durou até o contra choque do petróleo e os biodigestores estão desativados desde 1994, cuja situação atual pode ser observada na Figura 28 - Biodigestores do Caju (CETESB, 2006; LANDIM & AZEVEDO, 2008).



Figura 28 - Biodigestores do Caju

Também inserido no macroprocesso “Transbordo e Tratamento”, há o processo de higienização dos caminhões compactadores. Quando finalizado o roteiro diário de coleta, os caminhões compactadores saem das ETRs e seguem para suas respectivas garagens, onde ocorre a lavagem dos veículos. Atualmente, três empresas são responsáveis pela frota da coleta dos resíduos realizada pela Comlurb e estas possuem

diversas garagens espalhadas pelo município. O processo de higienização dos veículos de coleta não foi mapeado para este estudo, mas estima-se um consumo diário de água de aproximadamente 1,36 m³ por veículo, o que resulta em um consumo mensal de 10,5 mil m³ para higienização de toda a frota de caminhões compactadores.

Disposição final

A grande maioria dos resíduos sólidos coletados pela Comlurb é destinada ao aterro sanitário de Seropédica. Também chamado de CTR - Rio, o aterro de Seropédica foi inaugurado em 2011 e desde então passou a receber gradativamente os resíduos gerados no município do Rio de Janeiro, o que viabilizou a desativação do aterro controlado metropolitano de Jardim Gramacho em 2012 e o encerramento das operações no Centro de Tratamento de Resíduos de Gericinó, também aterro controlado, cuja desativação total está prevista para março de 2014. Com isso, a cidade do Rio de Janeiro consegue cumprir a meta estadual de erradicação dos lixões até 2014 prevista no Programa Lixão Zero do Governo do Estado.

Embora os aterros de Gramacho e Gericinó sejam aterros controlados, isto é, lixões com sistemas de monitoramento ambiental, eles possuem enorme potencial energético em função da geração e acúmulo de gás metano proveniente da digestão anaeróbia da matéria orgânica. Por esta razão, o aterro controlado de Gramacho tornou-se um polo de extração de biogás para fins energéticos e, após projeto inaugurado em junho de 2013, passou a ser fornecedor de biogás para a refinaria de petróleo da Petrobras S.A. localizada no município de Duque de Caxias (REDUC) a 7 km do aterro. Segundo Petrobras (2013), esse projeto é inédito no mundo, onde uma refinaria de petróleo funciona utilizando gás verde para atender parcialmente sua demanda energética. O mesmo está previsto para o aterro de Gericinó, porém as formas de reaproveitamento do biogás ainda estão em fase de estudo e, segundo a Comlurb, será escolhida a alternativa com maior viabilidade econômica (ALENCAR, 2013).

A Central de Tratamento de Resíduos (CTR - Rio) de Seropédica recebe os resíduos dos municípios de Seropédica, Itaguaí e do Rio de Janeiro. Por ser um aterro sanitário, compreende a tecnologia necessária para minimização dos impactos ambientais como poluição do ar e contaminação do solo, como por exemplo sistemas de

impermeabilização e monitoramento do solo, tratamento de chorume¹⁷ e aproveitamento energético do biogás¹⁸. Entretanto, há inúmeras discussões acerca do desempenho ambiental e dos riscos associados ao aterro sanitário de Seropédica em virtude de estar situado sob um importante aquífero do estado - o Aquífero de Piranema, reserva natural de água para a região metropolitana do Rio de Janeiro nos próximos quarenta anos.

Tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto

Como o presente trabalho pretende disponibilizar o inventário do ciclo de vida, não será realizada a etapa de avaliação dos impactos ambientais.

Requisitos de qualidade dos dados, suposições e limitações do estudo

O estudo tem como referência a quantidade de resíduos sólidos domiciliares gerada na cidade do Rio de Janeiro no ano de 2012. Foi dada preferência à obtenção de dados primários a fim de garantir uma representação mais fidedigna do gerenciamento atual dos resíduos sólidos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro. Dessa maneira, foram utilizados dados fornecidos diretamente pela Comlurb e em publicações da Cia e da Prefeitura. Entretanto, dados faltantes são indicados, principalmente para sinalizar os pontos com precariedade de informação a fim de auxiliar, futuramente, a criação do banco de dados de resíduos sólidos.

Foram considerados os dados de geração de resíduos sólidos domiciliares apresentados no Relatório de Caracterização Gravimétrica e Bacteriológica elaborado anualmente pela Comlurb. Considerou-se o relatório de 2013, o qual apresenta a quantidade média mensal de RSD coletados em 2012 e a caracterização realizada em 2013. Com relação aos roteiros de coleta, foram utilizados dados da coleta domiciliar realizada pela Comlurb em novembro de 2013 bem como a distância percorrida do caminhão, tipo de veículo e ETRs destinadas.

¹⁷ A estação de tratamento de chorume está com inauguração prevista para maio de 2014. Enquanto isso, o chorume é transportado por caminhão até a Estação de Tratamento de Esgoto de Niterói – município localizado a 150 km de Seropédica (http://www.alerj.rj.gov.br/common/noticia_corpo.asp?num=44613).

¹⁸ Atualmente, o gás metano (CH₄) é queimado em *flares* e transformado em dióxido de carbono (CO₂). O reaproveitamento energético do biogás está previsto como investimento futuro.

Alguns ajustes foram feitos a fim de colocar os dados coletados na unidade funcional escolhida: foi utilizado o parâmetro comercial (30 e 360 dias) para transformação das unidades diárias (t/dia, m³/dia, etc) em período mensal e/ou anual; para fins de simplificação, o consumo de combustível foi contabilizado a partir do consumo médio do veículo que teve maior participação na coleta da região administrativa no mês analisado.

No que diz respeito às limitações do estudo, bem como mostrado no capítulo que descreve a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, o inventário consiste no levantamento dos dados de entradas e saídas dos processos elementares que formam o sistema de produto estudado, o que inclui a entrada de materiais, energia e recursos naturais; e a saída de materiais, resíduos e poluentes para o ar, a água e o solo. Neste estudo, entretanto, somente foram contabilizados os fluxos de material, isto é, os resíduos coletados nos domicílios na cidade; energia e água consumidas nas ETRs.

Tipo de análise crítica

De acordo com a norma ISO 14040, é obrigatória a realização de análise crítica em estudos comparativos de ACV para fins de divulgação pública. Embora este trabalho não trate de um estudo comparativo propriamente dito, a análise crítica será realizada no próximo capítulo, onde serão discutidos os resultados.

6.2. Inventário do ciclo de vida

Coleta

Mensalmente, são coletados 151.391 toneladas de resíduos sólidos domiciliares no município do Rio de Janeiro. Deste total, 79.973 toneladas correspondem à matéria orgânica, ou seja, mais da metade (52,8%) dos resíduos sólidos gerados nos domicílios da cidade pode ser utilizada em processos de reciclagem como compostagem e digestão anaeróbia para produção de fertilizante e energia.

Ao observar as Figura 29 e 30, verifica-se que a área de planejamento que mais gera resíduos sólidos domiciliares no município do Rio de Janeiro é a AP 3 - com geração

média de 53,6 mil toneladas por mês. Deste total, 29,3 mil toneladas são matéria orgânica, que corresponde a 54,7% de participação nos RSD gerados nesta região. As áreas de planejamento que menos geram resíduos orgânicos são a AP 1, AP 2 e AP 4, que representam a região central, a zona sul, parte da zona norte (região da Tijuca e adjacências) e da zona oeste (Barra e adjacências) da cidade, ou seja, representam as áreas que possuem população residente com maior poder aquisitivo. Já a AP 5 é a região que apresenta maior participação de matéria orgânica em seus resíduos domiciliares (56,4%) e segunda maior geradora de RSD da cidade. A AP 5 corresponde à região do extremo oeste do município, cujo grau de desenvolvimento socioeconômico é inferior às demais áreas de planejamento, o que corrobora a afirmativa de que quanto maior o poder aquisitivo de determinada região, menor a participação relativa dos resíduos orgânicos gerados.

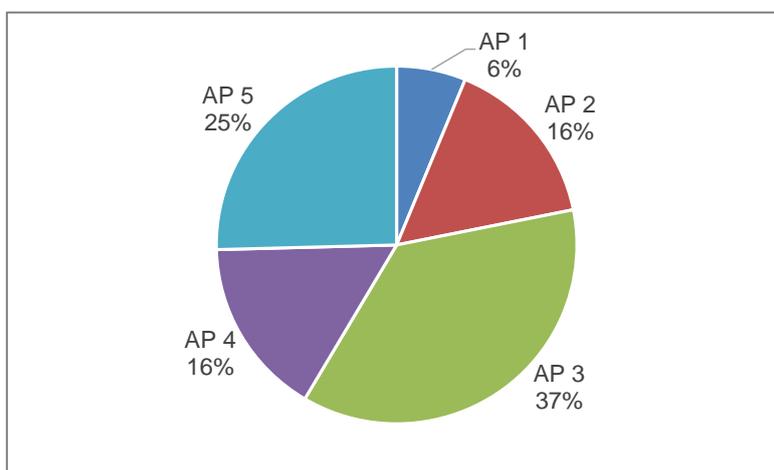


Figura 29 - Distribuição da matéria orgânica por AP (ano 2012)
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

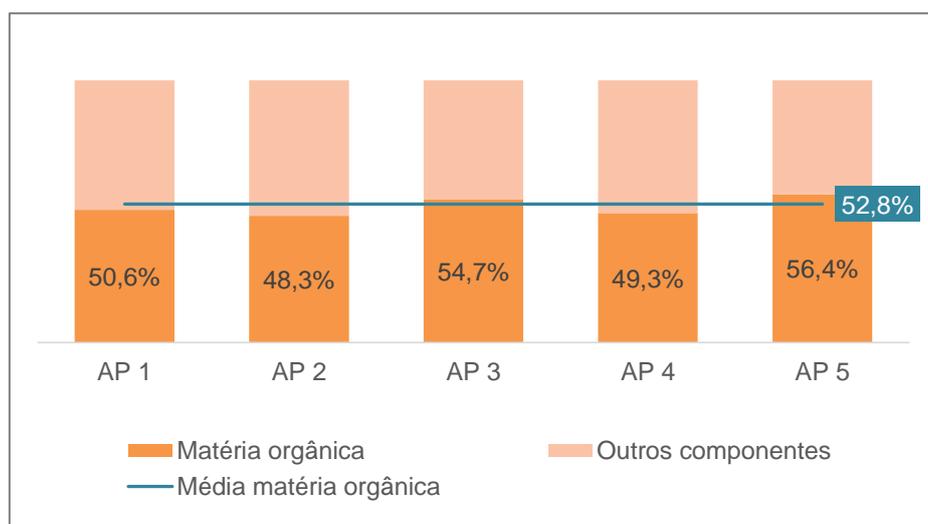


Figura 30 - Participação da matéria orgânica por AP
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

A área de planejamento 1 compreende seis regiões administrativas (RA): região Portuária, Centro, Rio Comprido, São Cristóvão e Santa Teresa, ambas representadas nas figuras 30 e 31, além de Paquetá, cujos resíduos não são contabilizados no estudo de caracterização feito pela Comlurb, estudo este utilizado na realização do presente inventário. Embora apresente a menor participação de matéria orgânica no total de geração de seus RSD (apenas 48%), a região do Centro é a que gera maior quantidade de resíduos orgânicos quando comparada com as demais RAs que compõem a AP 1 em função do maior volume de RSD gerado. Em contrapartida, o Rio Comprido, cuja participação é de 17% no total de matéria orgânica produzida pela AP 1, é a região que apresenta a maior parcela relativa de orgânicos (57% do total gerado pela RA).

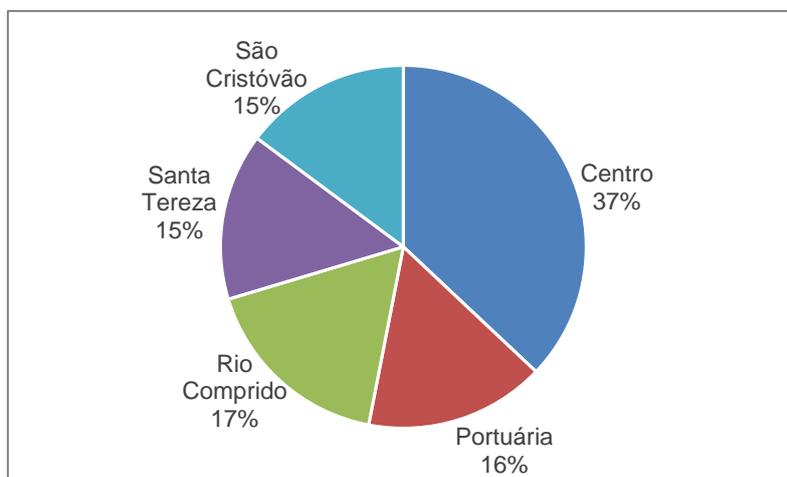


Figura 31 - Distribuição da matéria orgânica por RA na AP 1 (ano 2012)
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

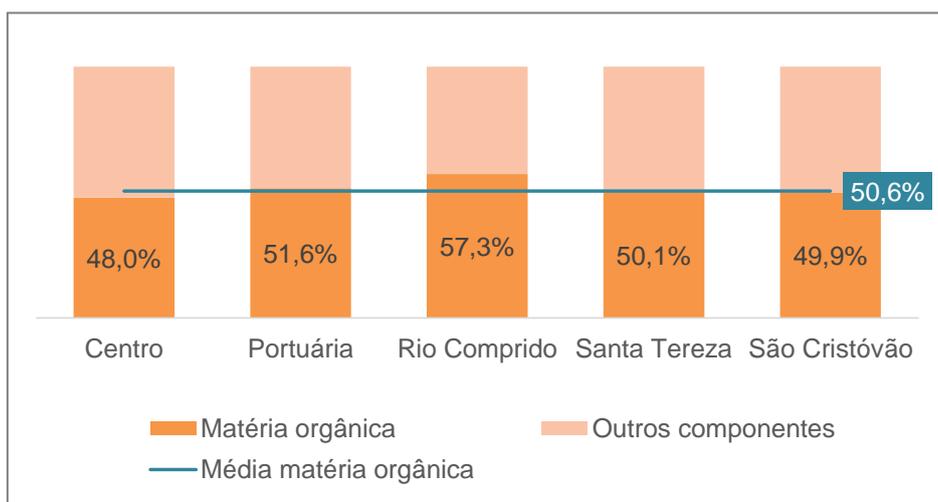


Figura 32 - Participação da matéria orgânica por RA na AP 1
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

A área de planejamento 2 também é composta por seis regiões administrativas, são elas: Botafogo, Copacabana, Lagoa, Rocinha, Tijuca e Vila Isabel. Entretanto, a Rocinha não foi considerada neste estudo, pois, por questões operacionais, ela não entra no relatório de caracterização dos RSD elaborado anualmente pela Comlurb. Conforme pode-se observar nas figuras 33 e 34, não há diferença significativa na produção de resíduos orgânicos entre as regiões administrativas que compõem a AP 2. A região da Lagoa, mesmo sendo a que mais gera matéria orgânica na área de planejamento em questão, é a que apresenta menor participação da fração orgânica no total de seus RSD gerados - apenas 44%. Ela lidera, junto com Botafogo, em função do maior volume de resíduos produzidos em seus domicílios. Já Vila Isabel é a região que apresenta maior participação da fração orgânica na composição de seus resíduos (cerca de 51%).

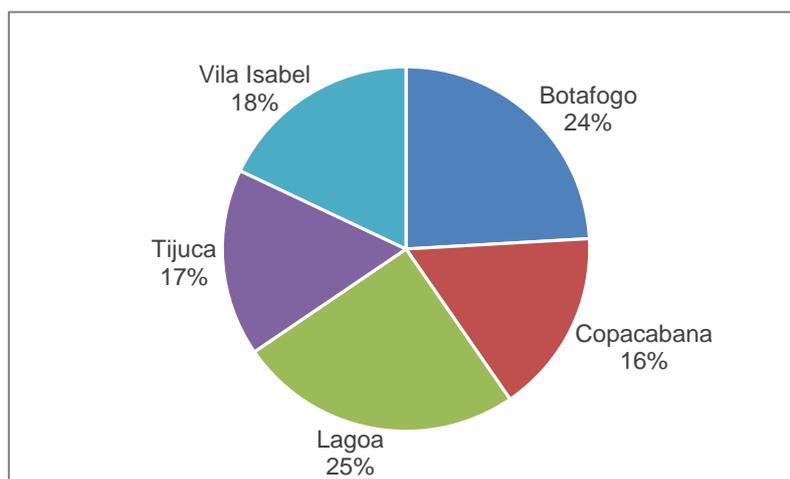


Figura 33 - Distribuição da matéria orgânica por RA na AP 2 (ano 2012)
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

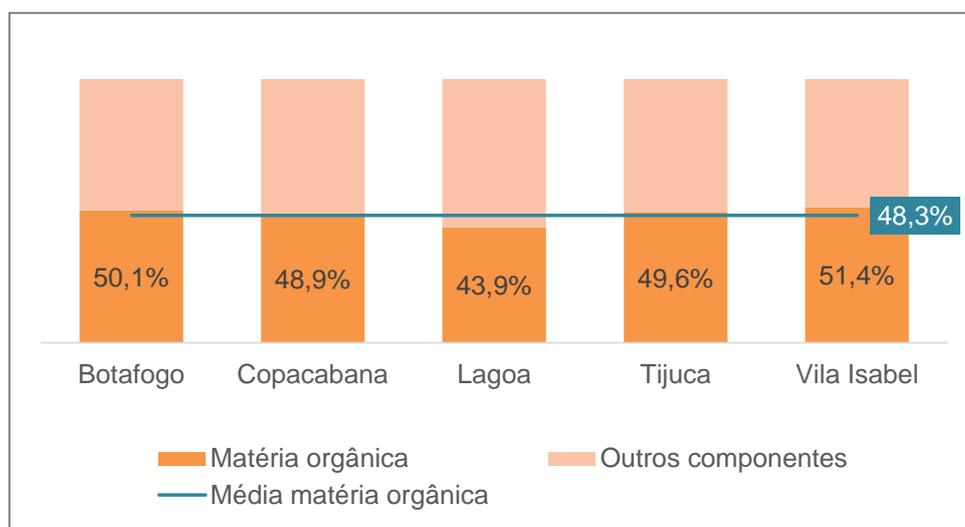


Figura 34 - Participação da matéria orgânica por RA na AP 2
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

A área de planejamento 3 é a que agrega o maior número de regiões administrativas da cidade, a saber: Ramos, Complexo do Alemão, Maré, Penha, Inhaúma, Méier (com Piedade), Ilha do Governador, Irajá, Pavuna, Madureira (com Marechal Hermes), Anchieta e Vigário Geral. Pelos mesmos motivos da Rocinha, também não são contemplados neste estudo os resíduos gerados no Complexo do Alemão e na região da Maré. Diante dos gráficos apresentados nas figuras 35 e 36, é possível observar que a região de Ramos é a que apresenta maior participação na geração total de matéria orgânica na AP 3 e Pavuna e Vigário Geral são as com menor participação (6%). Marechal Hermes, que faz parte da RA de Madureira, é a região que apresenta a maior fração orgânica nos seus resíduos gerados - cerca de 61% da geração total de RSD de Marechal Hermes são matéria orgânica.

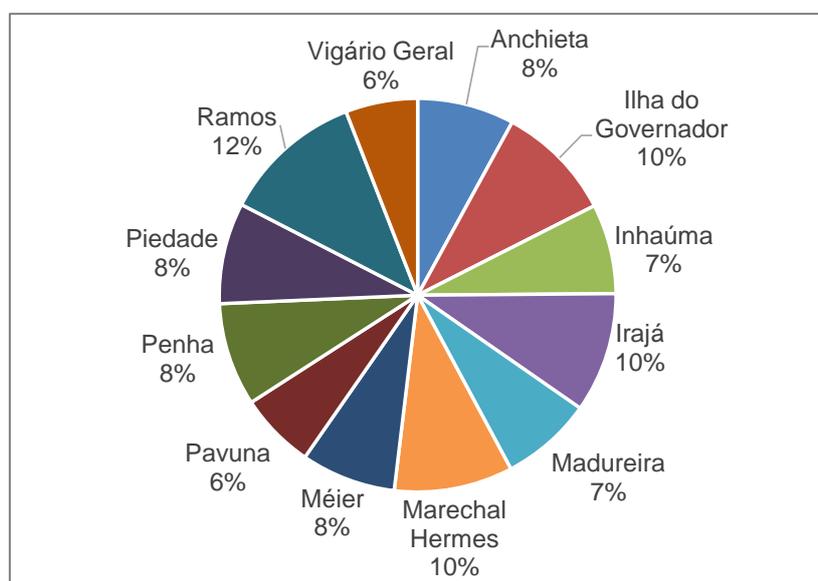


Figura 35 - Distribuição da matéria orgânica por RA na AP 3 (ano 2012)
Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

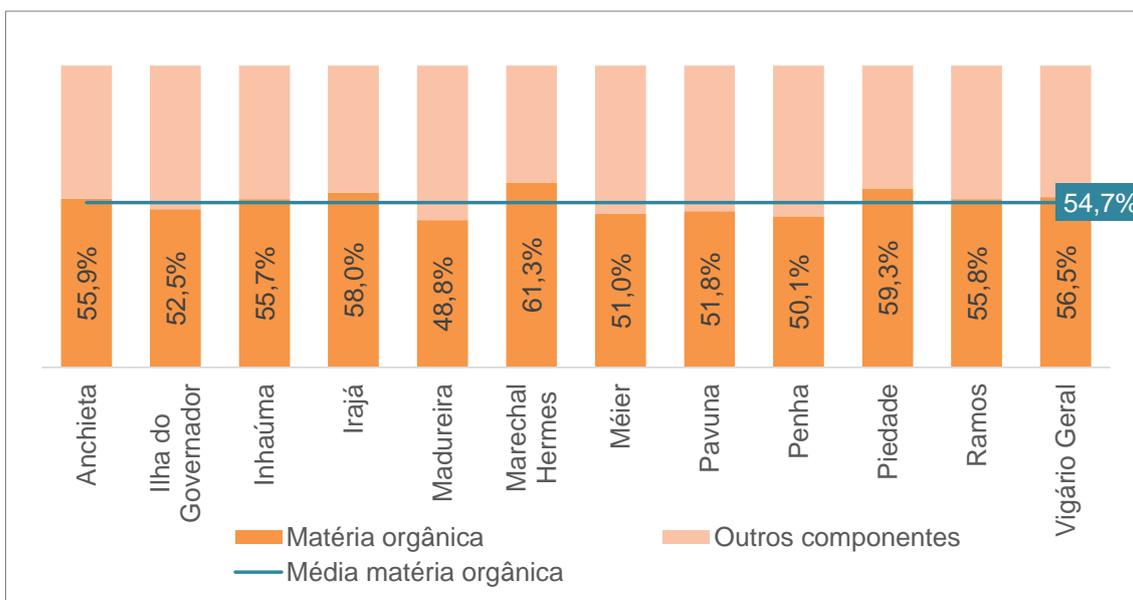


Figura 36 - Participação da matéria orgânica por RA na AP 3
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

A área de planejamento 4 compreende as regiões administrativas de Jacarepaguá (com Freguesia e Cidade de Deus) e da Barra da Tijuca (com Recreio). Os dados da Cidade de Deus não foram considerados pela mesma razão das outras comunidades. A partir do exposto nas figuras 37 e 38, verifica-se que a Freguesia é a região que mais gera matéria orgânica. Ela, juntamente com Jacarepaguá, correspondem por 64% da disponibilidade total de resíduos orgânicos da AP 4. A Barra da Tijuca é a região que apresenta a maior participação dos orgânicos nos seus resíduos gerados (53%).

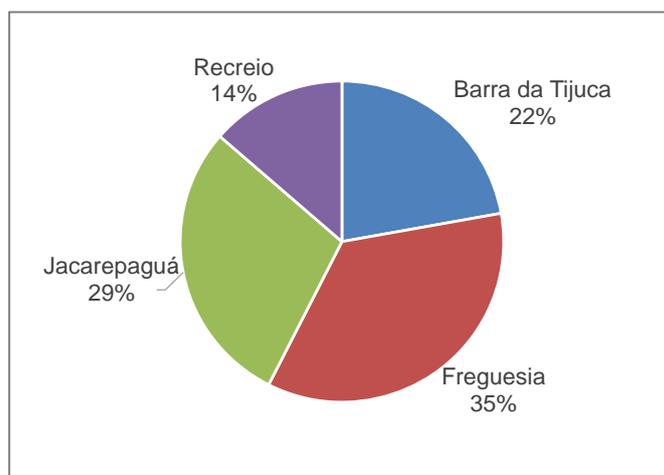


Figura 37 - Distribuição da matéria orgânica por RA na AP 4 (ano 2012)
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

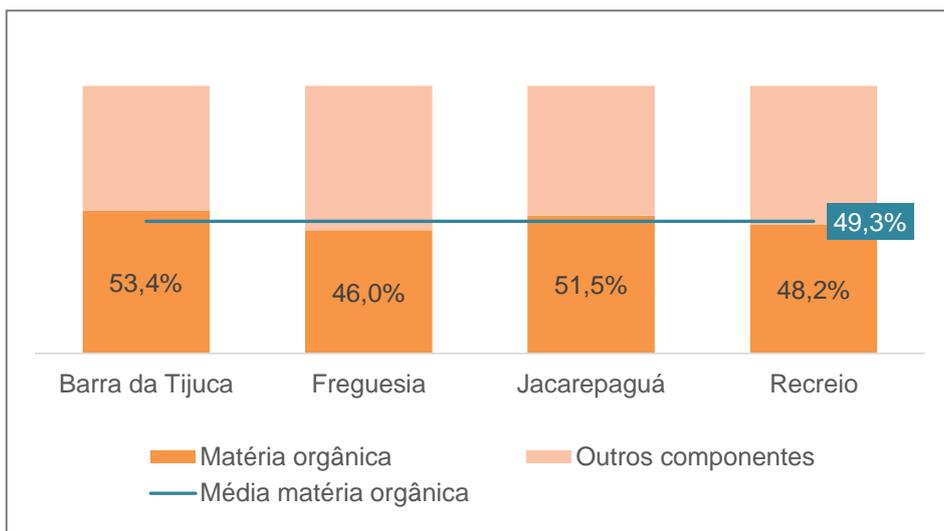


Figura 38 - Participação da matéria orgânica por RA na AP 4
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

A área de planejamento 5 compreende cinco regiões administrativas: Bangu, Campo Grande (com Senador Vasconcelos), Santa Cruz, Guaratiba e Realengo. As figuras 39 e 40 mostram que a região com maior participação na quantidade total de matéria orgânica gerada pela área de planejamento é Bangu, correspondendo a 23%. Senador Vasconcelos, com 16% de participação, apresenta a maior parcela de fração orgânica nos seus resíduos domiciliares (61%). Guaratiba é a região com menor geração de RSD da AP em questão além de possuir também a menor participação de orgânicos na composição de seus resíduos.

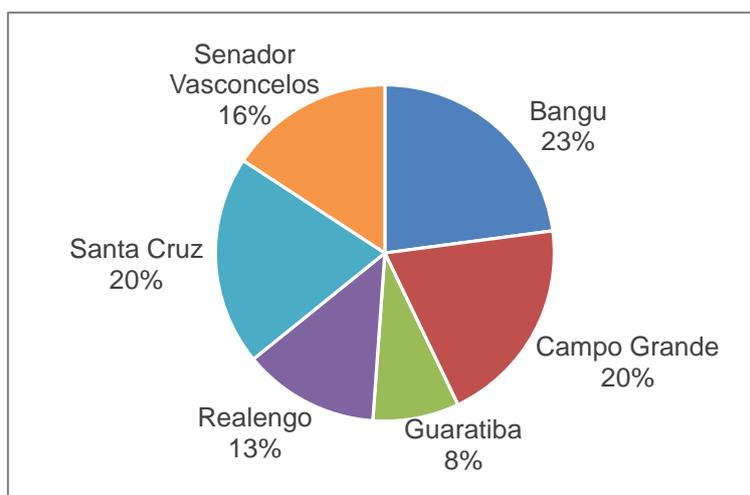


Figura 39 - Distribuição da matéria orgânica por RA na AP 5 (ano 2012)
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

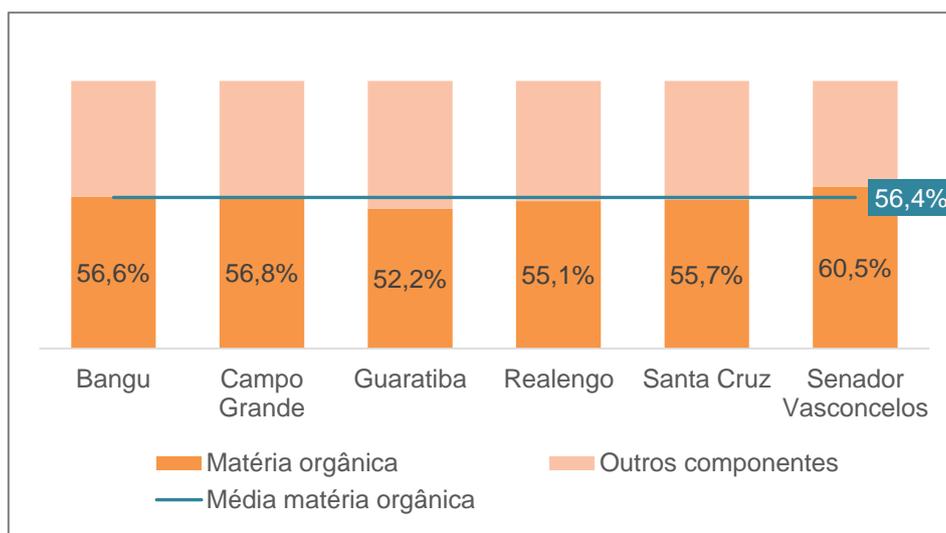


Figura 40 - Participação da matéria orgânica por RA na AP 5
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

Quando analisada a geração de matéria orgânica por região administrativa entre todas as áreas de planejamento da cidade, verifica-se que a RA com maior produção de resíduos orgânicos é Bangu, com 5,8% de participação. A tabela a seguir mostra o ranking das dez regiões administrativas que mais produzem matéria orgânica no município do Rio de Janeiro, que juntas correspondem a quase metade da produção da cidade.

Tabela 4 - Ranking das 10 maiores RAs por geração de matéria orgânica (ano 2012)

Região Administrativa	Quantidade média de matéria orgânica produzida (t/mês)	% de matéria orgânica em seus RSD	Participação na geração total de matéria orgânica da cidade
1 Bangu	4.653	56,6%	5,8%
2 Freguesia	4.541	46,0%	5,7%
3 Santa Cruz	4.091	55,7%	5,1%
4 Campo Grande	4.067	56,8%	5,1%
5 Jacarepaguá	3.716	51,5%	4,6%
6 Ramos	3.373	55,8%	4,2%
7 Senador Vasconcelos	3.199	60,5%	4,0%
8 Lagoa	3.130	43,9%	3,9%
9 Botafogo	3.011	50,1%	3,8%
10 Irajá	2.890	58,0%	3,6%

Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

Adicionalmente, a figura abaixo mostra a dispersão das regiões administrativas da cidade com relação ao percentual de matéria orgânica dos resíduos sólidos domiciliares.

É possível observar que a RA com menor participação de resíduos orgânicos é a RA que engloba os bairros com maior poder aquisitivo do município (RA da Lagoa ou Leblon).

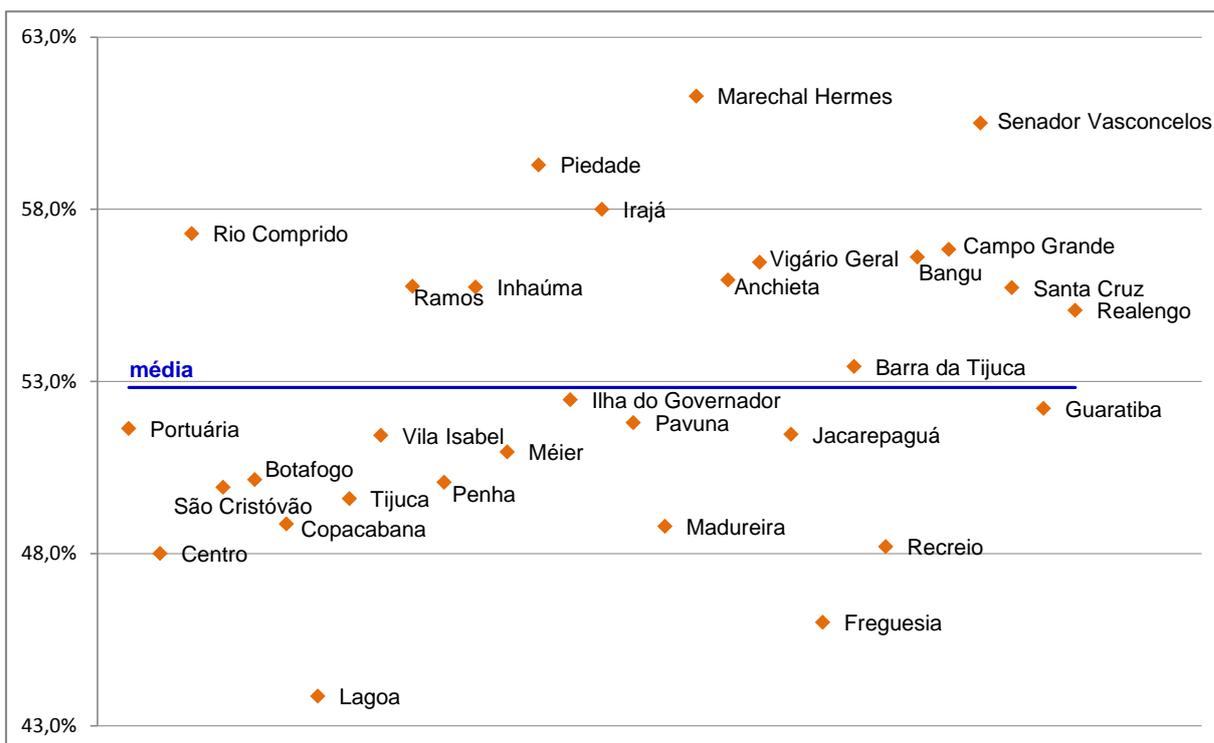


Figura 41 - Dispersão das RAs por participação da matéria orgânica
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013a).

Apresentados os perfis de geração de matéria orgânica por região administrativa e área de planejamento, chega-se ao seguinte inventário da coleta de resíduos sólidos domiciliares do município mostrado na tabela 5:

Tabela 5 - Inventário da Coleta

Entradas			Coleta	Saídas
AP 1				Descargas para o ar
Total RSD	9.818,0	t		
Matéria orgânica	4.967,5	t		
% MO	50,6%			
Distância percorrida	47.356,0	km		
Combustível	53.827,4	litros		
AP 2				
Total RSD	25.864,3	t		
Matéria orgânica	12.499,9	t		
% MO	48,3%			
Distância percorrida	65.447,0	km		
Combustível	100.692,8	litros		
AP 3				
Total RSD	53.635,1	t		
Matéria orgânica	29.319,9	t		
% MO	54,7%			
Distância percorrida	183.078,0	km		
Combustível	298.455,5	litros		
AP 4				
Total RSD	26.063,4	t		
Matéria orgânica	12.859,9	t		
% MO	49,3%			
Distância percorrida	118.144,0	km		
Combustível	185.741,9	litros		
AP 5				
Total RSD	36.010,5	t		
Matéria orgânica	20.326,1	t		
% MO	56,4%			
Distância percorrida	147.568,0	km		
Combustível	236.181,9	litros		
Total				
Total RSD	151.391,2	t		
Matéria orgânica	79.973,4	t		
% MO	52,8%			
Distância percorrida	561.593,0	km		
Combustível	874.899,5	litros		

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Comlurb (2013a;c).

A distância percorrida mostrada no inventário acima refere-se a quilometragem percorrida pelo caminhão compactador nos roteiros de coleta até à ETR correspondente. Desta forma, o transporte não só da coleta como também o que liga à coleta ao transbordo estão sendo considerados neste inventário.

As descargas para o ar sinalizadas como saídas do macroprocesso “coleta” referem-se às emissões provocadas pela queima do combustível na coleta e no transporte dos resíduos para as ETRs. Segundo o Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores do Ministério do Meio Ambiente, as emissões típicas da combustão em veículos automotores englobam, além do dióxido de carbono (CO₂), o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos não metano (NMCH), os óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado (MP), entre outros (MMA, 2011).

Transbordo/Tratamento

Os resíduos coletados nos domicílios seguem para as estações de transferência de resíduos (ETRs) conforme apresentado no fluxo da figura a seguir.

Fluxo dos resíduos orgânicos provenientes da coleta domiciliar na cidade do Rio de Janeiro
Em t/mês (ano referência: 2012)

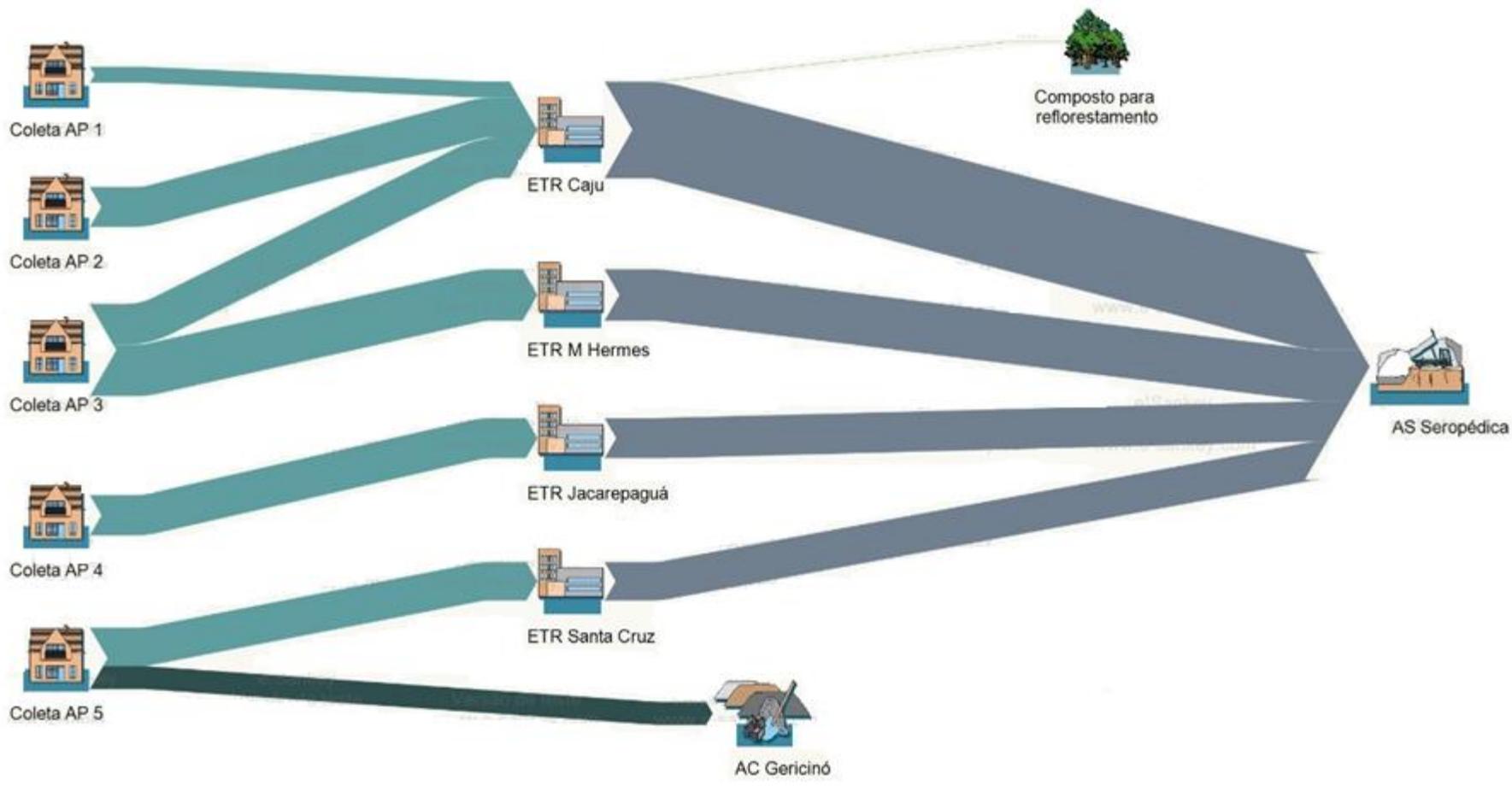


Figura 42 - Fluxo dos resíduos orgânicos provenientes da coleta domiciliar
Fonte: Elaboração própria com base nos dados de Comlurb (2013 a;c).

A partir do fluxo mostrado na figura 42, observa-se que todos os resíduos coletados dos domicílios das APs 1 e 2 e parte da AP 3 seguem para a ETR do Caju - estação de transferência com maior movimentação de resíduos sólidos do município. A ETR de Marechal Hermes recebe a outra parcela dos RSD da AP 3 e a ETR de Jacarepaguá recebe todos os resíduos dos domicílios da AP 4. Já os RSD provenientes da coleta na AP5 possuem dois destinos: uma parte segue para a ETR de Santa Cruz e uma pequena parcela ainda segue para o aterro controlado de Gericinó. Os gráficos mostrados na figuras 43, 44 e 45 evidenciam, respectivamente, a participação de cada ETR na coleta total dos RSD coletados no município, o perfil de recebimento dos RSD da ETR do Caju e a participação de cada destino dos RSD coletados na AP 5.

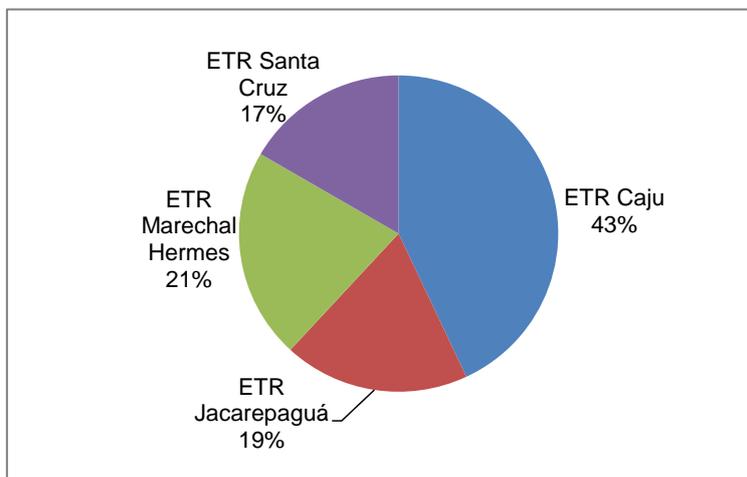


Figura 43 - Distribuição dos RSD por ETR
Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013c).

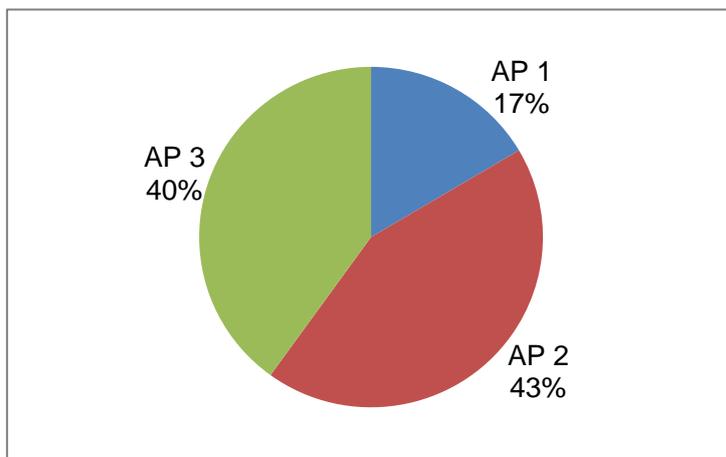


Figura 44 - Perfil de recebimento dos RSD da ETR do Caju
Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013c).

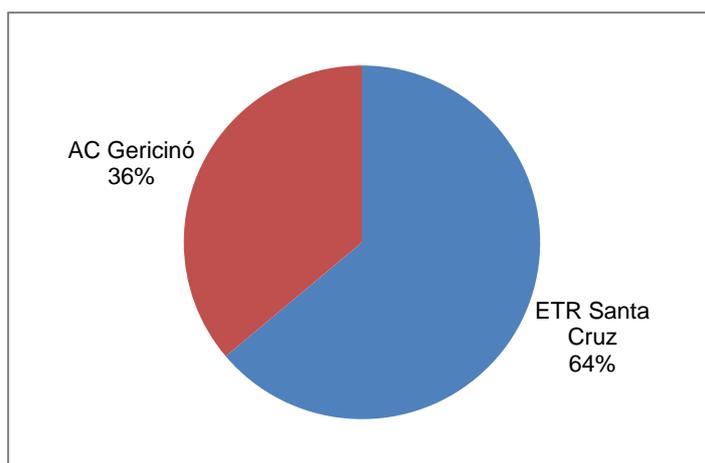


Figura 45 - Participação de cada destino dos RSD coletados na AP 5
 Fonte: Elaboração própria com base em Comlurb (2013c).

Com relação aos resíduos orgânicos destinados para cada ETR, a ETR de Santa Cruz é a que apresenta maior quantidade relativa de matéria orgânica. Isso se dá justamente pelo fato da ETR de Santa Cruz receber parte dos resíduos da AP 5 - área de planejamento com maior percentual de matéria orgânica em seus RSD. Entretanto, devido ao volume movimentado, a ETR do Caju é a que recebe maior quantidade de matéria orgânica do município.

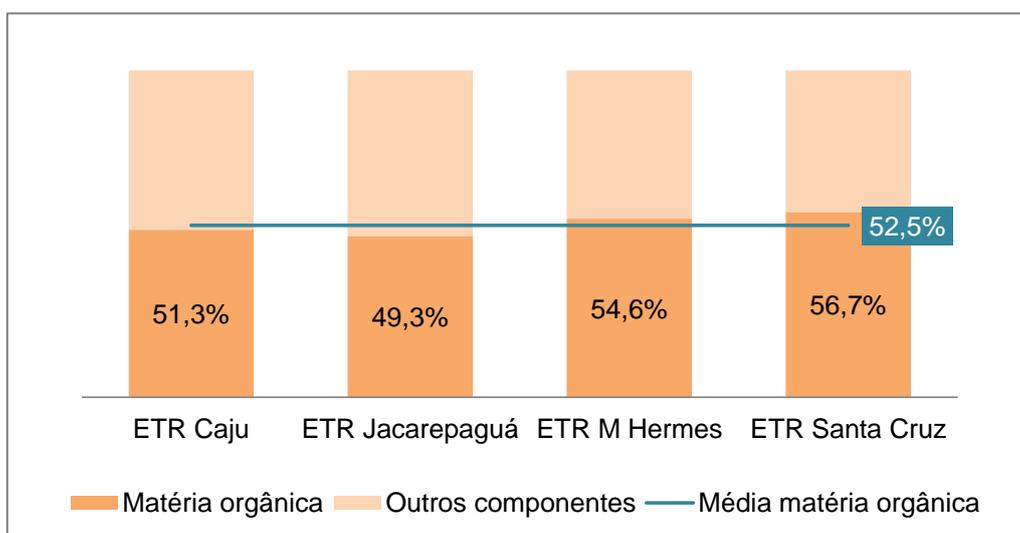


Figura 46 - Participação da matéria orgânica por ETR
 Fonte: Elaboração própria a partir de Comlurb (2013a;b).

Com isso, tem-se o inventário do transbordo e tratamento dos RSD coletados na cidade do Rio de Janeiro apresentado a seguir:

Tabela 6 - Inventário Transbordo e Tratamento

Entradas		Transbordo e Tratamento	Saídas
ETR Caju			
Total RS*	135.000,0 t		
Total RSD	59.524,8 t		
% RSD	44,1%		
Matéria orgânica	30.514,7 t		
% MO	51,3%		
Energia elétrica ETR	21.823,4 KWh		
Água ETR	496,6 m³		
Combustível (uso dentro da ETR)	10.551,7 litros		
ETR Marechal Hermes			
Total RS*	36.000,0 t		
Total RSD	29.792,7 t		
% RSD	82,8%		
Matéria orgânica	16.272,6 t		
% MO	54,6%		
Energia elétrica ETR	92.919,0 KWh		
Água ETR	365,5 m³		
Combustível (uso dentro da ETR)	14.000,0 litros		
ETR Jacarepaguá			Composto orgânico (~155 t/mês) produzido na compostagem realizada na ETR do Caju
Total RS*	43.500,0 t		
Total RSD	26.063,4 t		
% RSD	59,9%		
Matéria orgânica	12.859,9 t		
% MO	49,3%		
Energia elétrica ETR	7.032,0 KWh		
Água ETR	160,0 m³		
Combustível (uso dentro da ETR)	3.400,0 litros		Descargas para o ar, solo e água
ETR Santa Cruz			
Total RS*	33.000,0 t		
Total RSD	22.993,2 t		
% RSD	69,7%		
Matéria orgânica	13.031,4 t		
% MO	56,7%		
Energia elétrica ETR	45.135,6 KWh		
Água ETR	328,9 m³		
Combustível (uso dentro da ETR)	9.600,0 litros		
Total			
Total RS	247.500,0 t		
Total RSD	138.374,0 t		
% RSD	55,9%		
Matéria orgânica	72.678,7 t		
% MO	52,5%		
Energia elétrica ETR	166.910,0 KWh		
Água ETR	1.350,9 m³		
Combustível (uso dentro da ETR)	37.551,7 litros		

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Comlurb (2013a;c) e *Haztec (2013).

As entradas mostradas na tabela 6 referem-se aos resíduos recebidos mensalmente pelas quatro ETRs em operação além do consumo de energia elétrica, água e combustível. Este último diz respeito somente ao consumo de diesel pelos veículos que operam dentro das instalações da ETR, dado que o transporte entre o processo de coleta e a ETR foi contabilizado no inventário da coleta.

Ao analisar o inventário, é possível perceber uma diferença significativa entre os consumos de energia elétrica de cada ETR. A ETR de Marechal Hermes e de Santa Cruz movimentam menor volume de resíduos sólidos, porém apresentam consumo de energia elétrica maior que as do Caju e Jacarepaguá. Essa diferença de valores se dá pelo tipo de infraestrutura das ETRs: a ETR do Caju e de Jacarepaguá utilizam energia elétrica basicamente para iluminação, pois são simples galpões; já as ETRs de Marechal Hermes e de Santa Cruz possuem outros componentes, como por exemplo, sistema de exaustão. É importante ressaltar que os dados de consumo de energia elétrica, água e combustível da ETR do Caju são uma estimativa com base no consumo real da ETR de Jacarepaguá.



Figura 47 - ETRs de Marechal Hermes e Santa Cruz
Fonte: Comlurb (2013c).

Com relação ao tratamento da matéria orgânica, a compostagem realizada na ETR do Caju processa cerca de 75 t/dia de matéria orgânica, dos quais gera um composto bruto de cerca de 37 t/dia. A produção mensal de composto orgânico varia entre 150 a 160 toneladas, o que resulta em uma produção média diária de 5 toneladas. Levando-se em conta que a produção diária de composto bruto é de 37 toneladas, apenas 13% deste total é o produto final. Os 87% restantes referem-se à parcela que vai para a Usina Verde e à parcela que é reutilizada no processo da compostagem (inoculante), o que representa uma perda significativa de material compostado em função principalmente da elevada quantidade de matéria inorgânica misturada. Assim, do total de matéria

orgânica processada na Usina de Compostagem do Caju, apenas 7% vira composto orgânico.

Com relação às descargas para o ar, água e solo, foram consideradas descargas para o ar as emissões geradas pelo processo da compostagem e pela operação dos veículos (pá carregadeira, carreta, etc). Já as descargas para o solo e a água referem-se ao lixiviado, que se não tratado, apresenta alto grau de contaminação devido às elevadas concentrações de matéria orgânica, metais pesados, ácidos, sais e microrganismos. Caso não seja possível o tratamento do lixiviado na ETR, este é coletado em caminhão tanque pela empresa que opera o aterro sanitário para ser tratado.

Disposição final

Os resíduos sólidos encaminhados para as ETRs seguem para o aterro sanitário de Seropédica, localizado a aproximadamente 80 km da região central do município do Rio de Janeiro. Também conhecido como Central de Tratamento de Resíduos Ciclus (CTR-Ciclus), o aterro de Seropédica recebe os resíduos sólidos urbanos e de grandes geradores dos municípios do Rio de Janeiro, de Seropédica e de Itaguaí e possui capacidade de recebimento de 12,5 mil toneladas de resíduos por dia.

O gráfico da figura abaixo mostra a destinação final dos resíduos sólidos gerados na cidade do Rio de Janeiro, o que inclui não só os RSD coletados pela Comlurb, como também os de limpeza pública, remoção gratuita, dos grandes geradores, etc.

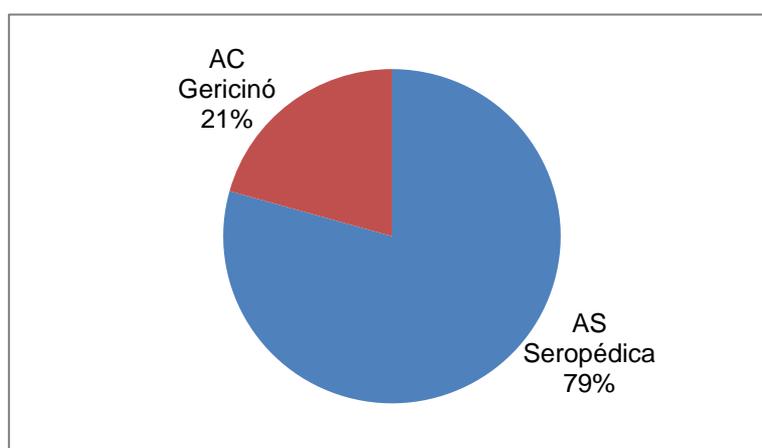


Figura 48 - Destinação final dos RS do município do RJ
Fonte: Elaboração própria a partir de Comlurb (2013c).

Quando analisada somente a destinação dos resíduos sólidos domiciliares do município, a participação do aterro sanitário de Seropédica é de 91%, sendo os outros 9% destinados no aterro controlado de Gericinó.

A tabela 7 mostra as entradas mensais de resíduos no AS de Seropédica e no AC de Gericinó, bem como a distância percorrida e o consumo mensal de diesel para transporte dos resíduos.

Tabela 7 - Inventário Disposição Final

Entradas			Disposição final	Saídas
AS Seropédica				Descargas para ar, solo e água
Total RS	247.500,0	t		
Total RSD	138.374,0	t		
% RSD	55,9%			
Matéria orgânica	72.678,7	t		
% MO	52,5%			
Distância percorrida	1.181.111,1	km		
Combustível	372.590,3	litros		
AC Gericinó				
Total RS	60.990,0	t		
Total RSD	13.017,2	t		
% RSD	21,3%			
Matéria orgânica	7.294,7	t		
% MO	56,0%			
Distância percorrida	45.786,0	km		
Combustível	71.983,1	litros		
Total				
Total RS	308.490,0	t		
Total RSD	151.391,2	t		
% RSD	49,1%			
Matéria orgânica	79.973,4	t		
% MO	52,8%			
Distância percorrida	1.226.897,1	km		
Combustível	444.573,4	litros		

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Comlurb (2013a;c).

Foram consideradas as descargas para o ar, solo e água como saídas deste inventário, ou seja, as emissões do aterro sanitário de Seropédica e do aterro controlado de Gericinó, além das emissões geradas pela queima do combustível no transporte dos resíduos até a disposição final.

Vale ressaltar que o princípio de um aterro sanitário, como o de Seropédica, é garantir a disposição dos resíduos de forma segura em termos ambientais, o que significa que são adotados procedimentos para que não haja contaminação para o meio ambiente, tais como: compactação e cobertura dos resíduos, coleta e tratamento do lixiviado e dos gases produzidos, impermeabilização do solo e monitoramento. Já o aterro controlado não dispõe desses mecanismos de impermeabilização, coleta e tratamento de gases e lixiviados, apresentando assim um enorme potencial de impactos ambientais.

Com relação às emissões gasosas, a decomposição dos resíduos sólidos urbanos gera metano, dióxido de carbono, nitrogênio além de outros contaminantes orgânicos e inorgânicos (benzeno, tolueno, mercúrio, etc).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este último capítulo traz a avaliação do gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares a partir do que foi levantado no Inventário do Ciclo de Vida e das considerações abordadas na PNRS e no item da ACV aplicada aos biorresíduos, além da conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

7.1. Avaliação do gerenciamento dos resíduos orgânicos da cidade

Feito o levantamento do gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares da cidade, parte-se para a análise deste gerenciamento com base nas diretrizes e metas estabelecidas no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) da cidade do Rio de Janeiro e no Plano Nacional de Resíduos Sólidos, com o intuito de verificar se o plano de gerenciamento do município está em linha com o estabelecido em nível nacional.

Tabela 8 - Diretrizes do PMGIRS do RJ vs. Diretrizes do Plano Nacional de RS

Principais Diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos	Principais Diretrizes do PMGIRS da cidade do Rio de Janeiro
<i>Quanto à disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos</i>	
Eliminação de lixões e aterros controlados até 2014 e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos	Garantir o encerramento do AC de Gericinó, mantendo em operação os sistemas ambientais existentes, a exemplo do estabelecido para o AC de Gramacho
Recuperação de lixões compreendendo as ações de queima pontual de gases, coleta de chorume, drenagem pluvial, compactação de massa e cobertura vegetal	Garantir o cumprimento das medidas de controle estabelecidas quando do encerramento do AC de Gramacho ocorrido em 2012 por um período mínimo de 15 anos
<i>Quanto à redução dos RSU úmidos dispostos em AS</i>	
Induzir a compostagem da parcela orgânica dos RSU e a geração de energia por meio dos aproveitamento dos gases provenientes da biodigestão de composto orgânico e dos gases gerados em AS	Incentivar a implantação de unidades de tratamento com recuperação energética e de compostagem descentralizadas, regionalizadas, com capacidade suficiente para absorver a maior parte dos resíduos orgânicos recolhidos pelo serviço municipal de coleta seletiva

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2011) e SMAC (2012).

A tabela 8 permite relacionar as diretrizes trazidas pelo PMGIRS da cidade do Rio de Janeiro com as principais diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos¹⁹ no que concerne à destinação dos rejeitos e da matéria orgânica dos resíduos sólidos urbanos. A partir dela, é possível verificar que as diretrizes adotadas pelo município do Rio de Janeiro estão alinhadas às diretrizes nacionais.

Com relação à redução da matéria orgânica disposta em aterro sanitário, uma das estratégias do Plano Nacional de Resíduos Sólidos é a implementação de melhorias na segregação dos RSU domiciliares e comerciais para que a matéria orgânica possa ser compostada, gerando um composto orgânico de alta qualidade, que possa ser utilizado nas atividades agrícolas ou para fins de geração de energia. Também é considerada a disponibilização de recursos especificamente voltados para a implantação de novas unidades de biodigestão ou modernização/ampliação das unidades existentes (BRASIL, 2011).

Tabela 9 - Metas do Plano Nacional de RS x PMGIRS do RJ quanto à redução dos RSU úmidos em aterros

Meta do Plano Nacional de Resíduos Sólidos para redução dos resíduos úmidos dispostos em aterros (<i>plano de metas favorável</i>)	Redução de 70% do volume disposto em aterro a partir de 2015 (meta mantida até 2031)		
Meta do PMGIRS da cidade do Rio de Janeiro para coleta seletiva da fração orgânica e respectivo tratamento, desde que identificada alternativa técnica, econômica e ambientalmente viável	Até final de 2013	Até final de 2016	Até final de 2020
	-	10% da fração orgânica	100% da fração orgânica

Fonte: Elaboração própria com base em Brasil (2011) e SMAC (2012).

As metas mostradas na tabela 9 sinalizam que o município do Rio de Janeiro considera a adoção de coleta seletiva da matéria orgânica bem como seu respectivo tratamento. Como é possível observar, o município não cumprirá a meta estabelecida pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos até 2016, onde prevê a redução de 70% de matéria orgânica disposta em aterros, enquanto a meta municipal é de apenas 10%.

¹⁹ Versão preliminar de setembro de 2011.

Não há dúvidas com relação à importância de se tratar os resíduos orgânicos de forma ambientalmente adequada, pois eles, além de serem a grande maioria dos resíduos sólidos gerados, são potencialmente danosos ao meio ambiente em função da emissão do gás metano e de outros poluentes para a atmosfera e do lixiviado para o solo e corpos hídricos. Entretanto, ainda de acordo com a tabela 9, cabe ressaltar que o tratamento da matéria orgânica na cidade do Rio de Janeiro estará condicionado não só à viabilidade técnica e ambiental, mas também à viabilidade econômica. Isso corrobora ainda mais a importância do papel da aplicação das metodologias de PCV na escolha das alternativas de tratamento da matéria orgânica do município, como a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida para análise do desempenho ambiental e do Custeio do Ciclo de Vida para análise do desempenho econômico.

Trazendo a lógica do Guia Prático de Gerenciamento de Biorresíduos elaborado pela União Europeia para o contexto da cidade, a primeira necessidade de melhoria no gerenciamento dos resíduos orgânicos seria a extensão da coleta seletiva para todos os 160 bairros do município, possibilitando assim, melhor segregação dos resíduos orgânicos para posterior tratamento adequado. Nesse sentido, o PMGIRS vislumbra essa necessidade ainda que com tímida meta de curto prazo.

Com relação ao tratamento atual da matéria orgânica no município, menos de 3% da matéria orgânica é reciclada e, ainda assim, o processo de reciclagem, no caso a compostagem, envolve muitas perdas, cujo produto final (composto orgânico) é inadequado para aplicação na agricultura. Isso ocorre em função da elevada concentração de matéria inorgânica misturada ao composto. Dessa maneira, o pouco volume de resíduo orgânico que segue para a compostagem gera um volume de composto muito menor, o qual é aplicado, unicamente, nas atividades de reflorestamento da cidade.

Sem dúvida o município do Rio de Janeiro, assim como o Brasil, possui potencial para a compostagem devido à elevada quantidade de matéria orgânica produzida, além da boa condição climática. Contudo, um fator limitante à compostagem na cidade seria a indisponibilidade de espaço físico, haja visto que seus resíduos são dispostos em outro município. Mas, justamente por essa razão, a cidade deve buscar as diversas opções de tratamento de resíduos a fim de reduzir o volume destinado ao aterro. Nesse sentido, a

compostagem caseira pode apresentar-se como uma boa alternativa, à medida que reduziria a quantidade de resíduos orgânicos para disposição final, gerando impactos positivos também no transporte, em função da redução da frequência da coleta domiciliar.

De acordo com a hierarquia dos resíduos, a alternativa de reciclagem da matéria orgânica mais preferível é a digestão anaeróbia e em seguida a compostagem. No caso da cidade do Rio de Janeiro, a digestão anaeróbia apresenta-se, potencialmente, como melhor opção com relação à compostagem, em virtude não só da limitação de espaço físico como também da ausência de mercado consumidor para o composto devido à predominância do setor de serviços no município. Desta maneira, uma boa alternativa seria a produção de biogás para alimentação da rede de gás natural da cidade, seja para utilização nas residências ou nos veículos como combustível substituto à gasolina.

As orientações do Guia Prático de Gerenciamento de Biorresíduos mostradas nas figuras 8 e 9 do presente trabalho podem auxiliar no processo decisório quanto ao gerenciamento adequado dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares e, conseqüentemente, quanto ao cumprimento das diretrizes da PNRS, pois, mesmo tendo metas já definidas para o gerenciamento de seus resíduos sólidos, o município do Rio de Janeiro ainda carece de um sistema de gerenciamento adequado de seus resíduos domiciliares, principalmente no que diz respeito à destinação da matéria orgânica.

Portanto, para que este gerenciamento esteja de acordo com as diretrizes estabelecidas pela PNRS, o Pensamento do Ciclo de Vida apresenta-se como valiosa e necessária ferramenta, pois devem ser considerados não só os aspectos ambientais, mas também os econômicos e principalmente os sociais, abordados, respectivamente, pelas metodologias de Avaliação do Ciclo de Vida, Custeio do Ciclo de Vida e Avaliação Social do Ciclo de Vida.

7.2. Conclusão, Recomendações e Sugestão para trabalhos futuros

O presente trabalho permitiu identificar que ainda existem muitas lacunas de informação com relação aos dados dos processos de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos domiciliares na cidade. Com relação à coleta, há carência de informações sobre as regiões que abrigam comunidades carentes, como Rocinha, Complexo da Maré, entre outras. Além disso, também há falta de informações referentes ao gerenciamento de resíduos da Ilha de Paquetá, que faz parte da Área de Planejamento 1 da cidade. Um outro gargalo identificado diz respeito à burocracia do setor, pois quando não há dados já consolidados pela Comlurb, a burocracia torna-se um entrave para a coleta dos dados primários, fundamentais para a robustez de um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida.

Embora os impactos ambientais associados à coleta normalmente sejam menores que os impactos do não tratamento do resíduo, a elaboração do Inventário do Ciclo de Vida também permitiu identificar a relevância do transporte no sistema de gerenciamento dos resíduos da cidade, o que sinaliza que a coleta e o encaminhamento dos resíduos ao aterro sanitário pode ser fonte de potenciais impactos ao meio ambiente principalmente porque os veículos compactadores são os que mais emitem dióxido de carbono dentre os veículos a diesel, além da distância significativa entre a região central da cidade até o aterro sanitário de Seropédica.

Assim sendo, é fundamental que seja realizado um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida para avaliar os impactos associados ao transporte dos resíduos na cidade do Rio de Janeiro, pois a distância entre a fonte geradora dos resíduos e a disposição final é relevante. Atualmente esse transporte é realizado por rodovias, mas há possibilidade de utilizar o modal ferroviário, visto que existe uma malha ferroviária (Malha Sudeste operada atualmente pela empresa MRS) nas proximidades da Estação de Transferência do Caju, a maior ETR da cidade em termos de movimentação de resíduos, e do aterro sanitário de Seropédica. Vale ressaltar que no próprio Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do aterro sanitário de Seropédica, foi considerada a possibilidade desse transporte ser feito por ferrovia, o que reduziria os impactos ambientais do transporte dos resíduos, sem contar o ganho de mobilidade urbana, pois seria cerca de 40 a 50 carretas a menos trafegando nas vias que ligam a ETR do Caju ao aterro sanitário.

No que diz respeito à Política Nacional de Resíduos Sólidos, esta trouxe conceitos importantes para o gerenciamento dos resíduos, como a hierarquia dos resíduos e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Entretanto, na prática, esses dois conceitos ainda não foram incorporados nos processos de tomada de decisão em gerenciamento de resíduos, pois até agora as ações concentraram-se somente na erradicação dos lixões e implantação de aterros.

Ainda com relação à PNRS, a mesma, quando traz a definição de rejeito, condiciona as possibilidades de tratamento e recuperação dos resíduos à viabilidade não só técnica como também econômica, o que pode facilitar situações em que determinados métodos de tratamento com melhor desempenho ambiental não sejam adotados em função de não apresentarem viabilidade econômica.

Por fim, o presente trabalho objetivou avaliar o gerenciamento da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares da cidade do Rio de Janeiro, o que possibilitou evidenciar que ainda existem muitos desafios para a implementação de um gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos mais sustentável com base na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Com isso, a condução de futuros estudos de Avaliação do Ciclo de Vida no setor de resíduos sólidos urbanos da cidade auxiliaria neste gerenciamento, no sentido de proporcionar maior conhecimento acerca dos impactos ambientais do modelo atual de gestão e avaliar os potenciais impactos associados às opções de tratamento previstas no PMGIRS, inclusive no que se refere à incineração dos resíduos, pois os benefícios ambientais da mesma ainda são tema em discussão.

Por consequência, ter um Inventário do Ciclo de Vida dos resíduos sólidos da cidade é de grande valia à medida que permite que a Avaliação do Ciclo de Vida esteja mais próxima possível da realidade analisada, mostrando de fato, o desempenho ambiental de uma ou outra opção de tratamento para determinado local escolhido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, 2004, *NBR ISO 10004: Resíduos Sólidos - Classificação*. 2ª ed., Rio de Janeiro.
- ABNT, 2009, *NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de vida: princípios e estrutura*. 2ª ed., Rio de Janeiro.
- ABRAMOVAY, R., 2012, *Muito além da Economia Verde*, São Paulo, Ed. Abril.
- ABRELPE, 2013 - Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama Nacional de Resíduos Sólidos 2012*. São Paulo.
- ALENCAR, 2013, *Aterro de Gericinó tem fechamento marcado para março*. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/aterro-de-gericino-tem-fechamento-marcado-para-marco-de-2014-10196605>>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2014.
- BAUD, I., GRAFAKOS, S., HORDIJK, M., POST, J., 2001, “Quality of life and alliances in solid waste management”, *Cities* v. 18, n.1, pp. 3-12.
- BECK, U., 2010, *Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade*, 1944, tradução Sebastião Nascimento, São Paulo, Ed. 34.
- BURNLEY, S., PHILLIPS, R., COLEMAN, T., 2012, “Carbon and life cycle implications of thermal recovery from the organic fractions of municipal waste”, *In Life Cycle Assess*, Springer-Verlag.
- BRASIL, 2010. Lei nº 12.305, de 02 de Agosto de 2010, *que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Brasil. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 24 de setembro de 2013.
- _____, 2011. *Plano Nacional de Resíduos Sólidos - versão preliminar*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf>. Acesso em: 24 de setembro de 2013.
- CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, 2006, *Biogás: Pesquisas e Projetos no Brasil*, São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/livro_biogas/livrobiogas.pdf>. Acesso em: 13 de janeiro de 2014.
- CHALMIN, P., GAILLOCHET, C., 2009, *From waste to resource - an abstract of world waste survey*. Disponível em < http://www.uncrd.or.jp/env/spc/docs/plenary3/PS3-F-Veolia_Hierso-Print%20abstract.pdf >. Acesso em 15 de dezembro de 2013.
- COMISSÃO EUROPEIA, 2005, *Estratégia Temática sobre a Utilização Sustentável dos Recursos Naturais*, Comunicação da Comissão ao Conselho, ao Parlamento Europeu, ao Comitê Econômico e Social e ao comitê das Regiões, Bruxelas, União Europeia.
- _____, 2008, *Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho – relativa aos resíduos e que revoga certas diretivas*, União Europeia.
- COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana, 2011, *Resíduos Sólidos e Reciclagem*. Disponível em <<http://www.iabrij.org.br/morarcarioca/wp->

content/uploads/2011/05/Comlurb-RESIDUOS-SOLIDOS-17-05-2011.pdf>. Acesso em 11 de fevereiro de 2014.

_____, 2012, *A Gestão Sustentável de Resíduos na Cidade do Rio de Janeiro*. Disponível em <<http://pt.slideshare.net/Humanidade2012/jose-henrique>>. Acesso em 11 de fevereiro de 2014.

_____, 2013a, *Caracterização Gravimétrica e Microbiológica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro.

_____, 2013b, *Coleta Domiciliar*. Disponível em <<http://www.rio.rj.gov.br/web/comlurb/exibeconteudo?id=4194205>>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2014.

_____, 2013c, *Planilha Coleta Domiciliar e Frota Coleta Domiciliar*, enviado por e-mail, Rio de Janeiro.

DRACKNER, M., 2005, “What is waste? To whom? - An anthropological perspective on garbage”, *Waste Management & Research*, 2005.

EIGENHEER, E. M., 2009, *Lixo: a limpeza urbana através dos tempos*, Porto Alegre, Ed. Campus.

EKVALL, T., ASSEFA, G., BJORKLUND, O.E., FINNVEDEN, G., 2007, “What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management”, *Waste Management v. 27*, pp. 989-996.

FRANCHETTI, M.J.; 2009, *Solid waste analysis and minimization: a systems approach*. McGraw-Hill, pp. 31.

GEORGESCU-ROEGEN, N., 1971, *The entropy law and the economic process*, Harvard University Press.

GODECKE, M.V., 2010, *Estudo das alternativas de valorização econômica para a sustentabilidade da gestão de resíduos urbanos no Brasil*. M.Sc., Pontifícia Universidade Católica PUC-RS, Rio Grande do Sul, RS, Brasil.

HAZTEC, 2013, *Apresentação Institucional*, Disponível em <http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Especial_Meio_Ambiente_Biblioteca.asp>. Acesso em 11 de fevereiro de 2014.

HEMERY, D., DEBEIR, J. C., DELÉAGE, J. P., 1993, *Uma história da energia*. Tradução Sérgio de Sálvio Brito, Brasília, Ed. UNB.

HENRIQUES, R.M., 2004, *Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica*. D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, 2001, *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*, Rio de Janeiro, RJ.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2010. *Censo Demográfico 2010: Características da População e dos Municípios*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2014.

- IPCC, 2013, *Direct Global Warming Potentials*, <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html> Acesso em: 16 de setembro de 2013.
- LAGO, A., PÁDUA, J. A., 1984, *O que é ecologia*, Coleção Primeiros Passos, Ed. Brasiliense.
- LANDIM, A. L. P. F. & AZEVEDO, L. P., 2008, *Meio Ambiente*, In BNDES Setorial n. 27, pp. 59-100. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2704.pdf>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2014.
- LORA, E.E.S. (org.), 2012, *Biocombustíveis*, v. 2, Rio de Janeiro, ed. Interciência, pp. 671-672.
- LOUREIRO, S. M., ROVERE, E. L. L., MAHLER, C. F., 2013, “Analysis of potential for reducing emissions of greenhouse gases in municipal solid waste in Brazil, in the state and city of Rio de Janeiro”, *Waste Management* v. 33, pp. 1302-1312.
- MAHLER, C. F. (org.), 2012, *Lixo Urbano - O que você precisa saber sobre o assunto*. Rio de Janeiro, ed. Revan:Faperj, pp. 34-57.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente, 2011, *1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários*, Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acesso em 18 de fevereiro de 2014.
- MARSHALL, R.E., FARAHBAKSH, K., 2013, “Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries”, *Waste Management* v. 33, pp. 988-1003.
- MEADOWS, D., RANDERS, J., MEADOWS, D., 2007, *Limites do crescimento: a atualização de 30 anos*, Rio de Janeiro, Ed. Qualitymark.
- MESZAROS, I., 2002, *Para além do capital*, 1ª ed., Campinas, Ed. Boitempo.
- OCDE, 1987, *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, Disponível em: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em: 15 de agosto de 2013.
- ODUM, E. P., 1988, *Ecologia*, ed. Guanabara.
- OIT - Organização Internacional do Trabalho, 2009, *Empregos Verdes no Brasil: quantos são, onde estão e como evoluirão nos próximos anos*, pp. 11, Brasil.
- PETROBRAS – Petróleo Brasileiro S.A., 2013, *Reduc receberá biogás gerado no aterro de Gramacho*. Disponível em: <<http://fatosdados.blogspotrobras.com.br/2013/06/07/reduc-recebera-biogas-gerado-no-aterro-de-gramacho/>>. Acesso em: 24 de janeiro de 2014.
- RIO PREFEITURA, 2013, Mapa AP. Disponível em: <<http://mapas.rio.rj.gov.br/#>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2014.
- SEA - Secretaria de Estado do Ambiente, 2013, *Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Rio de Janeiro*, Relatório Síntese, Versão preliminar, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://ivconferenciadoambienterj.tumblr.com/>>. Acesso em: 16 de setembro de 2013.

- SEADON, J.K., 2006, "Looking beyond the solid waste horizon", *Waste Management & Research*, v. 26, pp. 1327-1336.
- SMAC - Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 2012, *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS do Rio de Janeiro*. Disponível em: < <http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/residuos-solidos>>. Acesso em: 17 de setembro de 2013.
- SMAC/COPPE, 2011, *Inventário e Cenário das Emissões dos Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro*. Disponível em: < <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/1712030/DLFE-22982.pdf>/ NelsonSINVENTARIOFINALMAC_Resumo_Geral_Inv_e_Cenario_v05abr_E.pdf>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2014.
- SCHUELER, A. S. & MAHLER, C. F., 2003, *Composting in Brazil*, In *Eco-Technology* Kalmar, Kalmar.
- TWARDOWSKA, I., 2004, *Solid waste: what is it?*, In *Solid Waste: Assessment, Monitoring and Remediation*, Elsevier.
- UNEP - United Nations Environment Programme, 2011, *Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication*. Disponível em< http://www.unep.org/greeneconomy/Portals/88/documents/ger/ger_final_dec_2011/Green%20EconomyReport_Final_Dec2011.pdf >. Acesso em 24 de setembro de 2013.
- UNEP/SETAC, 2007, *Life Cycle Management - a Business Guide to Sustainability*. Disponível em< <http://www.unep.org/pdf/dtie/DTI0889PA.pdf> >. Acesso em 24 de setembro de 2013.
- UNIÃO EUROPEIA, 2011, *Supporting Environmentally Sound Decisions for Bio-Waste Management*. Disponível em< <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/111111111/22583> >. Acesso em 11 de fevereiro de 2014.
- WILSON, D.C., 2007, "Development drivers for waste management", *Waste management & Research* v. 25, pp. 198-207.
- WOLSINK, M., 2010, "Contested environmental policy infrastructure: Socio-political acceptance of renewable energy, water, and waste facilities", *Environmental Impact Assessment Review* v. 30, pp. 302-311.
- WORLD BANK, 2012, *What is waste - A global review of solid waste management*, In *Urban Development Series Knowledge papers*. Disponível em: < <http://documents.worldbank.org/curated/en/2012/03/16537275/waste-global-review-solid-waste-management> >. Acesso em: 22 de outubro de 2013.
- YOSHIDA, C.Y.M., 2012., *Competência e diretrizes da PNRS: conflitos e critérios de harmonização entre as demais legislações e normas*. In: Arnaldo Jardim; Consuelo Yoshida; José Valverde Machado Filho. (Org.). *Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos*. 1ed. Ed. Manole, Barueri - SP, pp. 3-38.

Anexo 2 - Bairros atendidos pela coleta seletiva (dados da Comlurb de set/13)

Área de Planejamento	Região Administrativa	Bairro	Coleta Seletiva
AP 1	Portuária	Saúde	
		Gamboa	
		Santo Cristo	
		Caju	
	Centro	Centro	x
	Paquetá	Paquetá	
	Rio Comprido	Rio Comprido	x
		Catumbi	x
		Cidade Nova	x
		Estácio	x
	São Cristóvão	São Cristóvão	x
		Mangueira	
		Vasco da Gama	
		Benfica	x
Santa Teresa	Santa Teresa	x	
AP 2	Botafogo	Botafogo	x
		Humaitá	x
		Urca	x
		Catete	x
		Glória	x
		Flamengo	x
		Laranjeiras	x
		Cosme Velho	x
	Copacabana	Copacabana	x
		Leme	x
	Lagoa	Leblon	x
		Gávea	x
		Vidigal	
		Ipanema	x
		Jardim Botânico	x
		Lagoa	x
	São Conrado	x	
	Rocinha	Rocinha	
	Tijuca	Tijuca	x
		Praça da Bandeira	x
		Alto da Boa Vista	x
	Vila Isabel	Vila Isabel	x
		Andaraí	x
		Grajaú	x
		Maracanã	x

Área de Planejamento	Região Administrativa	Bairro	Coleta Seletiva
AP 3	Ramos	Ramos	
		Olaria	
		Bonsucesso	
		Manguinhos	
	Complexo do Alemão	Complexo do Alemão	
	Maré	Maré	
	Penha	Penha	
		Penha Circular	
		Brás de Pina	
	Inhaúma	Inhaúma	
		Engenho da Rainha	
		Tomás Coelho	
		Del Castilho	
		Maria da Graça	
		Higienópolis	
	Jacarezinho	Jacarezinho	
	Méier	Méier	x
		Sampaio	x
		Riachuelo	x
		Cachambi	x
		Todos os Santos	x
		Lins de Vasconcelos	x
		Engenho Novo	x
		Rocha	x
		São Francisco Xavier	x
		Jacaré	
		Piedade	Abolição
	Piedade		
	Encantado		
	Engenho de Dentro		
	Água Santa		
	Pilares		
	Ilha do Governador	Ribeira	
		Zumbi	
		Cacuia	
		Pitangueiras	
		Praia da Bandeira	
		Cocotá	
		Bancários	
		Freguesia (Ilha do Governador)	x
Jardim Guanabara			
Jardim Carioca			

<i>cont.</i> <i>AP 3</i>	<i>cont. Ilha do governador</i>	Tauá	
		Moneró	
		Portuguesa	
		Galeão	
		Cidade Universitária	
	Irajá	Irajá	
		Vila Cosmos	
		Vicente de Carvalho	
		Vila da Penha	
		Vista Alegre	
		Colégio	
	Pavuna	Pavuna	
		Coelho Neto	
		Acari	
		Barros Filhos	
		Costa Barros	
		Parque Colúmbia	
	Madureira	Madureira	
		Campinho	
		Quintino Bocaiúva	
		Cavalcanti	
		Engenho Leal	
		Cascadura	
		Vaz Lobo	
		Oswaldo Cruz	
		Bento Ribeiro	
		Turiação	
	Marechal Hermes	Marechal Hermes	
		Honório Gurgel	
		Rocha Miranda	
	Anchieta	Anchieta	
		Guadalupe	
		Parque Anchieta	
Ricardo de Albuquerque			
Vigário Geral	Vigário Geral		
	Jardim América		
	Cordovil		
	Parada de Lucas		

Área de Planejamento	Região Administrativa	Bairro	Coleta Seletiva
AP 4	Jacarepaguá	Jacarepaguá	
		Tanque	x
		Taquara	x
		Praça Seca	
		Vila Valqueire	x
		<i>Freguesia</i>	x
		Pechincha	x
		Anil	x
		Gardênia Azul	x
		Curicica	x
	Freguesia	Freguesia	
	Cidade de Deus	Cidade de Deus	
	Barra da Tijuca	Barra da Tijuca	x
		Itanhagá	x
		Joá	x
		<i>Recreio dos Bandeirantes</i>	x
Grumari		x	
Camorim		x	
Vargem Grande		x	
Vargem Pequena		x	
Recreio	Recreio dos Bandeirantes	x	
AP 5	Bangu	Bangu	x
		Gericinó	
		Padre Miguel	x
		Senador Camará	x
	Campo Grande	Campo Grande	x
		Cosmos	
		Inhoaíba	x
		Santíssimo	
	Senador Vasconcelos	Senador Vasconcelos	x
	Santa Cruz	Sepetiba	
		Paciência	
		Santa Cruz	
	Guaratiba	Pedra de Guaratiba	
		Barra de Guaratiba	
		Guaratiba	
	Realengo	Realengo	x
		Deodoro	
		Vila Militar	x
Campo dos Afonsos		x	
Jardim Sulacap		x	
Magalhães Bastos		x	

Anexo 3 - Fotos da Estação de Transferência do Caju (a autora).



Entrada da ETR do Caju – Balança



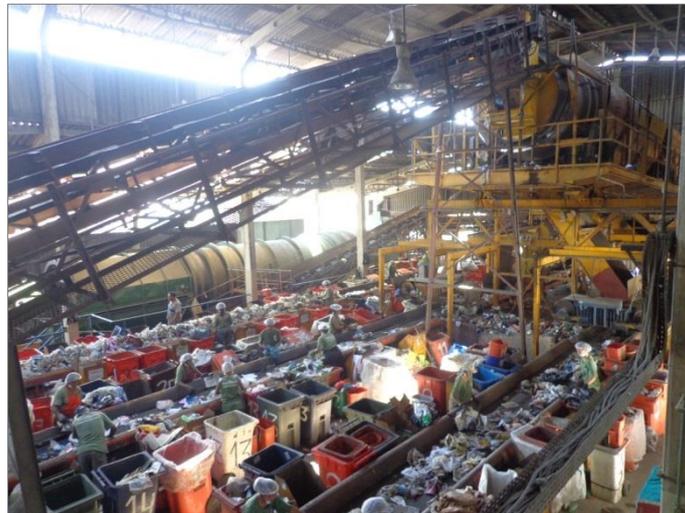
Fossos 1e 2



Despejo no fosso 1



Garra/Aranha e 1ª triagem para seleção de grandes materiais



Galpão de triagem dos fossos 1 e 2



Carregamento para compostagem (saída do galpão de triagem)



Leiras de compostagem



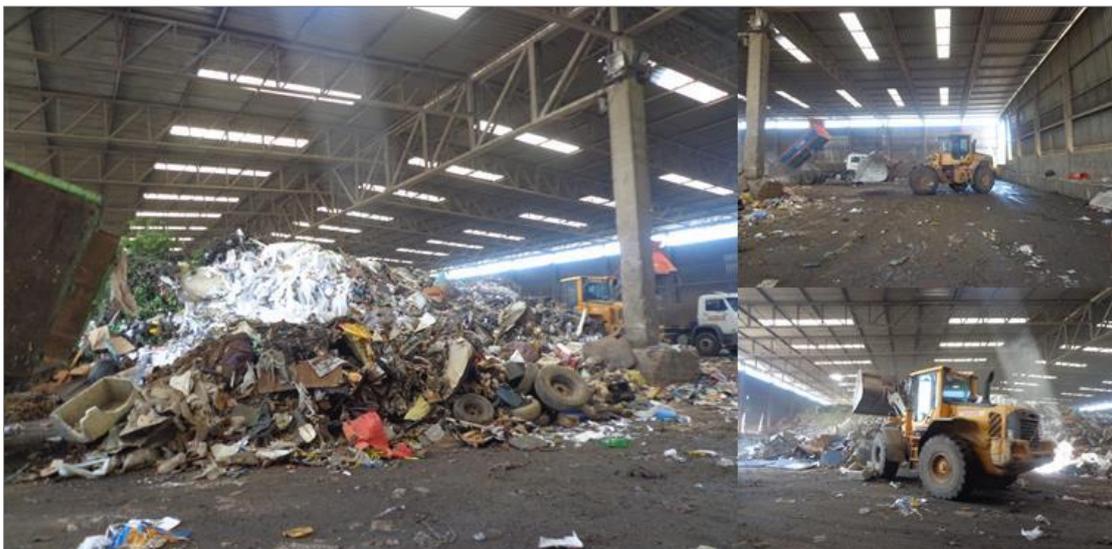
Saída das peneiras de 20 e 10 mm



Saída do composto



Parte externa do galpão de transbordo



Parte interna do galpão de transbordo