



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

AVALIAÇÃO PARA O REDIRECIONAMENTO DE RESÍDUOS URBANOS DO
ATERRO PARA A RECICLAGEM NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Patricia Cruz Lion

Projeto de Graduação apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental da
Escola Politécnica, Universidade Federal
do Rio de Janeiro, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do
título de Engenheiro.

Orientador: Diego Luiz Fonseca

RIO DE JANEIRO

Março de 2018

AVALIAÇÃO PARA O REDIRECIONAMENTO DE RESÍDUOS URBANOS DO
ATERRO PARA A RECICLAGEM NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Patricia Cruz Lion

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinada por:

Prof. Diego Luiz Fonseca, M.Sc.

Prof^a. Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco, D.Sc.

Prof^a. Katia Monte Chiari Dantas, D.Sc.

RIO DE JANEIRO

Março de 2018

Lion, Patricia Cruz.

AVALIAÇÃO PARA O REDIRECIONAMENTO DE RESÍDUOS URBANOS DO ATERRO PARA A RECICLAGEM NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO / Patricia Cruz Lion – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2018.

XII, 55 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Diego Luiz Fonseca

Projeto de graduação – UFRJ/ Escola Politécnica / Curso de Engenharia Ambiental, 2017.

Referências bibliográficas: p. 5-20.

1.Introdução; 2.Objetivos; 3.Revisão da Literatura; 4.Metodologia; 5.Resultados; 6.Conclusão.

I. Patricia Cruz Lion. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Avaliação para o redirecionamento de resíduos urbanos do aterro para a reciclagem no município do Rio de Janeiro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, por apoio, incentivo e amor durante a realização deste trabalho e em toda a minha vida, em especial aos meus pais, Paulo Leandro Soares Lion e Lucia Afonso Cruz Lion e minhas irmãs Marianna Cruz Lion e Juliana Cruz Lion.

Ao meu amigo e namorado, Gabriel do Lago Fernandes, que sempre viu um enorme potencial em mim, mesmo quando eu duvidava da minha capacidade de concluir algumas tarefas e se fez presente em todos os momentos.

Agradeço também a todas as minhas amigas Renata, Torres, Bruna Ceccato, Bruna Wafae, Kathleen Senderowitz e Juliana Bispo, desde aqueles que pude compartilhar minha infância inteira, na escola e fora dela, que tornaram os momentos mais prazerosos e divertidos.

Ao meu orientador, Diego Luiz Fonseca, pelo empenho dedicado à elaboração, orientação, apoio e confiança a este trabalho. Com ele o trabalho pode ficar mais consistente e exato, para que pudéssemos ter um bom resultado.

Às professoras participantes da banca examinadora, Elen Pacheco e Katia Dantas, por dividirem comigo esse momento tão importante da minha vida, me incentivando, apoiando e contribuindo para enriquecimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Rio de Janeiro, seu corpo docente, direção e administração por me proporcionarem o conhecimento, não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigada.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

AVALIAÇÃO PARA O REDIRECIONAMENTO DE RESÍDUOS URBANOS DO ATERRO PARA A RECICLAGEM NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Patricia Cruz Lion

Março/2018

Orientador: Diego Luiz Fonseca

Curso: Engenharia Ambiental

Um evidente setor em desenvolvimento é o de beneficiamento e recuperação de materiais recicláveis e compostagem, com a possibilidade de aproveitamento de grande parte dos resíduos sólidos gerados. Visando a gestão e gerenciamento de resíduos, é preciso conhecer a quantidade e o tipo de material descartado. Com base nesses preceitos e considerando o município do Rio de Janeiro como área de estudo, foi possível identificar que apenas três elementos constituem 88% do resíduo domiciliar e são eles a matéria orgânica putrescível (53%), plástico (20%) e papel (15%). Esses resíduos, atualmente em sua maioria destinados a aterros sanitários, podem possuir um destino mais adequado como no caso da matéria orgânica putrescível que pode ser transformada em composto orgânico através da compostagem. O plástico e papel, assim como outras porções, podem ser reciclados, transformando-se em insumos para consumo. Sendo assim, foram analisadas as composições gravimétricas de todas as áreas de planejamento do Rio de Janeiro e propôs-se um novo cenário de destinação final, considerando-se a reciclagem e a compostagem e o uso do aterro sanitário para receber apenas os rejeitos. Pode-se perceber que adotando o cenário proposto foi obtida uma redução de 93% dos resíduos que são destinados ao aterro sanitário, além da redução de 84% das emissões de gases do efeito estufa e de 96% no aporte de umidade ao aterro. Com tais mudanças também foi possível obter uma renda de R\$ 11,4 bilhões em um horizonte de 20 anos, gerando assim mais empregos.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, Reciclagem, Compostagem e Composição Gravimétrica.

Abstract of Monograph present to Poli/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for degree of Environment Engineer.

**EVALUATION FOR REDIRECTING THE URBAN WASTE FROM THE
LANDFILL TO RECYCLING IN MUNICIPALITY OF RIO DE JANEIRO**

Patricia Cruz Lion

March/2018

Advisor: Diego Luiz Fonseca

Course: Environment Engineering

An obvious developing sector is the processing of recyclable materials and composting, with the possibility of reinsertion of the biggest portion of the solid waste generated. In mind with this concern and the management of municipal waste, it is necessary to know the quantity and the type of the discarded materials, as it is from these data that it is possible to assure that this management it is beneficial to Rio de Janeiro, which was the study area in this work. It was possible to identify that only three elements constitute 88% of the domiciliary garbage and they are the organic garbage (53%), plastic (20%) and paper (15%). Nowadays, this waste is mainly sent to landfills, but it may have a more reasonable destination, as the organic material can be converted in organic compost by the composting procedure. The plastic and the paper may be recycled, being useful for the consumption. Thus, the gravimetric composition of all the planning areas of Rio de Janeiro were analyzed and a new scenario was proposed, combining recycling, composting, and sending only non-recyclable waste to the landfill. Considering this proposed scenario, it would be possible to reduce in 93% the dumped waste in the landfill, besides the reduction of 84% at the greenhouse gases emissions and 96% reduction in waste moisture content in the landfill. These changes would also enable to obtain an income of R\$ 11.4 billions in a twenty-years time horizon, generating more jobs.

Keywords: Management of Urban Solid Waste, Recycling, Composting and Gravimetric Composition.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS	4
2.1	OBJETIVO GERAL.....	4
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	4
3.	REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS VS REJEITOS.....	5
3.1.1	Classificação e Definição.....	5
3.1.2	Geração.....	6
3.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	7
3.2.1	Composição Gravimétrica.....	7
3.2.2	Teor de Umidade.....	9
3.2.3	Peso Específico.....	10
3.3	GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	11
3.3.1	Etapas para o Gerenciamento de Resíduos Sólidos.....	12
3.3.2	Destinação de Resíduos Sólidos versus Disposição de Rejeitos.....	14
3.4	PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	20
4.	METODOLOGIA	22
4.1	CÁLCULO DO QUANTITATIVO DE CADA COMPONENTE DOS RESÍDUOS.....	22
4.2	VIDA ÚTIL DO ATERRO	26
4.3	EMISSÃO DE GASES	27
4.4	REDUÇÃO DO APORTE DE UMIDADE AO ATERRO E SUA RELAÇÃO COM A GERAÇÃO DE LIXIVIADO	31
4.5	ANÁLISE ECONÔMICA.....	32
5.	RESULTADOS	35
5.1	CÁLCULO DO QUANTITATIVO EM MASSA DE CADA COMPONENTE DE RESÍDUO.....	35

5.2 VIDA ÚTIL DO ATERRO	42
5.3 EMISSÃO DE GASES	42
5.4 REDUÇÃO DO APORTE DE UMIDADE AO ATERRO.....	43
5.5 ANÁLISE ECONÔMICA.....	44
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Componentes do RSU e seus grupos (COMLURB, 2005).....	8
Tabela 3.2: Distribuição para a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos em função do estágio de desenvolvimento do país (HAMADA, 2003).....	9
Tabela 3.3: Peso específico de acordo com tipo de resíduo (TCHOBANGLIOUS, 1993).....	11
Tabela 3.4: Taxa de aterro de resíduos em países Europeus (Fonte: EUROSTAT, 2014 apud SINIR, 2018).....	18
Tabela 3.5: Estimativa econômica da receita de reciclagem no Rio de Janeiro (Fonte: CARVALHO, 2012).....	19
Tabela 3.6: Metas para redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterros (%) (Fonte: BRASIL, 2012).....	21
Tabela 4.1: Divisão das Áreas de Planejamento para a cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Elaboração própria a partir de COMLURB, 2016).....	23
Tabela 4.2: Tipos de Resíduos por categoria e suas respectivas destinações finais e cenários (Fonte: Elaboração própria com base na COMLURB, 2016).....	25
Tabela 4.3: Parâmetros utilizados para cálculo de vida útil no aterro sanitário (Fonte: Elaboração própria).....	26
Tabela 4.4: Parâmetros utilizados para cálculo de emissões de gases no aterro sanitário (Fonte: Elaboração própria).....	30
Tabela 4.5: Componentes de cada classe analisada e preço por tonelada adotado (Elaboração própria com base no estudo da COMLURB, 2016 e Governo do Estado de Minas, 2012).....	33
Tabela 5.1: Coleta de resíduos na cidade do Rio de Janeiro (t/Ano) (Fonte: COMLURB, 2016).....	35
Tabela 5.2: Composição Gravimétrica média por AP da cidade do Rio de Janeiro, ponderada pelo percentual de habitantes (Elaboração Própria com base em COMLURB, 2016).....	37
Tabela 5.3: Geração por Tipologia de Resíduo e sua respectiva AP (t/mês) (Elaboração Própria com base em COMLURB, 2016).....	40

Tabela 5.4: Geração de Lixiviado no Aterro Sanitário para ambos os cenários (Elaboração Própria com base na COMLURB, 2016 e Tchobanglous, 1993).....	44
Tabela 5.5: Custo para implantação e operação de aterros sanitários (ABETRE & FGV, 2009).....	45
Tabela 5.6: Custo para operação e implantação do aterro sanitário de diversos portes (Elaboração própria com base na ABETRE & FGV, 2009).....	46
Tabela 5.7: Custo e renda para operação e implantação da unidade de compostagem (Elaboração própria com base no BNDES, 2014 e CEMPRE, 2017).....	47
Tabela 5.8: Renda com a venda de recicláveis (Elaboração própria com base no Governo do Estado de Minas, 2012).....	47
Tabela 5.9: Custo para operação e implantação do aterro sanitário (Elaboração própria com base na ABETRE & FGV, 2009).....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Atividades operacionais relacionadas aos resíduos sólidos urbanos. (Elaboração própria com base em FRANCA, 2013).....	14
Figura 3.2: Planos de Resíduos por abrangência (ABRELPE, 2015).....	20
Figura 5.1: Áreas de Planejamento do Rio de Janeiro (Diário Oficial do MRJ, 2014).....	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1: Custo para operação e implantação do aterro sanitário de diversos portes (Elaboração própria com base na ABETRE & FGV, 2009).....	45
--	----

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas que aflige as administrações municipais no Brasil e no mundo, é a destinação dos resíduos sólidos gerados nas mais diversas atividades humanas. Quando eliminados inadequadamente, além de traduzirem-se em diversos impactos ambientais negativos, tais como a poluição do meio físico, danos à saúde pública e desvalorização do entorno dos locais de disposição, representam um desperdício de recursos naturais.

A problemática resultante da geração dos Resíduos Sólidos Urbanos – RSU, oriundos da coleta domiciliar e da limpeza urbana, é cada vez mais preocupante, devido ao grande crescimento populacional e ao desenvolvimento tecnológico das últimas décadas, o que levou ao aumento do consumo de bens e, conseqüentemente, da geração de resíduo.

Faz-se necessária a criação e efetivação de sistemas de gestão integrada e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Os termos gestão e gerenciamento adquirem conotações distintas para Lei 12.305, embora possam ser empregados como sinônimos. O termo gestão é utilizado para definir decisões, ações e procedimentos adotados em nível estratégico, enquanto o gerenciamento visa à operação do sistema de limpeza urbana (BRASIL, 2010). A gestão e o gerenciamento são instrumentos importantes para que o impacto ambiental causado pelos resíduos sólidos urbanos seja cada vez menor. Porém, para que a gestão e gerenciamento funcionem, é fundamental conhecer as características dos RSU gerados. Sendo assim de grande importância é estudar a origem e composição dos resíduos de um município, visto que permite melhor estabelecer os procedimentos para a sua destinação.

A disposição desses resíduos sólidos em aterros sanitários é uma alternativa eficaz, no que diz respeito à redução e inibição da exposição da população e do meio ambiente a qualquer tipo de contaminação, se comparada à disposição a céu aberto (lixões) (FRANCA,2013).

Contudo, os aterros sanitários também apresentam diversas desvantagens, como a necessidade contínua de grandes áreas para os empreendimentos, a distância aos centros geradores, desvalorização imobiliária das áreas em seu entorno e constituem-se em fontes de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). Apesar de minimizar os riscos com uma extensa estrutura de controle ambiental, a possibilidade de geração de odores característicos, de contaminação ambiental por chorume, a proliferação de vetores e potenciais doenças associadas, entre outros pontos, são ainda uma realidade. Além disso, tais estruturas não possibilitam a reinserção dos resíduos na cadeia produtiva, tratando-os como rejeitos a serem enterrados e, pois, retirados do ciclo econômico (BUTTENBENDER, 2004).

Assim, a fim de minimizar o volume de resíduo que chega ao aterro e com isso aumentar seu tempo de vida, torna-se necessário a busca de alternativas tecnológicas para seu gerenciamento, tais como a reciclagem da fração seca e a compostagem da fração úmida, em acordo com o preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) como destinação ambientalmente adequada (BRASIL, 2010). Adicionalmente, estas práticas proporcionam valor econômico aos resíduos (reciclados e compostados), uma vez que os introduzem em outras cadeias produtivas como matérias primas, insumos de produção ou energia. Desta forma, a correta gestão e destinação de RSU são vistas como pontos essenciais para o desenvolvimento da infraestrutura das cidades e para o crescimento do país.

Segundo o IBGE (2017), o Rio de Janeiro é a segunda cidade mais populosa do Brasil e mesmo tendo a necessidade de um gerenciamento integrado de resíduos que atenda essa grande demanda, ela ainda falha em diversos aspectos. Um exemplo disso é a comparação do montante de resíduos enviados para aterro sanitário frente ao tratado por outras unidades de destinação, tais como as de compostagem, ou mesmo daquelas seletivamente e enviadas para a reciclagem. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento de 2015, tem-se no Rio de Janeiro apenas 1% dos resíduos coletados seletivamente e 1% compostados, frente a 98% enviados para aterro sanitário (SNIS, 2017 – utilizando o parâmetro UP007 quantidade de RDO e RPU recebida na unidade de processamento).

Portanto, este trabalho surge com o principal intuito de realizar uma comparação econômica e ambiental do cenário atual de destinação final de RSU no município do Rio de Janeiro (aterro sanitário), com um cenário hipotético, destinando os resíduos gerados também para unidades de compostagem e reciclagem, à luz dos dados específicos de geração e composição gravimétrica do município. Além da análise econômica comparativa dos cenários, na qual considera-se apenas os custos associados às instalações de destinação final, fatores como o prolongamento da vida útil do aterro sanitário, emissões atmosféricas, geração de lixiviado e valor comercial dos resíduos recicláveis atualmente dispostos em aterro também são discutidos.

Para tanto, o presente trabalho é organizado em 6 capítulos. Além desta introdução, o capítulo 2 apresenta os objetivos que esse trabalho pretende alcançar. Já o capítulo 3 visa apresentar todos os conceitos bases para o presente estudo, com foco nas características dos RSU e tipologias para sua destinação final. O capítulo 4 apresenta as bases metodológicas para atendimento aos objetivos, apresentando a metodologia de quantificação do montante de resíduos gerado em cada região da cidade, bem como as referências e fórmulas utilizadas para cálculo da vida útil do aterro, emissões, análise econômica entre outros aspectos. No capítulo 5

são apresentados e discutidos os resultados obtidos para a geração de resíduos e para a análise ambiental e econômica do cenário atual e do proposto. Por fim, o capítulo 6 encerra apresentando as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar uma comparação econômica-ambiental entre o atual cenário de destinação de resíduos sólidos no município do Rio de Janeiro e o cenário proposto que visa ao redirecionamento dos resíduos recicláveis a usinas de compostagem e reciclagem.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Como objetivos específicos têm-se:

- Estudar a quantidade de massa de cada fração componente dos resíduos sólidos urbanos gerados no município do Rio de Janeiro;
- Analisar as questões ambientais, como vida útil do aterro, emissão de gases de efeito estufa (GEE) e aporte de umidade ao aterro, relacionadas a ambos os cenários propostos pelo trabalho, visando obter vantagens e desvantagens para cada um deles;
- Determinar os custos relacionados à destinação final em ambos os cenários.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS VS REJEITOS

3.1.1 Classificação e Definição

De acordo com a definição da ABNT (2004) em sua norma NBR-10.004/2004, os resíduos sólidos podem se encontrar nos estados sólido e semissólido e são originados de atividades humanas ou não humanas. Uma vez tratados, podem ser úteis para a atividade de onde foram gerados ou podem virar insumos para outras atividades, podendo, eventualmente, ser reusados sem nenhum tratamento, dependendo do resíduo.

No entanto, nem todos os resíduos gerados podem ser tratados e/ou recuperados, sendo denominada rejeito a porção cuja única possibilidade viável técnica e economicamente é sua distribuição ordenada em aterros sanitários (BRASIL, 2010). Como exemplos desses, temos o papel higiênico, fraldas descartáveis, guardanapos e pó de varrição.

Ainda de acordo com a norma NBR-10.004/2004, os resíduos sólidos são classificados em função de sua periculosidade em:

Resíduo Classe I – Perigosos: apresentam risco à saúde pública e/ou ao meio ambiente, caracterizando-se por possuir uma ou mais das seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade

Resíduo Classe II – Não Perigosos;

- Resíduo Classe IIA – Não Inertes: são todos os resíduos não enquadrados na classe I - Perigosos ou classe IIB - Inertes e que podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;

- Resíduo Classe IIB – Inertes: são todos os resíduos que submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados, de acordo com padrões desta norma.

Outra forma de classificação utilizada é quanto à origem ou fonte geradora, que pode ser: domiciliar, comercial, industrial, de serviços de saúde, portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários, agrícola, construção civil e limpeza pública, de acordo com a Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Dentro desta classificação está inserido o resíduo designado como resíduo sólido urbano (RSU), que engloba

os resíduos domiciliares e de limpeza urbana, podendo incluir também resíduos de pequenos geradores, desde que classificados como não-perigosos.

Segundo o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil de 2016, publicado pela Abrelpe (ABRELPE, 2016), o Brasil produziu cerca de 78,3 milhões de toneladas de RSU por ano, ou seja 2% a menos do que o ano anterior (2015). Por outro lado, desse total, somente 71,3 milhões de toneladas foram coletadas, 1,7% a menos do que em 2015, evidenciando o destino ainda incerto de 7 milhões de toneladas.

É necessário conhecer a composição desses resíduos sólidos urbanos, que varia em função das características de cada cidade, para poder destiná-los da forma ambientalmente adequada. A cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, conforme a Legislação Municipal de nº 3.273/2001 sobre a gestão do sistema de limpeza urbana do município, divide os resíduos sólidos em dois tipos: resíduos sólidos urbanos e resíduos sólidos especiais. Ao passo que os resíduos sólidos especiais seriam aqueles provenientes da construção civil (que é conhecido como entulho), resíduos químicos, biológicos ou rejeitos radioativos (oriundos do serviço de saúde) e os resíduos industriais formado por corrosivos, inflamáveis e tóxicos.

Os resíduos sólidos urbanos abrangem: resíduo domiciliar ou doméstico; resíduos de poda de manutenção de jardim, pomar ou horta; resíduo de varrição pública (parques, praias, avenidas, ruas e demais espaços públicos); resíduo de pequenos estabelecimentos comerciais, cuja composição seja similar aos domiciliares. Sendo que para poder classificar esses resíduos, é necessário conhecer a sua origem, que é melhor definida no próximo subcapítulo.

3.1.2 Geração

Com o crescimento da população, há naturalmente, o aumento da quantidade de resíduos gerados. Porém, além das consequências diretas do aumento populacional, ocorre também uma mudança de hábitos da população, decorrentes do modelo de produção e consumo adotados, que se reflete em uma maior geração *per capita* de resíduos.

Principalmente após a Segunda Guerra Mundial, surgiu uma forte era competitiva entre mercados. A inovação dos produtos, por meio do desenvolvimento tecnológico, permite uma diferenciação entre empresas e se torna uma grande vantagem competitiva. As constantes inovações aceleram a obsolescência dos produtos e reduzem os ciclos de vida, deixando clara a tendência de descartabilidade desses produtos.

Com estudos apresentados pelo SNIS, pode-se comprovar tal indicativo que vem sendo evidenciado desde a Segunda Guerra Mundial. Nessa ferramenta de consulta partiu-se dos municípios de maior para menor porte, o que significa de maior para menor geração per capita de resíduos sólidos, para confirmar tal premissa de descartabilidade de produtos. Sendo assim, a média da geração per capita entre 2002 a 2009 variou de 0,75 a 0,96 kg/habitante.dia, correspondendo a um aumento de 28% em 8 anos (SOARES, 2011).

Outro importante fator que interfere na geração de resíduos sólidos, segundo CAMPOS (2012), é o crescimento do produto interno bruto (PIB). Nos países europeus houve uma associação direta entre estes 2 indicadores até o ano 2000, quando o PIB passou a crescer em proporções bem maiores que a geração de resíduos sólidos. No caso do Brasil, até 2008, houve uma associação direta entre os mesmos e um sinal de redução do PIB proporcionalmente à geração dos resíduos, demonstrando uma situação inversa à ocorrida na Europa.

No Brasil, em termos percentuais, a geração per capita de resíduos sólidos tem crescido mais do que a população e o PIB tem crescido menos do que a geração de resíduos sólidos. Em 2009, houve uma inflexão no crescimento do PIB enquanto a geração total de resíduos continuou aumentando (CAMPOS, 2012).

Diante deste cenário, faz-se necessário investir na erradicação dos lixões e no tratamento dos resíduos sólidos. Para isso, é necessário conhecer a caracterização desses resíduos, para poder realizar a sua segregação de forma ambientalmente adequada, ou seja, destinar os resíduos secos para a reciclagem e os úmidos para a compostagem, e dessa forma diminuir a quantidade de resíduos que irão para os aterros sanitários.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

3.2.1 Composição Gravimétrica

Para haver uma melhor gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos dos municípios brasileiros, primeiramente, é preciso conhecer o que é gerado. A composição gravimétrica constitui uma informação importante na compreensão do comportamento dos resíduos, e expressa, em percentual, a presença de cada componente, em relação ao peso total da amostra dos resíduos.

Segundo a COMLURB (2009), a caracterização de resíduos sólidos urbanos se apresenta como uma técnica essencial para se definir o fluxo dos mesmos, desde a coleta até o seu destino final, de forma sanitária, ambientalmente correta e economicamente viável, bem como

dimensionar a quantidade de RSU produzido em cada área e gerar dados que definirão metas e modelos de gestão.

Dessa forma, estudos de caracterização de resíduos também são utilizados para auxiliar no planejamento e no desenvolvimento de políticas, e para o dimensionamento de decisões para uma gestão integrada de resíduos sólidos (CIWMB, 2004).

Além disso, o conhecimento da composição gravimétrica permite uma avaliação preliminar da degradabilidade, do poder de contaminação ambiental, das possibilidades de reutilização, reciclagem, valorização energética e orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Sendo, portanto, de grande importância na definição das tecnologias mais adequadas ao tratamento e disposição final dos resíduos, monitoramento ambiental e na estimativa de vida útil da área.

Atualmente a composição dos resíduos sólidos urbanos é muito heterogênea, sendo que é possível observar na Tabela 3.1 os diversos componentes da sua parte sólida. Além disso, existe uma variação significativa na percentagem dos principais componentes do RSU de uma região para outra, a qual, geralmente, está relacionada com os níveis de desenvolvimento econômico, tecnológico, sanitário e cultural dessas regiões e com as práticas de reciclagem, incineração e os hábitos de desperdícios da sociedade. Em geral, a composição do RSU em locais menos desenvolvidos socioeconomicamente apresenta-se com maior percentagem de matéria orgânica quando comparada com locais mais desenvolvidos, como é possível observar na Tabela 3.2.

Tabela 3.1: Componentes do RSU e seus grupos (COMLURB, 2005)

<i>Grupo</i>	<i>Componente</i>
Papel	Papel, Papelão
Plástico	Plástico Duro, Plástico Filme
Vidro	Vidro Claro, Vidro Escuro
Orgânico	Matéria Orgânica, Agregado Fino
Metal	Metal Ferroso, Metal Não Ferroso
Inerte	Pedra, Louça/Cerâmica
Outros	Folha, Madeira, Borracha, Têxteis, Couro, Ossos

Tabela 3.2: Distribuição para a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos em função do estágio de desenvolvimento do país (HAMADA, 2003)

Componente	Países de baixa renda <i>per capita</i>	Países de média renda <i>per capita</i>	Países de elevada renda <i>per capita</i>
Orgânico			
Restos de alimento	40-85	20-65	6-30
Papel ^a e papelão ^b	1-10 (a+b)	8-30 (a+b)	20-45 e 5-15
Plásticos	1-5	2-6	2-8
Têxteis	1-5	2-10	2-6
Borracha e couro	1-5	2-10	0-2
Podas ^c e madeira ^d	1-5 (c+d)	1-10 (c+d)	10-20 e 1-4
Inorgânicos			
Vidro	1-10	1-10	4-12
Metais em geral	1-5	1-5	3-12
Terra, pó, cinzas	1-40	1-30	0-10

Ao observar ambas as tabelas, é possível perceber a ausência de alumínio na distribuição da composição gravimétrica, embora em 2015 o Brasil tenha reciclado 602 mil toneladas de alumínio (ABAL, 2017). Tal fato ocorre porque esse material não é computado na coleta dos resíduos urbanos, uma vez que com tantos catadores autônomos e sucateiros informais não registrados, pela pesquisa do Compromisso Empresarial pela Reciclagem (CEMPRE, 2010) e pelo Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS, 2017), é difícil avaliar o seu impacto na composição gravimétrica desses resíduos.

Além disso, sabe-se que no Brasil, o percentual de matéria orgânica putrescível dos RSU varia entre 50 e 60%, típico de países em desenvolvimento. Este alto teor orgânico propicia, entre outros fatores, um elevado teor de umidade aos resíduos (COMLURB, 2016).

3.2.2 Teor de Umidade

O teor de umidade representa a quantidade de água presente no resíduo, medida em percentual do seu peso. Este parâmetro se altera em função das estações do ano e da incidência de chuvas.

Esse parâmetro tem influência direta sobre a velocidade de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem, na produção de biogás, no poder calorífico, no peso

específico aparente do RSU e na produção de lixiviado, sendo assim, seu conhecimento é de extrema importância para o gerenciamento dos resíduos.

Por exemplo, na disposição ambientalmente adequada dos resíduos em aterros sanitários, segundo SILVEIRA (2004), o teor de umidade do resíduo sólido urbano depende da composição inicial do material, das condições climáticas locais, do processo de operação dos aterros, da taxa de decomposição biológica, da capacidade e funcionamento dos sistemas de coleta de lixiviado e do sistema de *liner* de recobrimento. No aterro sanitário, o teor de umidade pode variar significativamente entre um ponto e outro, tornando-se relevante a obtenção do perfil de umidade com a profundidade, o qual pode ser obtido com sonda de nêutrons ou secagem de amostras representativas em estufa. Pode-se usar estufa com temperatura de 50 a 65°C para a secagem das amostras de RSU. O teor de umidade pode ser determinado tanto em base seca como em base úmida.

3.2.3 Peso Específico

A relação entre o peso e o volume unitário na massa de resíduos representa o peso específico, sendo que seu valor varia de acordo com a etapa considerada, ou seja, desde sua geração até a disposição final nos aterros, variando também com o tempo.

O grau de compactação é fator preponderante no valor do peso específico, podendo-se afirmar que, de uma maneira geral, os valores encontrados podem variar de 178 a 451 kg/m³ em caminhões compactadores. Quando esse resíduo chega ao aterro sanitário, seu peso específico pode variar de 362 a 498 kg/m³, no caso de o material estar simplesmente espalhado e pode atingir valores de até 590 a 742 kg/m³ quando aplicada uma compactação controlada, utilizando-se tratores de esteira ou rolos de compactação apropriados, como podemos observar na Tabela 3.3. Essa tabela apesar de antiga, é a fonte mais detalhada e completa para analisar o peso específico por tipologia de resíduo.

Tabela 3.3: Peso específico de acordo com tipo de resíduo (TCHOBANGLIOUS, 1993)

Tipo de Resíduo	Peso específico (kg/m ³)	
	Intervalo	valor típico
Residencial (s/compactação)		
Restos de comida	130 - 480	290
Papel	42 - 130	89
Cartão	42 - 80	50
Plásticos	42 - 130	65
Têxteis	42 - 100	65
Borracha	100 - 200	130
Couro	100 - 261	160
Resíduos de jardins	59 - 225	100
Madeira	130 - 285	237
Vidro	159 - 480	146
Latas	50 - 159	89
Alumínio	65 - 240	160
Outros metais	130 - 751	320
Lixos, cinzas, etc.	320 - 1000	480
Cinzas	650 - 831	744
R S U:		
No caminhão compactado	178 - 451	297
Em Aterro Sanitário:		
Compactação normal	362 - 498	451
Bem compactada	590 - 742	599
Comerciais		
Restos de comida (húmidos)	475 - 949	540
Aparelhos / monstros	148 - 202	181

O valor do peso específico está diretamente relacionado à sua composição gravimétrica, visto que quanto maior for à quantidade de componentes leves (papel, papelão, plásticos) ou quanto menor for à quantidade de matéria orgânica, menor será seu valor. Em áreas de maior poder aquisitivo, com maior consumo de materiais supérfluos, o peso específico dos RSU é menor, quando comparado as áreas de menor poder aquisitivo, com maior descarte de matéria orgânica.

Pode-se concluir que o peso específico é essencial para o dimensionamento da frota de coleta, assim como o número de caçambas e contêineres estacionários, para que se tenha o local correto de acondicionamento em função do peso e espaço ocupado do resíduo. Com isso, é possível caminhar para um gerenciamento de resíduos sólidos ambientalmente adequado e financeiramente viável.

3.3 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O progresso econômico e o desenvolvimento industrial aumentaram as quantidades de resíduos gerados e, para se obter um equilíbrio, é preciso que estes sejam reintroduzidos no ciclo de produção, sob a forma de matéria-prima. O meio ambiente vem nos dando sinais da

sua incapacidade de armazenar todos os resíduos gerados. Com isso, as políticas de gerenciamento dos resíduos sólidos tornam-se fundamentais para o melhoramento da qualidade de vida da população e para promover o crescimento sustentável das cidades.

Desta forma, as ações na gestão e no gerenciamento precisam ser articuladas e comprometidas entre si, porém deve-se destacar a importância de se considerar as questões econômicas e sociais envolvidas no cenário e a elevação da urbanização, pois são os principais causadores do aumento da problemática do gerenciamento dos resíduos. Para equacionar os problemas principais, é preciso que haja a participação efetiva da sociedade para reduzir os descartes e reaproveitar os resíduos antes do destino final e também é necessário exigir das empresas que estabeleçam programas de redução da geração de resíduos e o máximo aproveitamento dos materiais recicláveis e, ainda, a disposição dos resíduos de forma mais sanitária e ambientalmente adequada, visando atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Essa instituiu como prioridade na gestão e no gerenciamento dos resíduos a sua não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição, seguindo essa ordem de importância. Esse ordenamento visa minimizar o desperdício dos materiais e produtos, além de poupar a natureza da extração inesgotável de recursos. Adotando essas práticas é possível reduzir os custos gerados pelo tratamento e disposição de resíduos, uma vez que eles estão no fim dessa cadeia e por isso seriam adotados quando não atenderem as primeiras etapas, além de favorecer o desenvolvimento sustentável.

Com essa redução na disposição de resíduos, obter-se-ia o aumento da vida útil dos aterros, diminuição de seus custos operacionais e também a melhoria dos processos existentes dentro do aterro, como o tratamento do chorume e do biogás, uma vez que o volume gerado será menor, sendo assim mais fácil de gerenciar.

3.3.1 Etapas para o Gerenciamento de Resíduos Sólidos

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, segundo a Lei 12.305, contempla a sua segregação, acondicionamento, coleta, transporte, transferência, tratamento e destinação final destes, com a responsabilidade dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, iniciando-se com a coleta, sendo a segregação e acondicionamento responsabilidade dos geradores (BRASIL, 2010).

Na etapa de geração de resíduos sólidos, alterações no padrão de consumo da sociedade que incentivem o consumo de produtos com redução de embalagens e de matérias-primas em sua composição (*ecodesign*) ou mesmo o compartilhamento de bens contribuem para a redução do montante gerado, facilitando seu gerenciamento. Ainda nessa etapa, a ação de segregar os

resíduos nos domicílios, ou seja, antes de serem encaminhados para o centro de triagem, com base em suas características possibilitará a melhor valorização dos resíduos e maior eficiência das demais etapas subsequentes de gerenciamento, por evitar a contaminação de quantidades significativas de materiais reaproveitáveis em decorrência da mistura de resíduos.

Essa mistura pode ocorrer porque os resíduos sólidos urbanos podem conter material de origem fecal (presentes no papel higiênico, fraldas, entre outros), resíduos do serviço de saúde, contendo uma diversidade de microrganismos potencialmente patogênicos prejudiciais à saúde humana. Além disso, pode-se encontrar também materiais com substâncias químicas perigosas, como os frascos de aerossóis, lâmpadas, esmaltes e latas de tintas, que caso rompidas ou expostas, podem gerar contaminação química tanto nos resíduos recicláveis como nos compostáveis (BUTTENBENDER, 2004). Portanto, tal ação é necessária para que o composto gerado seja de boa qualidade e facilite a sua comercialização.

Para a próxima etapa de acondicionamento dos resíduos sólidos, por sua vez, deve ser compatível com suas características quali-quantitativas, facilitando a identificação e possibilitando o manuseio seguro dos resíduos, durante as etapas de coleta, transporte e armazenamento (IBAM, 2001). A coleta e transporte consistem nas operações de remoção e transferência dos resíduos sólidos urbanos para um local de armazenamento, processamento ou destinação final. Essa atividade deve ser realizada de forma seletiva, por meio de caminhões “Baú” ou através dos Pontos de Entrega Voluntária (PEV’s), que são instalações simples nas quais os resíduos são acumulados separadamente, aguardando o serviço de coleta (LOGAREZZI, 2004).

Por fim, o reaproveitamento e tratamento dos resíduos são ações corretivas cujos benefícios podem ser a valorização dos resíduos, ganhos ambientais com a redução do uso de recursos naturais e da poluição, geração de emprego e renda e aumento da vida útil dos sistemas de disposição final. Essas ações devem ser precedidas de estudos de viabilidade técnica e econômica, uma vez que fatores como qualidade do produto e mercado consumidor podem ser restritivos ao uso de algumas dessas alternativas. Tais ações, quando associadas à coleta seletiva, ganham maior eficiência por utilizarem como matéria prima, resíduos de melhor qualidade. A Figura 3.1 apresenta o fluxograma dessas etapas do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

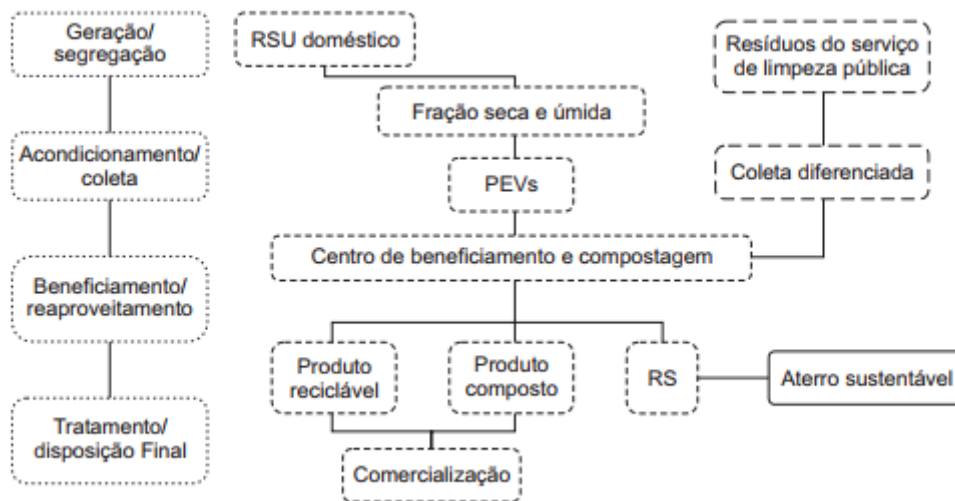


Figura 3.1: Atividades operacionais relacionadas aos resíduos sólidos urbanos.

(Elaboração própria com base em FRANCA, 2013)

3.3.2 Destinação de Resíduos Sólidos versus Disposição de Rejeitos

Saber distinguir esses dois termos é fundamental para a adequada aplicação da PNRS e para isso é necessário compreender a diferença entre resíduos sólidos e rejeitos. Como já discorrido, os resíduos sólidos são sobras de materiais resultantes de atividade humana, que ainda têm proveito, ou seja, podem ser reutilizados, reciclados, tratados e recuperados. Enquanto isso, os rejeitos também são resíduos sólidos, porém que não tem proveito algum, não havendo outra opção que não seja encaminhar para o aterro sanitário, ou outra forma de disposição final ambientalmente adequada (GARCIA e FLORES, 2010).

Portanto, a PNRS considera que a destinação de resíduos inclui a reciclagem e tratamento de resíduos, enquanto que a disposição final engloba a distribuição ordenada de rejeitos em aterros sanitários (BRASIL, 2010).

O tratamento dos resíduos são ações corretivas que podem trazer como benefícios: sua valorização, ganhos ambientais com a redução do uso de recursos naturais e da poluição, geração de emprego e renda e aumento da vida útil dos locais de disposição final.

Dentre os métodos de tratamento mais difundidos no Brasil, podem-se citar:

Reciclagem: surgiu como uma maneira de introduzir novamente no sistema uma parte da matéria e/ou da energia dos resíduos secos. O ato de reciclar faz com que um determinado material retorne ao seu ciclo de produção, a partir de vários processos de separação dos materiais existentes nos resíduos, que poderão, após seu beneficiamento, retornar à indústria

como matéria prima. Como vantagens deste processo têm-se a preservação dos recursos naturais, a economia de energia, a redução da quantidade de resíduos a ser disposta em aterros, além da geração de empregos e serviços (SOARES, 2006). A partir destas vantagens há uma redução dos impactos que poderiam ser gerados ao meio ambiente com a produção de energia para o beneficiamento dos recursos naturais, assim como os oriundos da disposição final dos resíduos;

Compostagem: é uma forma de tratamento biológico da parcela orgânica facilmente biodegradável dos resíduos, permitindo a redução do volume dos resíduos e a transformação destes em compostos orgânicos que podem ser utilizados na agricultura como condicionantes do solo: o *húmus* (INÁCIO e MILLER, 2009). O processo é totalmente natural, não sendo necessária a adição de componentes físico, químico ou biológicos externos, reduzindo impactos ao meio ambiente. A realização de compostagem em usinas é um dos meios mais aplicados para tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Pode-se dizer que com a compostagem, os ciclos de extração, consumo, disposição e retorno ao meio ambiente se fecham da maneira ambientalmente correta, retornando à natureza, compostos que foram retirados dela mesma. No Brasil, o sistema de compostagem parece atrativo, uma vez que a maior parte dos resíduos sólidos urbanos é constituída de materiais orgânicos (BRASIL, 2012). Sendo que para a obtenção de um composto de boa qualidade, é necessário a segregação dessa matéria orgânica no domicílio, evitando assim a sua contaminação química e biológica quando misturada com outros resíduos, como latas de tinta, lâmpadas e papel higiênico.

Além dessas alternativas, há outras menos adotadas em território nacional, como a incineração, que é o processo de combustão controlada dos resíduos que são queimados e transformados em pequenas quantidades de resíduos inertes, não inertes e gasosos ou mesmo a digestão anaeróbica, que é o processo de decomposição de matéria orgânica que ocorre na ausência de oxigênio gerando o biogás e um resíduo líquido rico em minerais que pode ser utilizado como biofertilizante (ALVES, 2000).

Com relação à disposição final no Brasil, as formas finais mais comumente adotadas têm sido aquelas em que os resíduos são aterrados sem tratamento prévio. Em termos de disposição em terra, apenas o aterro sanitário é identificado como adequando, sendo que tanto o aterro inadequado (ou controlado), como o lixão não são previstos pela Lei 12.305 como locais ambientalmente corretos para disposição final de resíduos. Essa Lei prevê a extinção desses lixões e aterros inadequados até o fim de 2014, no entanto tal prazo não foi cumprido uma vez que em 2015 ainda é possível encontrar 31% dos resíduos sendo destinados à esses locais no

estado do Rio de Janeiro (respectivamente BRASIL, 2010; ABRELPE,2015b). Dentre as disposições finais citadas, pode-se definir:

Lixão ou Vazadouro a céu aberto: é uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos), além de poluição do ar pela exalação de odores, fumaças, gases tóxicos ou material particulado, poluição das águas superficiais e subterrâneas, e do solo, pelo lixiviado. Acrescenta-se a esta situação o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nestes locais, verificando-se até mesmo a disposição dos originados dos serviços de saúde e das indústrias. Comumente ainda se associam aos lixões fatos altamente indesejáveis, como a criação de animais e a existência de catadores atuando em condição insalubre, muitas vezes, residindo no próprio local, comprometendo a saúde e segurança destes (FRANCA, 2013);

Aterro Inadequado: Sendo também considerado uma forma inadequada de disposição, esse método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, como a cobertura de solo sobre os resíduos dispostos ao final de cada jornada de trabalho e a compactação para redução de volume (FUNASA, 2007). Geralmente, não dispõe de impermeabilização de base, comprometendo a qualidade das águas subterrâneas; nem processos de tratamento de lixiviado e ou de dispersão dos gases gerados. Tratam-se, em geral, de antigos lixões em operação, que passaram por processos de readequação, na tentativa de aumentar o controle ambiental, mas sem a possibilidade de colocar todos os aspectos sob controle, dada a existência do passivo já em curso oriundo dos resíduos já dispostos. Sendo assim, essa nomenclatura se torna obsoleta pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, porque esses não possuem métodos para evitar os impactos ambientais causados por essa atividade, portanto são vistos também como lixões (BRASIL, 2010);

Aterro Sanitário: Segundo a ABNT (1997), é a forma de disposição de resíduos sólidos urbanos que obedece a critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permitindo o confinamento seguro em termos de controle de poluição ambiental e proteção à saúde pública. São constituídos por células de disposição, há compactação dos resíduos, cobertura diária, sistema de drenagem, tratamento do lixiviado e dos gases produzidos, impermeabilização de base, monitoramento geotécnico e ambiental e instrumentação. Todas essas técnicas visam proteger o meio ambiente de possível contaminação oriunda do aterro. Trata-se, pois, da alternativa de disposição final ambientalmente adequada, conforme preconizado pela Política Nacional (BRASIL, 2010).

A disposição final de resíduos sólidos urbanos tem apresentado sinais de evolução e aprimoramento, obtendo 59% dos resíduos coletados no Brasil em 2015 encaminhados para aterros sanitários (ABRELPE, 2015b). Tal crescimento se deve a adequação dessas unidades de disposição final às diretrizes da Lei 12.305, no entanto deve-se ter em vista que a Política Nacional define que apenas rejeitos devem ser encaminhados para essas unidades.

Sendo que, a implantação de um aterro sanitário é uma das tarefas mais difíceis e muitas vezes controversas enfrentadas por muitas comunidades no gerenciamento de RSU. Na avaliação de locais potenciais para a disposição dos RSU alguns fatores precisam ser considerados, como: a distância dos centros geradores para o local de disposição, as restrições de localização, a disponibilidade da área, o acesso à área, as condições do solo, as condições climatológicas, as condições ambientais locais e as condições geológicas e hidrogeológicas.

MAHLER (2002) observou que apenas 10% dos resíduos sólidos coletados eram depositados em aterros que possuíam sistema de tratamento de efluente (chorume), impermeabilização de base, dispersão de gases e confinamento de resíduos sólidos pela cobertura diária com material inerte. Com isso, as áreas adjacentes sofrem com a desvalorização imobiliária, fazendo com que cada vez mais os aterros se afastem das áreas de coleta do resíduo. Ainda no ano de 2013, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística informou que no Brasil apenas 40% do resíduo coletado foi destinado a aterros sanitários, enquanto que 49% dos resíduos se encontravam em lixões (IBGE, 2013). Conclui-se que tal número, além de representar um grande desperdício de matéria-prima, que poderia ser utilizada na reciclagem, compostagem ou até mesmo para a geração de energia, também gera a exclusão de uma sociedade que vive no entorno desses locais e é diretamente impactada por estas formas inadequadas de destinação.

Contudo, ao se analisar as formas de destinação dos resíduos sólidos praticadas pelos países desenvolvidos, percebe-se uma tendência contrária à brasileira, de aterramento destes. A Tabela 3.4 apresenta a evolução de 2010 a 2014 dos percentuais destinados a aterro sanitário praticados por diversos países europeus. À exceção de alguns países como Estônia, a grande maioria dos países europeus tem realizado um grande incentivo para a redução do uso de aterros sanitários e aumento de outras práticas de destinação, como a reciclagem e compostagem. Em um cenário mais extremo, países como Suíça e Noruega, por exemplo, não destinam mais resíduos a aterros sanitários.

Tabela 3.4: Percentual dos resíduos coletados dispostos em aterros sanitários em países Europeus (Fonte: EUROSTAT, 2014 apud SINIR, 2018)

geo\time	2010	2012	2014
EU (28 countries)	28	27	25
Belgium	9	6	3
Bulgaria	69	85	82
Czech Republic	29	24	22
Denmark	6	5	4
Germany	8	10	11
Estonia	74	71	77
Ireland	50	41	24
Greece	75	79	81
Spain	51	46	47
France	26	25	23
Croatia	51	59	47
Italy	28	25	21
Cyprus	58	51	59
Latvia	52	37	26
Lithuania	44	45	38
Luxembourg	3	4	6
Hungary	54	55	46
Malta	74	68	70
Netherlands	2	3	2
Austria	12	9	12
Poland	28	29	26
Portugal	39	34	31
Romania	56	55	54
Slovenia	32	13	10
Slovakia	55	53	52
Finland	17	11	17
Sweden	10	9	9
United Kingdom	33	31	28

A partir desse cenário presente na Europa, é importante perceber que para o Brasil atingir patamares semelhantes a esses, será necessário a instalação de aterros sanitários planejada em associação, na medida do possível, à implantação da coleta seletiva, indústria de reciclagem e das usinas de compostagem. Com isso, a vida útil do aterro sanitário pode ser prolongada, pois os materiais serão reaproveitados, o que significa o não desperdício de matérias primas e de recursos naturais.

A compostagem é essencial no aumento da vida útil do aterro sanitários, porque, segundo COSTA (1996), o resíduo orgânico putrescível representa em peso de 45 a 60% do total coletado e é esta fração que disposta em aterros gera grandes volumes de chorume e gás metano, além de atrair vetores de doenças.

Ela deve ser realizada em concomitância com a coleta seletiva, pois essa se apresenta como a única maneira de proporcionar o adequado condicionamento das diferentes categorias de resíduos possibilitando que esses sejam mais facilmente destinados às suas respectivas

operações de tratamento e reciclagem, diminuindo as perdas e os custos com transporte e separação em usinas. A não realização dessa prática leva à separação do material em um centro de triagem, fazendo com que o resíduo diminua o seu valor de mercado, já que este tipo de modelo gera a produção de um produto final de baixa qualidade com grande quantidade de partículas de materiais indesejados, possível contaminação com metais pesados e muitas vezes aspecto deplorável e mau cheiro (COELHO, 2014).

Sob o ponto de vista de uma análise econômica, CARVALHO (2012) concluiu que o uso sustentável de resíduos sólidos domésticos no Rio de Janeiro poderia levar a benefícios que geram um resultado econômico positivo, como evidenciado através da Tabela 3.5. Além disso, pode-se notar também a ausência de alumínio na composição desses resíduos, pois como discutido previamente, esse material possui o maior valor de venda no mercado, sendo na maioria das vezes coletado por catadores e dessa forma chegam diretamente nas unidades de reciclagem, não sendo contabilizados na composição gravimétrica.

Por fim, é importante notar que o objetivo do uso sustentável não é meramente gerar recursos econômicos, mas também reduzir o volume de resíduos enviados para o aterro, tendo assim ganhos ambientais. Para isso, faz-se necessário o cumprimento dos objetivos declarados pelo Plano Nacional dos Resíduos Sólidos, que deve refletir sobre onde reduzir, o que reduzir e como sustentar o processo (CAMPOS, 2012).

Tabela 3.5: Estimativa econômica da receita de reciclagem no Rio de Janeiro (Fonte: CARVALHO, 2012)

Materiais	Composição de resíduos (%)	Quantidade (milhares de toneladas/mês)	Preço (US\$/ton)	*Receita (milhares US\$/mês)
Papel	12	48	330	60,7
Cartão	3	22	168	8
Tetrapak	1	236	108	2,4
Plástico filme	15	84	540	127,8
Plástico	5	26	720	60,7
Vidro branco	2	19	120	3,1
Vidro colorido	1	27	120	2,3
Metal	2	85	216	5,9
Alumínio	0	0	1201	0
Outros	5	0	0	0
TOTAL				270,9

*1US\$=R\$ 1,6658

3.4 PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos é instrumento da Lei nº 12.305/2010. É uma ferramenta que, juntamente com os planos de resíduos sólidos de outras esferas, visa auxiliar a execução da PNRS. A Figura 3.2 apresenta uma explicação mais detalhada sobre os diversos planos de resíduos e sua abrangência.

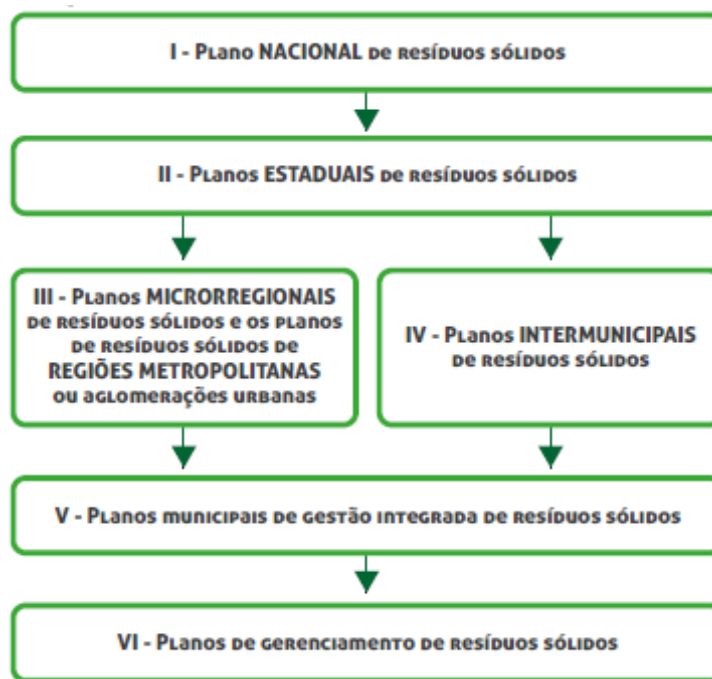


Figura 3.2: Planos de Resíduos por abrangência (ABRELPE, 2015a)

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) prevê a redução da produção de resíduos sólidos, o reaproveitamento e a disposição correta em caso de resíduos não recicláveis, entre outras medidas preconizadas pela PNRS (BRASIL, 2012). Tem como metas: o fechamento dos lixões; destinação apenas dos rejeitos (parte do lixo que não tem como ser reciclado) para os aterros sanitários; e implantação de uma política de logística reversa, aumentando o montante e tipologias passíveis desta prática

A Lei 12.305/2010 estabeleceu prazos para algumas ações tais como a eliminação de lixões e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos até 2014, ficando outras a cargo do Planares, como a de remediação das áreas de disposição inadequada. Contudo esse prazo foi estendido, pois o Projeto de Lei 2.289/2015, aprovado no Senado, dá prazo até 31 de julho de 2018, para capitais e regiões metropolitanas se adequarem; até 31 de julho de 2019, para municípios com população superior a 100 mil habitantes; até 31 de julho de 2020, para

municípios com população entre 50 a 100 mil habitantes e até 31 de julho de 2021, para aqueles com população inferior a 50 mil habitantes (BRASIL, 2015).

As demais ações em que a Lei não estabeleceu prazos máximos para seu cumprimento são objeto de planos de metas alternativos, adequados para cada situação apresentada. No lugar dos lixões a céu aberto devem ser criados os aterros sanitários, com preparo no solo para evitar a contaminação do lençol freático, coleta e tratamento do lixiviado e biogás, entre outros aspectos. Todavia, ressalta-se que, conforme a prioridade do gerenciamento dos resíduos sólidos definida pela própria lei nacional, ações como compostagem e reciclagem dos resíduos são prioritárias frente à disposição em aterro, que deveria ser aplicada apenas aos rejeitos (BRASIL, 2010).

Visando atingir tais metas, a Tabela 3.6 mostra as porcentagens elencadas pelo Planares ao longo do tempo e por região do Brasil para a redução do aporte de recicláveis secos aos aterros.

Tabela 3.6: Metas para redução dos resíduos recicláveis secos dispostos em aterros (%)
(Fonte: BRASIL, 2012)

Região	2015	2019	2023	2027	2031
Norte	10	13	15	17	20
Nordeste	12	16	19	22	25
Sul	43	50	53	58	60
Sudeste	30	37	42	45	50
Centro-Oeste	13	15	18	21	25
Brasil	22	28	34	40	45

Contudo, como visto anteriormente (Tabela 3.6), apesar da previsão proposta pela PNRS, o Brasil vem caminhando em direção contrária, aumentando anualmente o número de resíduos dispostos em aterros sanitários. Por isso, este trabalho prevê uma proposta de mudança nesse cenário, visando atender os objetivos previstos pela PNRS.

4. METODOLOGIA

4.1 CÁLCULO DO QUANTITATIVO DE CADA COMPONENTE DOS RESÍDUOS

O quantitativo em massa por amostra de resíduos sólidos gerado na cidade do Rio de Janeiro e sua composição gravimétrica foram obtidos em estudo recente, elaborado pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro – COMLURB, que é a responsável pela execução das atividades de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos urbanos no município (COMLURB, 2016).

Considerando que a COMLURB também gerencia alguns resíduos especiais de unidades públicas e pequenos geradores (Remoção gratuita, Resíduo de Construção Civil, Resíduos de Serviço de Saúde), que representam 0,23 kg/hab/dia, ou seja, compõem 16% do total de resíduos sólidos no Rio de Janeiro (COMLURB, 2015). Esses resíduos são incorporados aos resíduos domiciliar e público indevidamente, prejudicando assim o processo de reciclagem e compostagem, pois encarece o processo de tratamento, além de prejudicar a qualidade do produto final.

Portanto para este estudo consideraram-se apenas as rubricas definidas como “Domiciliar”, “Coleta Seletiva” e “Público”, que juntas respondem pela fração definida como resíduo sólido urbano. Tal estudo foi realizado de Janeiro a Novembro de 2016, sendo que épocas festivas e feriados, como Carnaval e Páscoa não foram considerados para evitar a influência desses períodos na quantidade e qualidade dos componentes da amostra.

A pesquisa foi realizada em 16 subáreas de Planejamento, mas com o objetivo de facilitar a comparação de dados, estas foram divididas nas cinco grandes Áreas de Planejamento (AP) do município. A Tabela 4.1 apresenta a divisão do território municipal das cinco APs. No entanto, devido a dificuldades operacionais, as Regiões Administrativas da Rocinha, Complexo do Alemão, Jacarezinho, Cidade de Deus e Maré não foram contempladas por COMLURB (2016). Essas possuem sistema de coleta, mas pelas complicações de acesso apresentadas durante o estudo, não foi possível estimar a composição gravimétrica dos seus resíduos.

Tabela 4.1: Divisão das Áreas de Planejamento para a cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Elaboração própria a partir de COMLURB, 2016)

Área de Planejamento	RA – Gerência COMLURB	Bairros
1	RA 01-SG01P	Saúde, Gamboa, Santo Cristo e Cajú
	RA 02-SG02C	Centro e Lapa
	RA 02-SG02P	Paqueta
	RA 03-SG03R	Catumbi, Rio Comprido, Cidade Nova e Estácio
	RA 07-SG07S	São Cristóvão, Mangueira, Benfica e Vasco da Gama
	RA 23-SG23S	Santa Tereza
2	RA 04-SG04B	Flamengo, Glória, Laranjeiras, Catete, Cosme Velho, Botafogo, Humaitá e Urca
	RA 05-SG05C	Copacabana e Leme
	RA 06-SG06L	Ipanema, Leblon, Lagoa, Jardim Botânico, Gávea, Vidigal e São Conrado
	RA 06-SG06R	Rocinha
	RA 08-SG08T	Praça da Bandeira, Tijuca e Alto da Boa Vista
	RA 09-SG09V	Maracanã, Vila Isabel, Grajaú e Andaraí
3	RA 10-NG10R	Manguinhos, Bonsucesso, Ramos e Olaria
	RA 10-SD30	Maré
	RA 13-NG13M	Jacaré, São Francisco Xavier, Rocha, Riachuelo, Sampaio, Engenho Novo, Lins de Vasconcelos, Méier, Todos os Santos e Cachambi
	RA 13-NG13P	Engenho de Dentro, Água Santa, Encantado, Piedade, Abolição e Pilares
	RA 28	Jacarezinho
	RA 14-NG14M	Vila Cosmos, Vicente de Carvalho, Vila da Penha, Vista Alegre, Irajá e Colégio
	RA 15-NG15M	Campinho, Quintino Bocaiuva, Cavalcanti, Engenho Leal, Cascadura, Madureira, Vaz Lobo, Turiaçu, Oswaldo Cruz e Bento Ribeiro
	RA 15-NG15H	Rocha Miranda, Honório Gurgel e Marechal Hermes
	RA 12-NG12N	Higienópolis, Maria da Graça, Del Castilho, Inhaúma, Engenho da Rainha e Thómas Coelho
	RA 29-NG29A	Complexo do Alemão
	RA 11-NG11P	Penha, Penha Circular e Brás de Pina
	RA 31-NG31V	Cordovil, Parada de Lucas, Vigário Geral e Jardim América
	RA 22-NG22A	Guadalupe, Anchieta, Parque Anchieta e Ricardo de Albuquerque
	RA 25-NG25F	Coelho Neto, Acari, Barros Filho, Costa Barros, Pavuna e Parque Colúmbia
RA 20-NG20G	Ribeira, Zumbi, Cacula, Pitangueiras, Praia da Bandeira, Cocotá, Bancários, Freguesia, Jardim Guanabara, Jardim Carioca, Tauá, Moneró, Portuguesa, Galeão e Cidade Universitária	
4	RA 16-BG16J	Jacarepaguá, Anil, Gardênia Azul, Curicica, Pechincha, Taquara, Tanque, Praça Seca e Vila Valqueire
	RA 16-BG16F	Freguesia
	RA 16-BG16C	Cidade de Deus
	RA 24-BG24B	Joá, Itanhangá, Barra da Tijuca, Camorim, Vargem Pequena, Vargem Grande e Grumari
	RA 24-BG24R	Recreio dos Bandeirantes
5	RA 17-OG17B	Padre Miguel, Bangu, Senador Camará e Gericinó
	RA 33-OG33R	Deodoro, Vila Militar, Campo dos Afonsos, Jardim Sulacap, Magalhães Bastos e Realengo
	RA 18-OG18G	Santíssimo, Campo Grande, Inhoaíba e Cosmos
	RA 18-OG18V	Senador Vasconcelos
	RA 19-OG19C	Paciência, Santa Cruz e Sepetiba
	RA 26-OG26P	Guaratiba, Barra de Guaratiba e Pedra de Guaratiba

Apesar de apontar a composição gravimétrica (dados qualitativos espacializados) de cada região administrativa da cidade, COMLURB (2016) apenas apresenta a massa total gerada por todo município, não havendo dados sobre a geração em cada área da cidade (dados quantitativos especializados). Visando suprir essa lacuna, o cálculo da média ponderada para a composição gravimétrica de cada AP considerou o percentual de cada componente do resíduo produzido na composição gravimétrica oriunda de cada região administrativa. Para se obter a média relativa a cada área de planejamento, considerou-se a ponderação pela porcentagem de habitantes existentes em cada região administrativa, em relação à população total das áreas de planejamento em que se localizam. A partir disso, foi necessário multiplicar essa composição gravimétrica média pela massa total de resíduos, obtida através do montante dos resíduos provenientes da coleta seletiva, público e domiciliar para o ano de 2015, cujo total foi de 246.666 t/mês (COMLURB, 2016). Esse valor foi dividido entre cada área de planejamento, sendo necessário para isso também utilizar a porcentagem de habitantes para cada uma dessas áreas em relação à população total da cidade. A Equação 1 expressa o cálculo realizado para obtenção da massa de cada tipo de resíduo:

$$M_{pi} \times M = P_i \quad (1)$$

Onde:

M_{pi} = porcentagem de cada componente i em cada área de planejamento (AP), obtida pela média da composição gravimétrica das regiões administrativas componentes de cada AP, ponderando-se pela porcentagem de habitantes em cada região

M = massa total dos resíduos existentes na área de planejamento

P_i = massa de cada tipo de resíduo i existente na área de planejamento

A comparação entre o montante gerado de cada tipologia de resíduos com os dados do SNIS (2017) sobre o quantitativo atual enviado a cada unidade de destinação (aterro sanitário, compostagem, reciclagem) permitiu a criação de um cenário proposto com a ampliação de cada uma das formas de destinação já existentes, de modo a permitir o adequado gerenciamento de todo montante gerado pela cidade do Rio de Janeiro.

Realizou-se então uma análise da quantidade atual de resíduos que é destinada ao aterro sanitário e comparou-se com o cenário proposto, que teve como objetivo a divisão desses resíduos em recicláveis secos, úmidos e rejeitos. Com isso, é possível reduzir o montante enviado aos aterros sanitários, visto que os resíduos secos seriam encaminhados para a

reciclagem e os úmidos para a compostagem, restando apenas os rejeitos para o aterro sanitário. Como definido pela PNRS, nenhum desses rejeitos pode ser disposto em lixões ou aterros inadequados. Sendo assim, a disposição de rejeitos nos cenários estudados considerou apenas o seu encaminhamento a aterro sanitário. Na Tabela 4.2, observa-se os tipos de resíduos para cada uma dessas categorias, assim como sua destinação e cenário correspondente.

Tabela 4.2: Tipos de Resíduos por categoria e suas respectivas destinações finais e cenários (Fonte: Elaboração própria com base na COMLURB, 2016)

Cenário	Categorias de Resíduo	Tipos de Resíduo por categoria	Destinação Final
Atual	Todo RSU coletado	Plásticos, Metais, Vidros, Papéis, Matéria Orgânica, Inertes e Outros	Aterro Sanitário
Proposto	Recicláveis Secos	Plásticos, Metais, Vidros e Papéis	Reciclagem
	Recicláveis Úmidos	Matéria Orgânica	Compostagem
	Rejeitos	Inertes (pedra, louça e cerâmica) e Outros (folhas, flores, madeira, borracha, pano, couro, osso, coco, vela e eletrônicos)	Aterro Sanitário

Cabe ressaltar que para as análises realizadas, para efeito de simplificação, considerou-se que o cenário proposto é dotado de perfeita segregação na fonte, permitindo a separação da totalidade dos resíduos gerados em cada uma das categorias levantadas na composição gravimétrica.

Através da Tabela 4.2, é possível constatar que alguns resíduos que são classificados como “Rejeitos” poderiam ser reciclados, como o coco e eletrônicos. No entanto, esses tratamentos não são convencionais devido à dificuldade de importação de tecnologia para o seu tratamento, financiamento para pesquisas e complexidade no seu desmonte e separação (SILVA, 2014; VARELA & MEDEIROS, sem data; respectivamente). Com isso, não seria possível estimar os custos de tratamento desses para o presente estudo.

Vale ressaltar que os resíduos denominados como “Inertes” não são classificados como resíduos de construção civil, pois são representados apenas por utensílios quebrados, móveis descartados e pedras utilizadas em praças e jardins (COMLURB, 2016).

4.2 VIDA ÚTIL DO ATERRO

Para viabilizar a análise da vida útil de um aterro, tomou-se como base a Central de Tratamento de Resíduos (CTR) de Seropédica, que atualmente atende o Rio de Janeiro, além dos municípios de Seropédica e Itaguaí. Na caracterização da CTR, foram considerados tanto os parâmetros divulgados pela empresa que opera o aterro sanitário (CICLUS, 2011), quanto outros obtidos na literatura para instalações de características semelhantes. Sendo assim, a altura foi calculada a partir da estimativa da altura do CTR de Seropédica, como demonstrado na Tabela 4.3 que apresenta os parâmetros considerados para o cálculo.

Tabela 4.3: Parâmetros utilizados para cálculo de vida útil no aterro sanitário

(Fonte: Elaboração própria)

Parâmetro	Valor	Unidade	Referência
Vida Útil teórico (T_o)	18	anos	CICLUS, 2011
Resíduo coletado real (Q)	2.976.733	t/ano	COMLURB, 2016; SNIS 2017
Resíduo coletado teórico (Q_o)	3.285.000	t/ano	CICLUS, 2011
Área	2.121.000	m ²	CICLUS, 2011
Peso específico (δ)	0,6	t/m ³	TCHOBANGLIOUS, 1993
Altura	46	m	Estimado através do resíduo coletado teórico

Pode-se observar pela tabela que o volume anual de resíduos (Q) informado no estudo da COMLURB (2016) é inferior ao declarado na Ficha Técnica da CTR (Q_o) (CICLUS, 2011). Tal fato ocorre provavelmente porque neste não são considerados alguns tipos de resíduos, como os de remoção gratuita, além de não considerar também algumas Regiões Administrativas (Rocinha, Complexo do Alemão, Jacarezinho, Cidade de Deus e Maré). Tal conclusão também está atrelada ao fato de não ser considerada a manutenção da geração anual, ou seja, a sua perspectiva de crescimento anual.

Como ocorre essa diferença entre o resíduo coletado teórico e o real, foi calculada a nova vida útil do aterro, considerando-se a manutenção do aporte atual de resíduos oriundos do Rio de Janeiro (COMLURB, 2016), quanto os advindos de Itaguaí e Seropédica (SNIS, 2017), que totalizam 2.976.733 t/ano.

O cálculo da vida útil foi realizado com base na equação 2:

$$T = \frac{1}{Q} * V * \gamma \quad (2)$$

Onde:

T (dia) = tempo de vida do aterro;

Q (t/dia) = quantidade de RSU destinada ao aterro;

V (m³) = volume útil para a disposição de RSU;

γ (t/m³) = peso específico do resíduo.

Para a análise do cenário proposto, além da diminuição mássica encaminhada ao aterro sanitário devido às outras opções de destinação final, a alteração da composição gravimétrica do rejeito a ser disposto influenciaria também no peso específico da massa compactada. Contudo, como uma análise desse tipo tornar-se-ia muito complexa, para fins de simplificação, considerou-se a manutenção do peso específico da massa aterrada do cenário atual também no cenário proposto. Sendo assim, o prolongamento da vida útil do aterro no cenário proposto foi calculado, empregando-se a Equação 2 e alterando-se apenas a quantidade destinada ao aterro.

4.3 EMISSÃO DE GASES

Para essa análise, utilizou-se a metodologia desenvolvida pela UNFCC (Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas, traduzido em português) (UNFCC, 2017). A partir desse estudo, foi possível estimar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) para emissões oriundas dos resíduos da cidade do Rio de Janeiro quando esses são encaminhados para aterros e compará-las para o caso em que parte desses resíduos segue para a compostagem.

As emissões em aterros podem ser determinadas pelas emissões de projeto de metano gerado no aterro, como demonstrado na Equação 3 (UNFCC, 2017):

$$EP_{CH_4,ADR,y} = \varphi_y \times (1 - f_y) \times GWP_{CH_4} \times (1 - OX) \times \frac{16}{12} \times F \times COD_{f,y} \times FCM_y \\ \times \sum_{x=1}^y \sum_j (W_{j,x} \times COD_j \times e^{-k_j \times (y-x)} \times (1 - e^{-k_j}))$$

(3)

Onde:

$EP_{CH_4,ADR,y}$ = Emissões de projeto de metano gerado no aterro de disposição de resíduos no período de tempo que se encerra no ano y (tCO₂eq/ano)

X= Anos no período de tempo em que o resíduo é disposto no aterro do primeiro ano(x=1) até o ano y (x=y)

Y= Anos no período em que as emissões de metano estão sendo calculadas (períodos consecutivos de 12 meses)

$COD_{f,y}$ = Fração de carbono orgânico degradável decomposto sob condições específicas no aterro no ano y

$W_{j,x}$ = Quantidade de resíduo sólido do tipo j que é disposto no aterro no ano x(t)

Φ_y = Fator de correção de incertezas do modelo para ano y

F_y = Fração de metano capturado e queimado no aterro ou usado de outra maneira que impeça emissões para a atmosfera no ano y

GWP_{CH_4} = Potencial de Aquecimento Global do Metano

OX= Fator de oxidação (reflete a quantidade de metano do aterro oxidado no solo que cobre os resíduos)

F= Fração de metano no gás gerado no aterro (fração volumétrica)

FCM_y = Fator de correção do metano no ano y

COD_j = Fração de carbono orgânico degradável no resíduo do tipo j (fração do peso)

K_j = Taxa de decaimento de resíduo do tipo j (1/ano)

J= tipo de resíduo

Para as emissões provenientes da compostagem, empregou-se a Equação 4 (UNFCCC, 2016):

$$EP_{COMP,y} = EP_{CE,y} + EP_{CC,y} + EP_{CH_4,y} + EP_{N_2O,y} + EP_{RO,y} \quad (4)$$

Onde:

$EP_{COMP,y}$ = Emissões de projeto associadas à compostagem no ano y (t CO₂e/y)

$EP_{CE,y}$ = Emissões de projetos associadas ao consumo de eletricidade no ano y (t CO₂/y)

$EP_{CC,y}$ = Emissões de projeto associadas ao consumo de combustível no ano y (t CO₂/y)

$EP_{CH_4,y}$ = Emissões de projeto de metano proveniente do processo de compostagem no ano y (t CO₂e/y)

$EP_{N_2O,y}$ = Emissões de projeto de óxido nítrico proveniente do processo de compostagem no ano y (t CO₂e/y)

$EP_{RO,y}$ = Emissões de projeto de metano relacionadas ao runoff de águas residuárias decorrentes da co-compostagem no ano y (t CO₂e/ano)

Como esse estudo não abordará o transporte dos resíduos, devido à complexidade dessa análise sendo necessário deixar tal etapa para um estudo posterior, não será considerado o consumo de eletricidade e nem de combustível para o trajeto desses resíduos. Além disso, a compostagem irá priorizar o uso de alimentos oriundos dos domicílios. Sendo assim, a equação ao desconsiderar tais variáveis será resumida em (Equação 5):

$$EP_{COMP,y} = EP_{CH_4,y} + EP_{N_2O,y} \quad (5)$$

E os valores de $EP_{CH_4,y}$ e $EP_{N_2O,y}$ podem ser encontrados através das Equações 6 e 7:

$$EP_{CH_4,y} = Q_y \times FE_{CH_4,y} \times GWP_{CH_4}$$

$$EP_{N_2O,y} = Q_y \times FE_{N_2O,y} \times GWP_{N_2O} \quad (6 \text{ e } 7)$$

Onde:

Q_y = Quantidade de resíduo compostado no ano y (t/ano)

$FE_{CH_4,y}$ = Fator de emissão de metano por tonelada de resíduo compostado válido pelo ano y (t CH₄/t)

$FE_{N_2O,y}$ = Fator de emissão de óxido nitroso por tonelada de resíduo compostado válido pelo ano y (t N₂O/t)

GWP_{CH_4} = Potencial de Aquecimento Global do metano (t CO₂ eq/t CH₄)

GWP_{N_2O} = Potencial de Aquecimento Global do óxido nitroso (t CO₂ eq/t N₂O)

Nesse estudo, utilizou-se um horizonte temporal baseado na vida útil do aterro sanitário e assim será possível apresentar o cenário onde existirá a maior quantidade de emissões pois é quando a atividade desse local é mais intensa. Vale ressaltar que os valores dos parâmetros, apresentados pela Tabela 4.4, levam em consideração características climáticas específicas do nosso país e o tipo de resíduo que está sendo estudado no projeto. Sendo que no caso do aterro sanitário, o tipo de resíduo será a união tanto dos resíduos secos como dos úmidos, uma vez que eles são misturados nesses locais e para as unidades de compostagem, será considerado apenas o resíduo úmido.

No entanto, não será apresentado esse cálculo para os recicláveis, pois cada um desses componentes possui um método de reciclagem diferente, tornando essa estimativa muito complexa para o estudo inicial proposto por esse trabalho.

Tabela 4.4: Parâmetros utilizados para cálculo de emissões de gases no aterro sanitário
(Fonte: Elaboração própria)

Parâmetro	Valor	Referência
φ	1	UNFCC, 2017
F_y	0	UNFCC, 2017
OX	0,1	UNFCC, 2017
F	0,5	UNFCC, 2017
$COD_{f,y}$	0,5	UNFCC, 2017
FCM_y	1	UNFCC, 2017
COD_j	0,15	UNFCC, 2017
k_j	0,4	UNFCC, 2017
y	1	UNFCC, 2017
x	1	UNFCC, 2017
$FE_{CH_4,y}$	0,002	UNFCC, 2016
$FE_{N_2O,y}$	0,0002	UNFCC, 2016
GWP_{CH_4}	28	IPCC, 2014
GWP_{N_2O}	265	IPCC, 2014

4.4 REDUÇÃO DO APORTE DE UMIDADE AO ATERRO E SUA RELAÇÃO COM A GERAÇÃO DE LIXIVIADO

A geração de lixiviado (também conhecido como chorume ou percolado) é uma grande preocupação ambiental em aterros sanitários. Trata-se de uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, nas suas formas dissolvidas e coloidais, gerada durante a decomposição química dos resíduos. A produção de lixiviado é agravada pelo aporte de resíduos com elevado teor de umidade e pela disposição em locais de elevado excedente hídrico, sendo um potencial contaminador das águas superficiais e, principalmente, subterrâneas (UFSM,2012). Devido ao risco ambiental que o lixiviado apresenta, é necessário reduzir o volume de resíduos enviados para o aterro, para que assim seja possível diminuir a produção de chorume.

Essa geração acontece quando o teor de umidade dos resíduos excede sua capacidade de campo, definida como a máxima umidade retida em um meio poroso sem produzir percolação (EL-FADEL et al, 2002). O processo de geração do lixiviado pode ser influenciado por fatores climáticos (precipitação pluviométrica, evapotranspiração e temperatura), hidrogeológicos (escoamento superficial, infiltração, topografia, geologia e recirculação do lixiviado), pelas características da camada de cobertura (umidade, vegetação, declividade), características dos resíduos (composição gravimétrica, compactação, permeabilidade, granulometria, peso específico, etc.) e pelo método de impermeabilização do local.

No entanto, a fim de simplificar este estudo, foi considerado para realizar a estimativa de redução da geração de lixiviado entre os cenários avaliados apenas a diferença entre a massa de água aportada ao aterro junto com os resíduos ali dispostos. Para o cálculo, considerou-se a massa enviada ao aterro em cada cenário, bem como o teor de umidade de cada tipologia de resíduos componentes da massa a ser aterrada.

No estudo da COMLURB (2016) é possível encontrar a média ponderada do teor de umidade avaliada para os resíduos urbanos que são encaminhados para o aterro, no entanto este não apresenta o teor de umidade para cada tipologia de resíduo. Com isso, não seria possível utilizar esse trabalho para comparar os dois cenários e dessa forma, utilizou-se então o teor de umidade apresentado por TCHOBANGLIOUS (1993). A partir desse, é possível utilizar a Equação 8 para encontrar a geração mensal de lixiviado, sabendo a massa de resíduos sólidos em cada tipologia, que será encontrado no capítulo 4.1, e considerando que esse lixiviado gerado possui a densidade semelhante à da água, que é de 1.000 kg/m³.

$$L = M \times T \text{ (8)}$$

Onde:

L = geração mensal de lixiviado no aterro sanitário

M = massa total dos resíduos existentes em cada tipologia de resíduo

T = teor de umidade por tipologia de resíduo

4.5 ANÁLISE ECONÔMICA

Essa análise econômica tem como objetivo comparar os custos da destinação de resíduos para um aterro sanitário versus a destinação desses em unidades de reciclagem e compostagem, deixando assim apenas uma pequena porcentagem para os aterros.

Para realizar essa estimativa de custos, empregou-se o estudo da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2015a), que utilizou cada microrregião do Brasil para estimar a quantidade demandada por aterro sanitário, descontando a quantidade que em 2013 já era enviada para aterros. Com isso, estimou-se um custo de R\$ 36 t/dia para a operação e R\$ 5 t/dia para investimento, caso esse seja um aterro sanitário de médio porte, ou seja, que recebe até 800 t/dia, e de R\$ 32,00 t/dia para a operação e R\$ 4,00 t/dia para investimento em um aterro de grande porte, ou seja, que recebe até 2.000 t/dia.

Além de analisar os custos referentes à operação de um aterro sanitário, é necessário comparar estes com os custos referentes às outras destinações finais propostas. O BNDES (2014) estimou os custos de operação e instalação de usinas de compostagem para municípios de diferentes faixas populacionais. Para o Rio de Janeiro, cuja população é estimada em 6.476.631 habitantes (IBGE, 2018), adotou-se o valor de R\$ 45,00/t para a operação e R\$ 3,08/t de investimento.

Por outro lado, tem-se como produto da compostagem o composto orgânico, com valor agrônomico e que pode ser comercializado, gerando receita. O valor do composto orgânico oscila entre R\$100,00 e R\$150,00 a tonelada (CEMPRE, 2017). Dessa forma, para o presente estudo, utilizou-se o valor de R\$130 para a comercialização do composto produzido, cuja produtividade foi avaliada em cerca de 50% do montante compostado (CHEFETZ, 1998).

Por fim, comparou-se também o ganho econômico advindo da comercialização dos recicláveis, em vez de sua destinação para o aterro sanitário. Como a reciclagem dos materiais é feita por indústrias recicladoras e a etapa de transporte e coleta seletiva não fez parte do escopo

deste estudo, considerou-se apenas a de comercialização dos resíduos recicláveis secos. Devido às múltiplas tipologias de resíduos, cada uma com preços distintos, separaram-se todas de acordo com a definição da COMLURB (2016), como ilustra a Tabela 4.5, com exceção das classes do metal e vidro, pois não foi possível encontrar o preço de mercado das suas subcategorias. Portanto, para esses, o valor de comercialização do montante gerado foi definido pela sua respectiva classe.

Tabela 4.5: Componentes de cada classe analisada e preço por tonelada adotado
(Elaboração própria com base no estudo da COMLURB, 2016).

Classe	Tipologia Resíduos	Valor de venda adotado (R\$/t)	Referência
Papel	Papel	550	CEMPRE, 2017
	Papelão	300	CEMPRE, 2017
	Tetra Pack	160	CEMPRE, 2017
Plástico	Plástico Duro	1.000	CEMPRE, 2017
	Plástico Filme	1.000	CEMPRE, 2017
	PET	2.000	CEMPRE, 2017
Vidro	Vidro	250	GOVERNO ESTADO DE MINAS, 2012
Metal	Metal	90	GOVERNO ESTADO DE MINAS, 2012

Para o cálculo do custo, tanto do aterro sanitário como das unidades de compostagem, utilizou-se o “Capital Expenditure” (CAPEX), que indica a quantidade de dinheiro gasto na compra de bens de capital ou na introdução de melhorias. Esse parâmetro foi escolhido devido à sua relação com o custo de investimento que melhora a capacidade da empresa em ganhar dinheiro. Também utilizou-se como parâmetro o “Operational Expenditure” (OPEX), que se refere ao custo associado à manutenção dos equipamentos, despesas operacionais e gastos consumíveis. Esses são essenciais para o funcionamento do produto/serviço do negócio (VERBRUGGE, 2006).

Como os dados fornecidos para o cálculo do custo do aterro sanitário e compostagem e também da receita da reciclagem e compostagem estão em horizontes de tempo diferentes, foi necessário o uso da Calculadora de Valor por Índice, disponível no sítio eletrônico “Calculador” (CALCULADOR, 2018). Nesse, foi selecionado o Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC), para o cálculo das despesas operacionais de cada estabelecimento (OPEX), que é a média do custo de vida nas 11 principais regiões metropolitanas do país (São Paulo, Rio de

Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Porto Alegre, Recife, Brasília, Fortaleza e Belém) para famílias com renda de 1 até 8 salários mínimos, medido pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Compõe-se do cruzamento de dois parâmetros: a pesquisa de preços de nove regiões de produção econômica, cruzada com a pesquisa de orçamento familiar, (POF) que abrange famílias com renda de um a seis salários mínimos.

No caso dos gastos referentes ao investimento e aquisição desses estabelecimentos (CAPEX), foi selecionado o Índice Nacional de Custos de Construção (INCC), no sítio eletrônico “Calculador” (CALCULADOR, 2018). Esse é um dos componentes das três versões do Índice Geral de Preço (IGP), o de menor preço, que reflete o ritmo dos preços de materiais de construção e da mão de obra no setor. Utilizado em financiamento direto de construtoras/incorporadoras.

Todos os valores obtidos foram corrigidos para Janeiro de 2018. Para cálculo dos custos totais de capital e de operação das alternativas de destinação, foi utilizado o horizonte temporal de 20 anos, correspondente à vida útil do aterro sanitário de Seropédica (CICLUS, 2011). Para efeito de simplificação, a geração de resíduos sólidos e sua composição gravimétrica foi considerada inalterada ao longo do horizonte temporal analisado e foi considerado o valor presente líquido, utilizando-se taxa de desconto de 6,75% aa, equivalente ao valor atual da Taxa Selic (BCB, 2018).

5. RESULTADOS

5.1 CÁLCULO DO QUANTITATIVO EM MASSA DE CADA COMPONENTE DE RESÍDUO

Para realizar esse cálculo, foi utilizada a Tabela 5.1, que informa a quantidade de resíduo coletado para os as três tipologias de coleta da categoria Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), abordadas neste estudo: domiciliar, seletiva e pública.

Tabela 5.1: Coleta de resíduos na cidade do Rio de Janeiro (t/ano) (Fonte: COMLURB, 2016)

Coleta de Resíduos no Rio de Janeiro		
2015		
População	6.476.631	
Coleta de Resíduo	t/ano	%
Domiciliar	1.880.071	53,2%
Coleta Seletiva	19.808	0,6
Público	1.060.109	30,0
TOTAL	2.959.988	83,8

Percebe-se que, juntas, essas três categorias totalizam 2.959.988 t/ano, o que equivale a 83% de todo resíduo coletado pelo serviço público de Limpeza Urbana e Manejo dos resíduos sólidos da Cidade do Rio de Janeiro. Contudo, percebe-se que embora a composição gravimétrica típica de RSU contenha em média 93% de recicláveis, ou seja, resíduos úmidos e secos (BRASIL, 2012), a coleta seletiva ainda corresponde a apenas 0,6% do montante de resíduos coletados no Rio de Janeiro. Tal fato corrobora a falta e necessidade da gestão integrada de resíduos sólidos na cidade, em que os resíduos sejam encarados, entre outros, como fonte de emprego e renda e não apenas como rejeitos (BRASIL, 2010).

Além da visão geral da cidade, neste estudo também realizou-se uma análise espacial da cidade, tendo como referência as suas cinco áreas de planejamento (Figura 5.1), de modo a avaliar quanto cada área produz de resíduo e identificar possíveis heterogeneidades espaciais na geração da cidade.

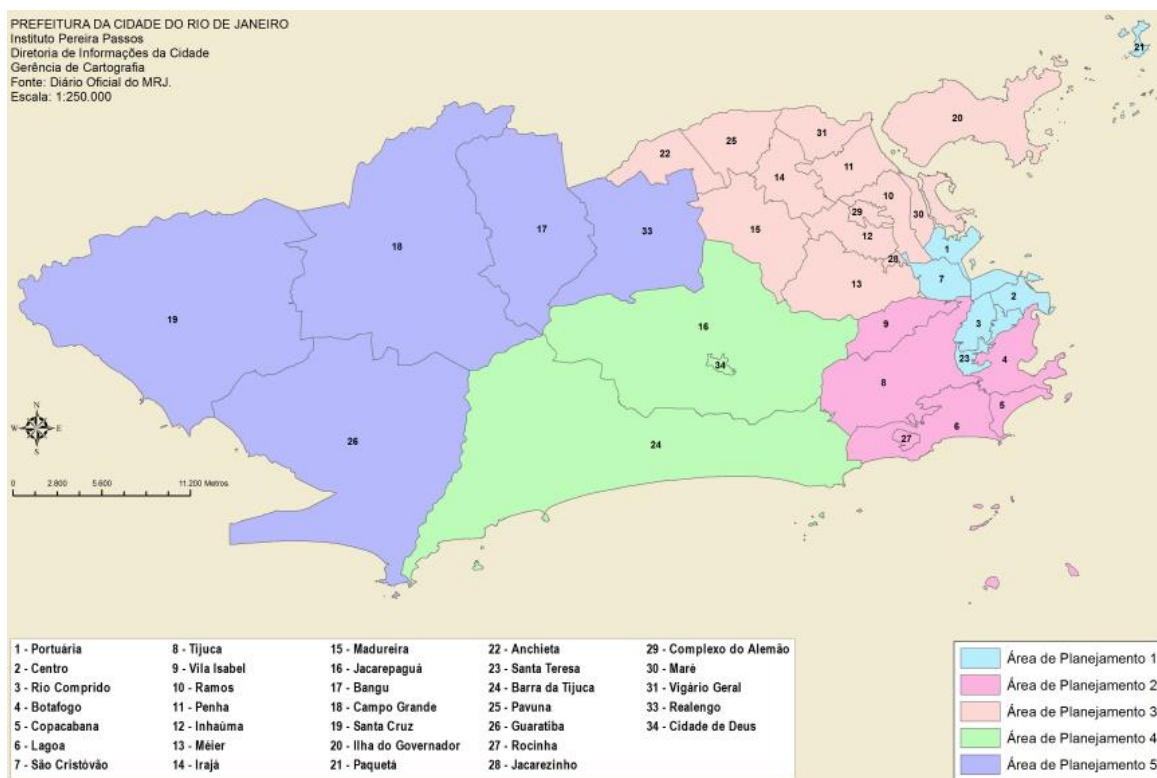


Figura 5.1: Áreas de Planejamento do Rio de Janeiro (Diário Oficial do MRJ, 2014)

Sendo assim, foi realizada uma média ponderada, considerando a composição gravimétrica e habitantes de cada uma das regiões administrativas que formam as cinco Áreas de Planejamento, com base nos dados disponibilizados por COMLURB (2016), de modo a se obter a composição gravimétrica por área de planejamento, como é demonstrado na Tabela 5.2. Essa divisão por áreas se torna necessária, visto que os dados que serão utilizados para o cálculo final da massa por tipologia de resíduo, estão divididos por áreas de planejamento.

No entanto, a porcentagem de habitantes do bairro em relação ao Rio de Janeiro apresentada nesse estudo pode não refletir a realidade, uma vez que não é possível estimar o número concreto de pessoas em algumas regiões. Por exemplo, a área de planejamento 1, por ser predominantemente comercial, pode apresentar uma porcentagem de habitantes subestimada, já que o número de habitantes não reflete todo o fluxo de pessoas que trabalham e transitam na região, sobretudo no horário comercial.

Tabela 5.2: Composição Gravimétrica média por Área de Planejamento da cidade do Rio de Janeiro, ponderada pelo percentual de habitantes
(Elaboração Própria com base em COMLURB, 2016)

Área de Planejamento	RA	% de habitantes do bairro em relação ao RJ	Composição Gravimétrica											
			Recicláveis Secos								Úmidos		Rejeitos	
			Papel	Papelão	Tetra Pack	Plástico Duro	Plástico Filme	PET	Vidro	Metal	Mat. Orgânica	Inertes	Outros	
1	RA01	0,77	8,45	2,44	1,55	3,28	13,13	2,59	3,67	1,76	56,97	0,53	5,63	
	RA02	0,65	9,87	3,03	1,39	3,71	12,33	2,65	4,02	1,77	57,3	0,44	3,47	
	RA03	1,24	8,89	2,98	1,32	4,5	12,71	2,27	5,84	2,43	53,21	1,13	4,73	
	RA07	1,298	11,99	2,97	1,3	3,55	14,11	1,77	2,04	1,75	52,26	2,05	6,21	
	RA23	0,646	10,91	3,38	1,62	3,66	15,34	2,25	4,51	1,61	52,33	0,51	3,88	
	Mp (%)		10,11	2,95	1,40	3,80	13,49	2,23	3,96	1,92	54,02	1,10	5,00	
2	RA04	3,799	11,62	0,27	1,46	3,87	13,55	2,29	6,44	1,81	50,45	1,53	3,71	
	RA05	2,559	12,06	3,16	1,31	3,31	10,97	1,8	4,15	2,32	55,56	1,33	4,03	
	RA06	3,764	13	1,31	1,08	3,69	12,49	2,09	3,73	1,36	51,3	2,18	6,25	
	RA08	2,877	11,14	3,34	1,24	3,69	17,11	1,67	4,96	1,78	48,37	1,6	5,11	
	RA09	3,004	8,84	3,06	1,43	3,24	13,37	1,32	3,34	1,65	55,37	1,02	7,36	
	Mp (%)		11,41	2,05	1,30	3,59	13,49	1,87	4,59	1,75	52,02	1,57	5,30	
3	RA10	4,493	2,67	2,98	1,49	4,09	14,94	2,2	3,11	1,8	53,19	0,92	5,65	
	RA13	6,8	10,87	3,02	1,59	3,53	14,45	1,71	3,8	1,4	55,01	0,59	4,04	
	RA14	3,226	12,18	3,49	1,4	3,74	15,47	2,42	2,89	1,6	50,05	1,9	4,77	
	RA15 (Madureira)	4,1	8,03	2,63	1,52	4,03	13,7	2,43	3,06	1,82	54,24	1,83	6,69	
	RA15 (M. Hermes)	1,816	9,13	2,55	1,59	4,54	17,27	1,76	2,39	1,3	54,08	0,47	4,91	
	RA12	2,136	11,68	3,79	1,43	3,59	15,55	1,76	2,44	1,4	52,2	1,2	4,95	
	RA11	2,938	2,98	4,34	1,77	4,32	16,07	1,9	3,01	1,67	51,78	1,33	4,77	
	RA31	2,164	10,58	4,27	1,4	5,09	14,79	2,69	5,65	1,92	47,71	0,11	5,8	
	RA22	2,517	10,32	2,86	1,56	4,07	13,92	1,95	2,98	1,84	53,8	1,43	5,27	
	RA25	3,32	8,49	3,08	1,53	3,65	15,09	1,78	2,94	1,85	52,92	1,62	7,05	
RA20	3,367	11,06	2,73	1,55	3,73	13,89	2,13	3,03	1,45	54,88	1,01	4,53		
	Mp (%)		8,75	3,18	1,54	3,95	14,84	2,05	3,25	1,64	53,09	1,13	5,25	
4	RA16	9,063	10,07	3,55	1,49	4,09	15,44	2,12	3,22	1,82	52,58	0,48	5,13	
	RA24	4,781	11,52	2,96	1,5	4,36	13,09	2,41	6,62	1,51	46,95	2,36	6,72	
	Mp (%)		10,57	3,35	1,49	4,18	14,63	2,22	4,39	1,71	50,64	1,13	5,68	
5	RA17	6,566	8,83	2,12	1,35	3,27	15,79	1,5	1,91	1,45	56,43	0,84	6,5	
	RA33	3,859	10,41	2,91	1,57	3,92	12,79	2	1,75	1,47	56,26	0,73	6,21	
	RA18	8,612	9,41	3,39	1,49	3,65	11,9	2,16	2,24	1,62	58,21	1,98	4,94	
	RA19	5,845	8,32	3,28	1,26	4,32	15,51	1,78	2,84	1,57	53,77	1	6,35	
	RA26	1,953	10,86	3,85	1,42	3,38	15,82	1,53	4,98	1,42	48,07	2,52	6,15	
	Mp (%)		9,28	3,02	1,41	3,72	14,05	1,85	2,42	1,53	55,79	1,35	5,90	

Percebe-se que não há diferenças substanciais entre a composição gravimétrica dos resíduos na comparação das cinco APs do Rio de Janeiro. A AP 5 apresenta os maiores valores de matéria orgânica (56%), ao passo que os menores valores ocorrem nas AP 2 e 4 (52 e 51%, respectivamente). No que tange aos recicláveis secos, a tendência inverte-se, com a AP5 apresentando os menores valores de recicláveis secos (~38%), ao passo que as AP2 e 4 os maiores (43%).

Segundo HAMADA (2003), a quantidade de matéria orgânica é importante, pois reflete o maior ou menor poder aquisitivo da população. Como atualmente a renda mensal por domicílio no Rio de Janeiro está em torno de R\$ 1.445,00, pode-se perceber que esse município é constituído majoritariamente por famílias de baixa renda (IBGE, 2017). Dessa forma ao observar a Tabela 5.2, é notório que todas as áreas de planejamento possuem a composição gravimétrica da matéria orgânica acima de 50%, confirmando assim este estudo.

Caso esse resíduo seja destinado para aterros sanitários, haverá uma produção muito elevada de lixiviado, devido ao alto teor de umidade da matéria orgânica, gerando assim um custo mais alto na manutenção desse aterro, sendo a compostagem a melhor solução nesse caso.

O segundo resíduo mais significativo no Rio de Janeiro é o plástico, que compõe mais de 18% desses materiais em cada área de planejamento. Esse número elevado pode ser relacionado ao consumo de embalagens de produtos comercializados, principalmente pela indústria alimentícia, demonstrando assim um aumento significativo no consumo de alimentos semiprontos (PIMENTEIRA, 2002). Por atender à indústria de bens de consumo não duráveis, a indústria de embalagens sofre menos oscilações que as demais, o que acaba gerando uma determinada estabilidade, porém depende muito do consumo para que haja um crescimento relevante (ABRE & FGV, 2017).

Dentre os plásticos presentes na Tabela 5.2, existe uma predominância no plástico filme, que na maioria das vezes é utilizado para o acondicionamento de alimentos. No entanto, esse número pode não refletir a realidade, uma vez que a maior parte do PET oferecido para a reciclagem provém de catadores e com isso acaba não sendo contabilizado na composição gravimétrica dos resíduos coletados (FORMIGONI & CAMPOS, 2006). Tal fato ocorre porque, depois do alumínio, o PET é o material que melhor remunera o catador, além de 100% reciclável, cuja composição química não produz nenhum tóxico, sendo formada apenas de carbono, hidrogênio e oxigênio (CEMPRE, 2017).

Assim como o plástico, o papel também possui um elevado número no montante de resíduos descartados, representando mais de 13%, com pequenas variações em cada área de

planejamento. Pode-se observar que o montante de papelão e tetra pack pode estar relacionado majoritariamente a embalagem de produtos, tanto para transporte quanto em produtos alimentícios, enquanto que o volume maior composto pelo papel é consequência da demanda em escritórios e colégios. Sendo esse material destinado à unidades de reciclagem, é possível obter ganhos econômicos e ambientais, como a redução em 86% na compra de embalagens novas de papelão e a diminuição em 87% na pegada de carbono gerada pela operação (NUNES & DIAS & SELLITTO, 2014).

Outro dado que não reflete a realidade é a ausência do alumínio na Tabela 5.2. Tal fenômeno pode ser explicado pela possibilidade que famílias brasileiras de baixa renda veem no mercado de reciclagem do alumínio uma possibilidade de obter maior renda para suas famílias, uma vez que esse insumo possui alto valor comercial, em torno de R\$ 2.700,00 por tonelada (CEMPRE, 2017), se comparado aos demais insumos apresentados na Tabela 5.2. Sendo assim, o alumínio não é contabilizado na composição dos resíduos do Rio de Janeiro, porque ele é encaminhado, pelos catadores, diretamente para as unidades de reciclagem, não sendo contabilizado pelas estatísticas advindas do sistema público de manejo dos resíduos sólidos (CARVALHO, 2012).

Por fim, pode-se notar também um número expressivo de vidros, que pode ser relacionado provavelmente com elevado consumo de produtos em conserva, além do próprio descarte diário de objetos fragmentados, tais como copos. Além disso, é possível notar pela tabela a significância do componente “Outros”, que é representado pelo descarte de 23 t/mês de cocos, devido ao elevado número de praias no Rio de Janeiro, e também de 20 t/mês de eletro/eletrônicos, visto que o ciclo de vida desses materiais diminuiu nas últimas duas décadas, aumentando a sua descartabilidade (JUNIOR, 2009).

A partir desses resultados, foi calculada a geração de resíduos por tipologia para cada área de planejamento, como demonstrado na Tabela 5.3, pois COMLURB (2016) menciona apenas a geração total da cidade.

Tabela 5.3: Geração por Tipologia de Resíduo e sua respectiva Área de Planejamento (t/mês) (Elaboração Própria com base em COMLURB, 2016)

Área de Planejamento	Total de Resíduos Gerados (t/mês)	% gerada em relação ao total municipal	Geração por Tipologia											TOTAL (t/mês)
			Recicláveis								Úmidos	Rejeitos		
			Papel	Papelão	Tetra Pack	Plástico Duro	Plástico Filme	PET	Vidro	Metal	Mat. Orgânica	Inertes	Outros	
1	246.666	11.356	1.148	335	160	431	1.532	254	450	218	6.135	125	568	11.356
2		39.474	4.503	810	514	1.416	5.327	739	1.811	691	20.533	619	2.090	39.052
3		90.963	7.960	2.893	1.397	3.589	13.497	1.866	2.954	1.487	48.294	1.029	4.777	89.744
4		34.148	3.610	1.143	510	1.429	4.995	758	1.501	585	17.291	386	1.939	34.146
5		66.193	6.143	1.999	935	2.464	9.301	1.223	1.601	1.014	36.928	892	3.905	66.403
TOTAL (t/mês)			23.364	7.180	3.515	9.329	34.652	4.838	8.317	3.995	129.182	3.051	13.279	240.702

*Ponderada pela população residente em cada AP

**Diferença atrelada possivelmente à parcela da população não avaliada em COMLURB (2016), como discutido na metodologia

A composição gravimétrica, aliada à expressiva população, fazem com que os maiores valores absolutos de todas as categorias sejam gerados nas APs 3 e 5, que somadas, respondem em geral por mais de 60% dos resíduos gerados em cada categoria. No caso da geração de matéria orgânica, juntas, essas áreas de planejamento respondem por quase 66% do total gerado nessa categoria. Apesar de não fazer parte do escopo deste estudo, seria importante considerar esse perfil de geração na análise locacional de plantas de compostagem e de triagem e beneficiamento de resíduos na cidade. Contudo, para tal análise outros fatores devem ser também avaliados, tais como a disponibilidade de espaço, facilidade de escoamento do composto produzido e dos recicláveis beneficiados, zoneamento urbano, entre outros.

A fim minimizar os impactos gerados no meio ambiente e para atender a PNRS, o presente trabalho propõe a destinação dos resíduos sólidos secos do Rio de Janeiro para a reciclagem e os úmidos para a compostagem. Ambas as atividades geram benefícios associados ao processo produtivo, economia de matérias primas, energia e recursos naturais e a redução de emissões de gases de efeito estufa responsáveis pelo aquecimento global (ADEDIPE et al, 2005). Sendo que a coleta seletiva ainda promove a inclusão dos catadores, que hoje atuam na sua maioria sem nenhum vínculo trabalhista, além de ser uma profissão muito desvalorizada.

Primeiramente, deve-se observar que o número total de resíduos gerados mensalmente é superior ao número total referente as cinco áreas de planejamento, porque nessas áreas não são considerados as Regiões Administrativas da Rocinha, Complexo do Alemão, Jacarezinho, Cidade de Deus e Maré, devido às suas dificuldades operacionais.

Sendo assim, é possível perceber que o número de rejeitos encaminhados para o aterro sanitário atualmente seria reduzido drasticamente em 93% quando o novo cenário é proposto, gerando assim menos impactos para a região que abriga esse aterro, como a redução de vetores na região assim como o desgaste do solo (apenas o somatório das categorias “inerte” e “outros” seria encaminhada ao aterro sanitário). Tais resultados são possíveis, uma vez que existem países Europeus que já atingem esses números, como Luxemburgo que destina apenas 6% dos seus resíduos a aterros sanitários e a Bélgica que destina apenas 3% (SINIR, 2018). Com o Rio de Janeiro destinando 6,7% dos seus resíduos a aterros sanitários, a cidade aproximar-se-á cada vez mais de países Europeus desenvolvidos, no que tange ao gerenciamento dos resíduos sólidos.

Além disso, com essa mudança também haverá um aumento do número de composto produzido que pode ser utilizado como adubo nas plantações, gerando mais fertilidade no local,

e também o aumento do insumo para a produção de alguns produtos gerados pela reciclagem do metal, plástico, papel e vidro.

5.2 VIDA ÚTIL DO ATERRO

Utilizando como base a área, resíduo coletado e vida útil do CTR de Seropédica, apresentados na Tabela 4.3, foi estimada, a partir da Equação 2, a altura de projeto do aterro sanitário de Seropédica, de 46 metros. Considerando-se o ano base de 2015, teve-se um aporte de RSU ao aterro (resíduo coletado real) de 246.628 t/mês, sendo 240.702 t/mês advindas do Rio de Janeiro (Tabela 5.3) e 5.926 t/mês dos municípios de Itaguaí e Seropédica (SNIS, 2017).

Desse modo, ao se aplicar a Equação 2, obtém-se uma vida útil de 20 anos para o cenário atual. Este resultado ilustra a insustentabilidade do aterro sanitário como alternativa de destinação final da quase totalidade dos resíduos do Rio de Janeiro, visto que não se apresenta como definitiva, sendo necessária a construção de novos aterros sanitários em um horizonte temporal tão breve quanto maior for o crescimento na geração de resíduos.

Considerando-se o cenário proposto, em que é possível obter uma redução de 93% no RSU do Rio de Janeiro enviado ao aterro sanitário ao se implementar outra destinação final para a matéria orgânica e os recicláveis, o resíduo coletado real passaria a ser de apenas 22.256 t/mês (manutenção das 5.926 t/mês oriundas de Seropédica e Itaguaí e apenas 16.330 t/mês do Rio de Janeiro).

Com isso, a nova vida útil do aterro passaria a ser de 216,2 anos, um aumento de 980% em relação ao cenário atual. Essa vida útil é incompatível com tal obra de engenharia, de modo que é nítido que o porte do aterro poderia ser consideravelmente diminuído. Isso geraria uma redução não só nos seus custos de construção, mas também nos gastos com o transporte dos resíduos das estações de transferência ao aterro, diminuição nos custos de implantação e operação de sistemas para o tratamento de chorume, bem como mitigação de outros riscos e impactos ambientais associados à disposição de resíduos (MASSUKATO, 2008).

5.3 EMISSÃO DE GASES

Para a realização dos cálculos, utilizou-se novamente a quantidade de resíduo coletado apresentada na Tabela 5.3 para as três categorias analisadas (246.666 t/mês) e também foram utilizados os valores padrões obtidos da ferramenta UNFCCC, conforme Tabela 4.4.

Sendo que para o presente estudo, foi levado em consideração os parâmetros referentes ao clima tropical e úmido e resíduos orgânicos de alimentos predominantemente. Além disso, também foi determinado que a vida útil utilizada para esse primeiro cenário é de 20 anos, pois considera que todo o resíduo sólido urbano seja encaminhado para o aterro sanitário e com isso, tem-se atualmente a geração de 36.680.480 tCO₂eq. Sendo assim, o valor se refere a um potencial de emissões que seria gerado pelos resíduos caso os mesmos fossem dispostos no aterro sanitário.

Quando é analisado a nova proposta de cenário que visa encaminhar a matéria orgânica para a compostagem e os resíduos secos para a reciclagem, ao se manter o mesmo horizonte temporal de análise (20 anos), haverá uma diminuição da emissão de gases nesse que passa a ser de 2.428.724 tCO₂eq nos aterros sanitários. Além disso, também se tem a emissão de gases na compostagem, cujo valor é de 3.379.401 tCO₂eq.

Dessa forma, o total de emissões seria de 5.808.120 tCO₂eq, uma redução de 84% do cenário proposto em relação ao cenário atual. ANGELO et al (2017) também obtiveram redução de 96,5% na emissão de GEE ao comparar a digestão anaeróbica como destinação final de resíduos orgânicos do Rio de Janeiro com o cenário atual de disposição em aterro sanitário. Tal fato evidencia a necessidade de se efetivar uma gestão integrada dos resíduos sólidos, onde todas as componentes ambientais sejam consideradas e valoradas na escolha de outras alternativas que não o aterro sanitário para o gerenciamento dos resíduos sólidos, ficando a disposição final permaneça restrita aos rejeitos.

5.4 REDUÇÃO DO APORTE DE UMIDADE AO ATERRO

O material presente em maior quantidade é a matéria orgânica putrescível. A série histórica exhibe uma tendência de altos teores de matéria orgânica no resíduo, mostrando valores que variam de 45,4 a 61,4%, chegando em 2016 com o valor de 53,2% (COMLURB, 2016). Este componente tem sido fator de preocupação, tendo em vista que sua decomposição em aterros gera um líquido com alto potencial poluidor, o lixiviado.

Levando em consideração as restrições bibliográficas apresentadas na metodologia, é possível analisar pela Tabela 5.4 que o aporte de umidade ao aterro sanitário no cenário atual é a soma de todas as tipologias de resíduos apresentadas, resultando em um valor final de 97.816 m³/mês. Enquanto isso, quando o cenário proposto é analisado, é possível perceber uma redução de 96% no aporte de umidade associada aos resíduos dispostos e isso se deve basicamente ao redirecionamento da matéria orgânica a plantas de compostagem, já que essa categoria de

resíduos representa 92,4% da umidade associada à massa encaminhada atualmente ao aterro sanitário.

Tabela 5.4: Conteúdo de Água aportado ao Aterro Sanitário associado aos resíduos dispostos para ambos os cenários (Elaboração Própria com base na COMLURB, 2016 e TCHOBANGLIOUS, 1993)

Parâmetros	Geração por Tipologia					
	Papel	Plástico	Vidro	Metal	Mat. Orgânica	Rejeitos
Tipologia						
Teor de Umidade (%)	6	2	2	3	70	25
Massa (t/mês)	34.059	48.819	8.317	3.995	129.182	16.330
Conteúdo de Água (t/mês)	2.044	976	166	120	90.427	4.083
Conteúdo de Água (m³/mês)	2.044	976	166	120	90.427	4.083

A geração de lixiviado dependerá não só do aporte de umidade associada aos resíduos, mas também da capacidade de campo do maciço e do balanço hídrico da região e dos aspectos construtivos do aterro (como a cobertura e os sistema de drenagem). Contudo, para efeito de simplificação, considerando-se que toda umidade aportada gere lixiviado, o cenário proposto permitiria uma expressiva diminuição dos custos de operação desse aterro, já que, segundo LANGE (2006), os custos para a operação da unidade de tratamento de lixiviado em um aterro é de R\$0,023/litro. Dessa forma, com o novo cenário poderia haver uma economia mensal de até R\$ 2.155.859,00 (em valores de 2006) em relação ao cenário atual, apenas com a redução dos custos de tratamento do lixiviado.

Além disso, no Brasil, o tratamento de chorume torna-se complexo porque é comum fazê-lo “in situ”, onde se utiliza com muita frequência as lagoas biológicas, que necessitam de uma área muito grande o que é uma dificuldade encontrada por algumas cidades, sobretudo em locais próximos a áreas metropolitanas. Ainda, há o fato de que o sistema de tratamento biológico por lagoas não reduz significativamente a quantidade de nitritos, nitratos, amônia e metais pesados presente no meio, necessitando assim da sua segregação e tratamento posterior (SOUZA, 2017).

5.5 ANÁLISE ECONÔMICA

Os custos do aterro variam de acordo com o porte a ser construído. Para determinar os gastos relacionados à construção e à operação de aterros sanitários, foram considerados empreendimentos de três tamanhos distintos, como pode ser observado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Custo para implantação e operação de aterros sanitários (ABETRE & FGV, 2009).

Porte	Toneladas processadas/ dia	CAPEX	OPEX	Total (milhões)
Pequeno	100	R\$ 6.976.285	R\$ 45.468.163	R\$ 52,4
Médio	800	R\$ 30.049.713	R\$ 206.485.324	R\$ 236,5
Grande	2.000	R\$ 64.300.115	R\$ 461.494.052	R\$ 525,8

Como a quantidade de resíduos processados por dia no cenário atual, considerando apenas a manutenção do aporte atual de resíduos gerados no Rio de Janeiro, é em torno de 8.023 t/dia (COMLURB,2016) e essa excede a capacidade informada pelo estudo da ABETRE & FGV (2009), foi feita uma estimativa através da função gerada pelo Gráfico 5.1, que foi baseado nessas capacidades informadas no estudo e utilizando a vida útil do aterro de 20 anos como estimado anteriormente, pode-se observar na Tabela 5.6 a estimativa de custo para esse empreendimento no cenário atual.

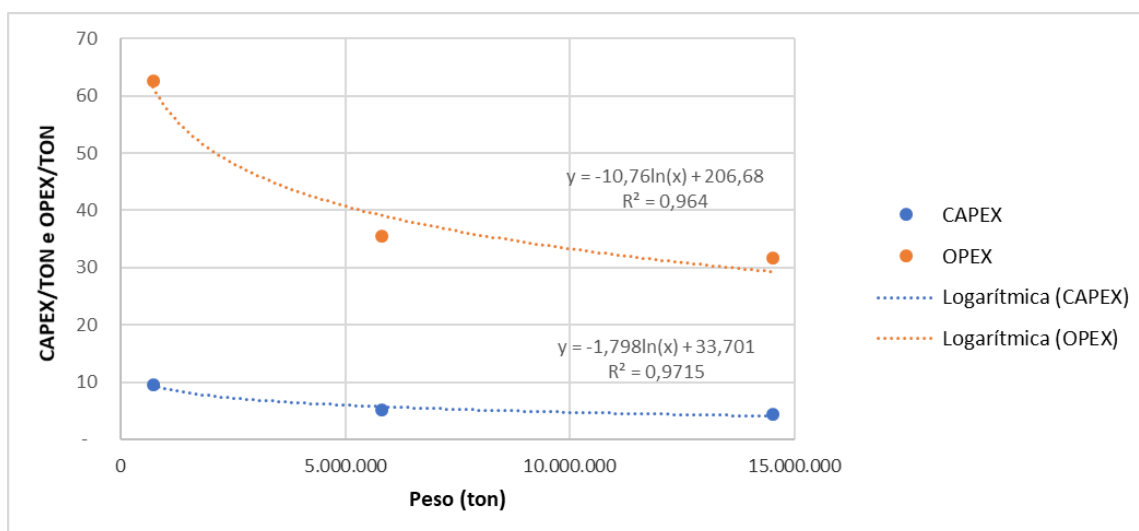


Gráfico 5.1: Custo para operação e implantação do aterro sanitário de diversos portes (Elaboração própria com base na ABETRE & FGV, 2009)

Tabela 5.6: Custo para operação e implantação do aterro sanitário de diversos portes
(Elaboração própria com base na ABETRE & FGV, 2009)

Aterro Sanitário						
2009				2018		
	Valor (R\$/t)	Peso (t/dia)	Custo (R\$)	Cotação Índice	Valor Correção (R\$)	Custo Final (R\$)
CAPEX	2	8071	117.836.600	0,52	90.283.859,60	208.120.460
	Valor (R\$/t)	Peso (t/dia)	Custo (R\$/mês)	Cotação Índice	Valor Correção (R\$/mês)	Custo Final (R\$/mês)
OPEX	14	8071	3.389.820	0,49	2.369.245,83	5.759.066

Para efeitos de simplificação, considerou-se o CAPEX de todo horizonte de projeto (20 anos) é descontado no ano zero (2018 neste estudo). Dessa forma, corrigindo os valores para o ano de 2018, para o cenário atual o custo do aterro sanitário considerando a vida útil de 20 anos e a taxa de desconto de 6,75% aa, seria de R\$ 747 milhões para o OPEX e R\$ 208 milhões para o CAPEX, totalizando R\$ 955 milhões. Ressalta-se que tais custos estão associados apenas à construção e operação das estruturas, sendo que o real valor pago pelas prefeituras usualmente maior, já que tais aterros são operados, em geral, por empresas privadas, devendo-se agregar o lucro das mesmas nos valores cobrados. Como tais valores são específicos de cada contrato de concessão, o que foge ao escopo deste trabalho, reitera-se que os valores para o cenário base podem estar subestimados.

Atualmente 98% dos resíduos coletados no Rio de Janeiro são destinados a aterros sanitários (SNIS, 2017), mas esses podem possuir um destino mais adequado como no caso da matéria orgânica putrescível que pode ser transformado em composto orgânico através da compostagem e os resíduos secos podem ser reciclados. Nessa linha de pensamento, foram estimados os custos e rendas para o cenário proposto, como é possível analisar nas Tabelas 5.7, 5.8 e 5.9.

Tabela 5.7: Custo e renda para operação e implantação da unidade de compostagem
(Elaboração própria com base no BNDES, 2014 e CEMPRE, 2017).

Compostagem						
2012				2018		
	Valor (R\$/t)	Peso (t/mês)	Custo (R\$)	Cotação o Índice	Valor Correção (R\$)	Custo Final (R\$)
CAPEX	45	129.181	1.395.154.800	0,54	4.003.406,02	1.399.158.206
	Valor (R\$/t)	Peso (t/mês)	Custo (R\$/mês)	Cotação o Índice	Valor Correção (R\$/mês)	Custo Final (R\$/mês)
OPEX	3,8	129.181	490.888	0,51	218.377,48	709.265
2017				2018		
	Valor (R\$/t)	Peso (t/mês)	Receita (R\$/mês)	Cotação o Índice	Valor Correção (R\$/mês)	Receita Final (R\$/mês)
VENDA	130	64.591	8.396.765	0,18	262.224,77	8.658.990

Tabela 5.8: Renda com a venda de recicláveis (Elaboração própria com base em CEMPRE (2017) e GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (2012)).

Reciclagem						
2014				2018		
Classe	Peso total da amostra (t/mês)	Preço por tonelada por componente (R\$/t)	Receita Operacional (R\$/mês)	Cotação Índice	Valor Correção (R\$/mês)	Receita Final (R\$/mês)
Papel	23.364	550	12.850.200	0,52	20.699.283	92.361.593
Papelão	7.180	300	2.154.000			
Treta Pack	3.515	160	562.400			
Plástico Duro	9.329	1.000	9.329.000			
Plástico Filme	34.652	1.000	34.652.000			
PET	4.838	2.000	9.676.000			
Vidros	8.317	250	2.079.250			
Metais	3.994	90	359.460			
Total			71.662.310			

Tabela 5.9: Custo para operação e implantação do aterro sanitário (Elaboração própria com base em ABETRE & FGV, 2009).

Aterro Sanitário						
2009				2018		
	Valor (R\$/ton)	Peso (ton/dia)	Custo (R\$)	Cotação Índice	Valor Correção (R\$)	Custo Final (R\$)
CAPEX	6	544	23.827.200	0,52	18.255.886,34	42.083.086
	Valor (R\$/ton)	Peso (ton/dia)	Custo (R\$/mês)	Cotação Índice	Valor Correção (R\$)	Custo Final (R\$/mês)
OPEX	43	544	701.760	0,49	490.480,88	1.192.241

A partir desses resultados, será considerado o valor presente líquido, utilizando-se taxa de desconto de 6,75% aa em um horizonte de 20 anos e considerando a manutenção do aporte dos resíduos gerados no Rio de Janeiro. Com isso, o novo cenário proporcionará uma receita de R\$ 11,4 bilhões, enquanto que no cenário atual existia apenas um custo de R\$ 955 milhões.

É importante notar que o objetivo do uso sustentável não é meramente gerar recursos econômicos, mas também reduzir o volume de resíduos enviados aos aterros sanitários, o que traz conseqüentemente ganhos ambientais (CARVALHO, 2012). Portanto, a situação do cenário proposto apresenta-se como uma excelente solução quando são avaliados os impactos ao meio ambiente, qualidade de vida da população e do ponto de vista econômico, pois permite indicar menores custos de implantação e operação final de RSU, além de gerar uma renda expressiva para o Rio de Janeiro, possibilitando a geração de empregos.

No entanto, essa renda pode ser ilusória quando avaliado três aspectos: mercado para comercialização do composto, contrato de concessão CICLUS e custo da coleta. Para obter um composto de qualidade para comercialização, é necessário conscientizar a população sobre a importância da segregação na origem e com isso contribuir para a obtenção de materiais recicláveis mais limpos e com menor percentual de perda e contaminação (CAPRARA & REICHERT, 2015).

Sendo que, mesmo com tais cuidados, RENKON & RUBIN (1998) indicaram que do ponto de vista econômico, a compostagem poderia não se justificar devido ao alto custo de processamento, mas que poderia ser mais competitivo em locais onde o aterro sanitário apresentasse um custo elevado. Entretanto a dificuldade está relacionada à demanda desse mercado no município, uma vez que não existem grandes áreas rurais. Portanto, uma pequena porcentagem do composto teria como destino o uso no paisagismo da cidade e outra parte seria destinada a gastos com adubação agrícola de pequenos produtores da agricultura familiar (GARRÉ, 2016). No entanto, a produção majoritária do processo não teria outro destino a não ser a exportação, podendo tornar o processo inviável financeiramente.

Além disso, deve-se avaliar também a questão do contrato de concessão da CICLUS, que é responsável pelo tratamento e destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos domiciliares do Rio de Janeiro. Com isso, para adoção do cenário proposto, seria necessário reavaliar o contrato de concessão. Contudo, como a adoção do cenário proposto demanda investimentos não só para as estruturas de recebimento dos resíduos, mas também na reestruturação do modelo de coleta, conscientização da população, modelo de negócio para comercialização do composto e recicláveis, entre outros fatores, tal cenário poderia ser cogitado

quando do encerramento do aterro sanitário de Seropédica e busca de um novo local de disposição.

Por fim, também é preciso considerar o custo da coleta desses resíduos no novo cenário, pois ele pode ser superior a renda obtida. O estudo de FRANCA (2013) calculou o custo de R\$ 179,47 por tonelada para o transporte de recicláveis, R\$ 217,11 por tonelada para transportar rejeitos até os aterros sanitários e R\$ 185,35 para o transporte de matéria orgânica. Esses valores diferenciados para cada tipo de coleta podem ser associados ao quilometragem para cada trajeto e mão de obra do estudo de caso aplicado nesse trabalho, que são por sua vez diferentes para cada tipo de destinação. Dessa forma, com o desconto de 6,75% aa em um horizonte de 20 anos, haveria um gasto em torno de R\$ 5 bilhões para o transporte.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho estudou a destinação final de RSU no Rio de Janeiro. Pode-se concluir que atualmente a geração de matéria orgânica é superior a 50% na maioria dos bairros no Rio de Janeiro, podendo indicar uma concentração de famílias de baixa renda nesses locais, além de aumentar também a geração de lixo nos aterros sanitários. Os outros resíduos com gerações significativas nesse município são o plástico e papel e tal número pode ser atribuído ao elevado consumo de embalagens de produtos comercializados.

No entanto, através desse estudo foi possível comprovar que a destinação dos resíduos secos para a reciclagem e os úmidos para a compostagem é mais viável ambientalmente e economicamente do que para aterros sanitários. Além do significativo aumento da vida útil do aterro no cenário proposto (levando à possibilidade de operar um aterro de menor porte para atender à cidade), haveria redução nas emissões de gases de 30.872.360 tCO₂eq no horizonte temporal equivalente à vida útil do aterro calculada para o cenário atual.

Além disso, foi constatado também nesse novo cenário, a redução do aporte de umidade associada aos resíduos dispostos no aterro seria de 96%, reduzindo assim o seu custo de operação. A proliferação de vetores na região também será minimizada, uma vez que não haverá o acúmulo de matéria orgânica no local.

Com relação à análise econômica desses cenários, o proposto pode ser mais favorável, mesmo considerando o custo de coleta e o mercado para comercialização, visto que existe uma receita de 11,4 bilhões de reais ao longo desses 20 anos de duração do aterro sanitário, que foi o horizonte de tempo estimado.

Entretanto, o presente trabalho não ponderou algumas variáveis como os gastos e impactos ambientais gerados pelo transporte dos resíduos para cada cenário, bem como os modelos de coleta possíveis (porta-à-porta, PEVs, cooperativas etc.). Também não foi apresentado o número de unidades de reciclagem e compostagem adequados para o Rio de Janeiro, assim como as suas localizações ideais. Sendo assim, esses pontos são deixados como recomendações para estudos futuros, que deem continuidade a esse trabalho.

Por fim, é possível concluir que o resíduo pode deixar de ser uma grande problemática para se tornar uma fonte geradora de empregos e matérias-primas para vários setores da economia. Todavia, para que essas soluções sejam eficazes, é necessário o empenho efetivo de todos, governo e sociedade civil, num trabalho conjunto em prol de melhorias nas condições ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABETRE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos & FGV – Fundação Getúlio Vargas, 2009. Estudo sobre Aspectos Econômicos e Financeiros da Implantação e Operação de Aterros Sanitários.

ABAL – Associação Brasileira de Alumínio, 2017. Disponível em: <http://abal.org.br/>, acessado em 12 de março de 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004. Resíduos Sólidos: Classificação – NBR 10.004/2004.

_____. NBR 10.007/2004. Amostragem de Resíduos Sólidos.

_____. NBR 13.896/1997. Aterros de Resíduos Não Perigosos.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2015a. Estimativas dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil. São Paulo, SP.

_____. 2015b. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.

_____. 2016. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil.

ABRE – Associação Brasileira de Embalagem & FGV – Fundação Getúlio Vargas, 2015. Desempenho da Indústria de Embalagens em 2014 e Perspectivas para 2015.

ADEDIPE N. O. et al, 2005. Waste management, processing, and detoxification.

ALVES, J. W. S., 2000. Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos.

ANGELO, A. C. M., SARAIVA, A. B., CLÍMACO, J. C. N., INFANTE, C. E., & VALLE, R., 2017. Life Cycle Assessment and Multi-criteria Decision Analysis: Selection of a strategy for domestic food waste management in Rio de Janeiro. *Journal of Cleaner Production*, 143, 744–756. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.049>

ARAÚJO, K. A. A, BARROS, R. G.; DIAS, P. P., 2015. Investigação de passive ambiental na área do aterro sanitário de Hidrolândia, GO. Goiás.

BCB – Banco Central do Brasil, 2018. Taxa Selic. <http://www.bcb.gov.br/pt-br/Paginas/default.aspx#!/busca/selic>, acesso em 24 de fevereiro de 2018.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2014. Análise de diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão.

BRASIL, 2007 – Lei 11.445 de diretrizes nacionais para o saneamento básico.

_____. 2010 – Lei 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

_____. 2012 – Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657, acesso em 24 de fevereiro de 2018.

_____. Ministério do Meio Ambiente, 2012. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF.

_____. 2015 – Lei 2.289 que prorroga o prazo para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos de que trata o art. 54 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. .

BUTTENBENDER, S. E., 2004. Avaliação da Compostagem da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos provenientes da Coleta Seletiva realizada no Município de Anfelina/SC.

CALCULADOR, 2018. <http://www.calculador.com.br/calculo/correcao-valor-por-indice#sobre>, acesso em 24 de fevereiro de 2018.

CAMPOS, H. K. T., 2012. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. Eng Sanit Ambient, pag 171-180.

CAPRARA, P. T., REICHERT, G. A., 2015. A Compostagem como Alternativa de Resíduos Urbanos Orgânicos – Considerações para projetos futuros de unidades de triagem e compostagem.

CARVALHO, M. S., ROSA, L. P., BUFONI, A. L., OLIVEIRA, L.B., 2012. Waste Management and Research.

CEMPRE, 2010. – Compromisso Empresarial para reciclagem. Preço do material reciclável.

_____. 2017. Ficha Técnica do Composto Urbano.

CHEFETZ, B., HATCHER, P. G., HADAR, Y., CHEN, Y., 1998. Characterization of dissolved organic matter extracted from composted municipal solid waste. Soil Science Society of America, v.62, p. 326-332.

CICLUS AMBIENTAL, 2011. Ficha técnica da Central de Tratamento de Resíduos sólidos urbanos de Seropédica.

CIWMB - CALIFORNIA INTEGRATED WASTE MANAGEMENT BOARD, 2004. Statewide waste characterization study. Disponível em: <<http://www.ciwmb.ca.gov/WasteChar/DBMain.htm>>. Acesso em: 10 de Fevereiro de 2010.

COCCARO, S. E. A Requalificação da Avenida Ayrton Senna na Vertente Jacarepaguá e a Redefinição dos Limites da Barra da Tijuca Expandida. Sem Data.

COELHO, J. P. e TOCCHETTO, M. R. L. e JÚNIOR, E. L. M., 2014. Centrais de triagem de resíduos (CTR): uma solução para o gerenciamento em municípios de pequeno porte.

COMLURB – Companhia Municipal de Limpeza Urbana, 2005. Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do município do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/comlurb>> Acesso em: 18 de março de 2010.

_____. 2009. Caracterização gravimétrica e microbiológica dos resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro. Centro de Informações Técnicas - CITE da COMLURB, Rio de Janeiro, RJ.

- _____. 2015. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS do Rio de Janeiro.
- _____. 2016. Caracterização dos Resíduos Sólidos Domiciliares da Cidade do Rio de Janeiro. Diretoria Técnica e de Logística - Gerência de Pesquisas, Rio de Janeiro, RJ.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA N°308, 2002. Dispõe sobre a destinação final dos resíduos sólidos. Brasília.
- COSTA, E. G. A. Destinação final dos resíduos sólidos urbanos da região metropolitana de Fortaleza.
- DIÁRIO OFICIAL DA PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2014.
- EL FADEL, M., DOUSEID, E., CHAHINE, W., ALAYLIC, B., 2002. Factors influencing solid waste generation and management. Waste Management. v. 22, p. 269 – 276.
- FARIA, F. S., 2002, Índice da qualidade de aterros de resíduos urbano. Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- FERREIRA, J. A., 2000, “Resíduos Sólidos: Perspectivas Atuais”. In: Sisino, C. L. S., Oliveira, R. M. (org.), Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma Visão Multidisciplinar, 1ª ed, capítulo 1, Rio de Janeiro, Editora Fiocruz.
- FORMIGONI, A., CAMPOS, I. P. A., 2006. Reciclagem de PET no Brasil.
- FRANCA, L. S., 2013. Uma proposta para a gestão dos resíduos sólidos urbanos na região serrana II, considerando as práticas de reciclagem e compostagem.
- FUNASA – Fundação Nacional da Saúde, 2007. Manual de Saneamento. Brasília, DF.
- GARCIA, A. F. M. e FLORES, G. N., 2010. Possibilidade jurídica da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos através de consórcios públicos.
- GARRÉ, A. O., LUZ, M. L. G. S., LUZ, C. A. S., GADOTTI, G. I., NAVROSKI, R., 2016. Análise Econômica para Implantação de uma Usina de Compostagem de Resíduo Urbano.
- GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2012. Estudo Econômico Financeiro para destinação de Resíduos Sólidos Urbanos.
- HAMADA, J., 2003. Resíduos Sólidos: Conceituação e Caracterização.
- IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2001. Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013.
- _____. 2017.
- INÁCIO, C. T. e MILLER, P. R. M., 2009. Compostagem: Ciência e prática para a Gestão de Resíduos. 1ªed. Rio de Janeiro.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing.

- JUNIOR, F. R. L., 2009. Gestão de Resíduos de Equipamentos Eletro-Eletrônicos: Um estudo de caso sobre a caracterização e destinação na UEM.
- LANGE, L. C., ALVES, J. F., AMARAL, M. C. S., JÚNIOR, W. R. M., 2006. Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando Reagente de Fenton.
- LEGISLAÇÃO MUNICIPAL DE Nº 3.273/2001. Gestão do Sistema de Limpeza Urbana no Município do Rio de Janeiro.
- LEITE, P. R., 2003. Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade. 2ª ed. São Paulo, Prentice Hall.
- LIMA, J. D., 2001. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. 1ª ed. Rio de Janeiro, ABES.
- LOGAREZZI, A., 2004. Contribuições conceituais para o gerenciamento de resíduos sólidos e ações de educação ambiental
- MALHER, C., 2002. Poluição: poluição aquática e resíduos sólidos. Rio de Janeiro: Aquarius.
- MASSUKADO, L.M, 2008. Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares.2008.182p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- NUNES, F. L., DIAS, V. S., SELMITO, M. A., 2014. Reutilização de embalagens de papelão: estudo de caso em distribuição de suprimentos.
- PEREIRA N. J. T., 2007. “Gerenciamento do Lixo Urbano - aspectos técnicos e operacionais”, Minas Gerais, MG, Editora UFV.
- PIMENTEIRA, C. A. P., 2002. Aspectos Sócio-Econômicos da Gestão de Resíduos Sólidos no Rio de Janeiro – Uma análise insumo produto.
- RENKON, M., RUBIN, A. R., 1998. Does municipal waste composting make economic sense?
- SERAFIM, A. C., GUSSAKOV, K. C., CONEGLIAN, C. M. R., PELEGRINI, R., 2003. Chorume, impactos ambientais e possibilidade de tratamentos.
- SILVEIRA, A. M. M., 2004. Estudo do peso específico de resíduos sólidos urbanos.
- SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre Gestão de Resíduos Sólidos, 2018. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br>, acesso em 24 de fevereiro de 2018.
- SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento, 2017. Série Histórica ano base 2015. Disponível em: <http://app3.cidades.gov.br/serieHistorica/#>, acessado em 24 de fevereiro de 2018.
- SOARES, J. H. P, 2006. Gerenciamento de resíduos sólidos: curso de especialização em análise ambiental.
- SOARES, E. L. S. F., 2011. Estudo da Caracterização Gravimétrica e Poder Calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos.
- SOUZA, R. V., 2017. Avaliação Ecotoxicológica do Solo do Aterro Sanitário de Goiânia.

TCHOBANOGLIOUS, G. T. H., 1993. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue.

UNFCCC – United Nations Framework on Climate Change, 2017. Emissions from solid waste disposal sites. Disponível em <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-04-v8.0.pdf>>, acessado em 24 de fevereiro de 2018.

_____. 2016. Project and leakage emissions from composting. Disponível em <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-13-v2.pdf>, acessado em 24 de fevereiro de 2018.

VERBRUGGE, S., COLLE, D., PICKAVET, M., DEMEESTER, P., PASQUALINI, S., ISELT, A., KIRSTADTER, A., HULSERMANN, JAGER, M., 2006. Methodology and input availability parameters for calculating OPEX and CAPEX costs for realistic network scenarios.