

PÂMELA BIA PASQUALI

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO
BRASIL: UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA**

Passo Fundo

2020

PÂMELA BIA PASQUALI

**GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO
BRASIL: UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Iziquiel Cecchin

Passo Fundo

2020

PÂMELA BIA PASQUALI

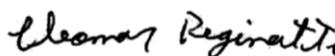
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL: UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Ambiental da Universidade de Passo
Fundo, como requisito parcial à obtenção
do título de Engenheiro Ambiental.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Iziquiel Cecchin
Universidade de Passo Fundo



Prof. Dr. Cleomar Reginatto
Universidade de Passo Fundo



Prof. Ms. Eder Nonnemacher
Universidade de Passo Fundo

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me permite despertar todos os dias e seguir na minha missão.

As pessoas mais importantes da minha vida, quero agradecer aos meus pais por todo suporte e apoio em todas as decisões que tomei até hoje. Meu maior objetivo é ser o orgulho de vocês dois. Amo vocês e espero um dia retribuir tudo o que sempre fizeram por mim.

Agradeço também a minha irmã, Paloma, que me inspira e me incentiva a ser cada vez melhor. Sabe que eu tento sempre ser o teu exemplo. Eu te amo.

Ao meu namorado, que sempre me apoiou e esteve comigo desde o início dessa jornada chamada engenharia. Sou imensamente grata por ter você em minha vida.

A Ritielli Berticelli, que me deu a oportunidade de ser bolsista de pesquisa por dois anos. Só tenho a agradecer a ti por todos os conhecimentos repassados, artigos publicados e por me auxiliar na realização deste trabalho.

As minhas colegas Julia e Luiza pela amizade e por todos os projetos em grupo (eu faço os cálculos, a Luiza faz a parte escrita e a Julia monta a apresentação). Sinto saudades das nossas risadas, de encontrar vocês todos os dias e, obvio, de aguentar a Luiza falando do crossfit.

Ao meu orientador Iziquiel Cecchin por todas as sugestões e parceria desde o início do curso.

A banca examinadora deste trabalho, pelas contribuições e sugestões de melhorias.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma fizeram parte dessa caminhada. Pessoas passam pela nossa vida, deixam suas marcas e contribuem para nossa evolução.

*Acredite em si próprio e chegará um dia
em que os outros não terão outra escolha
senão acreditar com você.*

Cynthia Kersey

PASQUALI, Pâmela Bia. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil: uma Análise Exploratória**. 2020. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2020.

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos é uma das maiores questões ambientais no Brasil, altamente dependente do aterro sanitário como principal método de descarte. O objetivo deste trabalho foi apresentar um panorama do sistema de GRSU do Brasil, propondo melhorias ao processo baseado em uma análise exploratória. A coleta dos dados foi realizada a partir das informações fornecidas pela base de dados da ABRELPE e do SNIS. Da ABRELPE foram explorados os Panoramas dos Resíduos Sólidos e do SNIS os Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, acerca da geração, coleta e disposição final dos resíduos sólidos urbanos afim de comparar o estado atual do GRSU brasileiro com outros países. Foi analisada a influência do Produto Interno Bruto (PIB) na Geração de Resíduos, e observou-se que tais indicadores são diretamente proporcionais. Com relação a quantidade gerada comparando com a quantidade coletada, observou-se que em 2018, o Brasil ainda convive com a realidade de que 17.318 t/dia de RSU gerados não são nem coletados. A evolução da coleta seletiva foi analisada a partir da quantidade de municípios que possuem esse tipo de serviço. Quanto as alternativas de disposição final dos resíduos Sólidos, estas dividem-se em sua totalidade, praticamente, de três formas: lixões, aterros controlados e aterros sanitários. Como melhorias sugere-se que o estado regule o sistema, a população, consciente e instruída, seja cobrada pela quantidade e tipos de resíduos sólidos gerados e o sistema garanta sua sustentabilidade econômico-financeira. Com isso, a coleta seletiva e a destinação final adequada serão consequências do gerenciamento.

Palavras-chaves: Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos. Análise Exploratória. Melhorias. Sustentabilidade econômico-financeira. Taxa de cobrança pelo descarte.

PASQUALI, Pâmela Bia. **Management of Urban Solid Waste in Brazil: an Exploratory Analysis**. 2020. 79 f. Completion of course work (Environmental Engineering) – University of Passo Fundo, Passo Fundo. 2020.

ABSTRACT

Solid waste management is one of the biggest environmental issues in Brazil, highly dependent on landfill as the main method of disposal. The objective of this work was to present an overview of the GRSU system in Brazil, proposing improvements to the process based on an exploratory analysis. Data collection was performed based on information provided by the ABRELPE and SNIS database. ABRELPE explored the Solid Waste Panoramas and SNIS the Diagnostics of Urban Solid Waste management, regarding the generation, collection and final disposal of urban solid waste in order to compare the current state of the Brazilian USWM with other countries. The influence of the Gross Domestic Product (GDP) on the Generation of Waste was analyzed, and it was observed that such indicators are directly proportional. Regarding the quantity generated compared to the quantity collected, it was observed that in 2018, Brazil still lives with the reality that 17,318 t / day of MSW generated are not even collected. The evolution of selective collection was analyzed based on the number of municipalities that have this type of service. As for the alternatives for the final disposal of Solid waste, these are divided in their entirety, practically, in three ways: dumps, controlled landfills and sanitary landfills. As improvements, it is suggested that the state regulates the system, the population, conscious and educated, is charged for the amount and types of solid waste generated and the system guarantees its economic-financial sustainability. As a result, selective collection and proper final disposal will be consequences of management.

Palavras-chaves: Urban Solid Waste Management. Exploratory Analysis. Improvements. Economic and financial sustainability. Charge rate for disposal.

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 – Variação da Geração de RSU e do PIB	49
Gráfico 2 – Quantidade gerada x Quantidade coletada no período analisado	50
Gráfico 3 – Coleta de RSU ao longo do anos (comparação entre ABRELPE e SNIS).....	51
Gráfico 4 – Evolução do índice de ocorrência do serviço de coleta seletiva de RSU nos municípios brasileiros de 2003 a 2018, quanto à existência.....	54
Gráfico 5 – Disposição final de RSU, por tipo de destinação (ABRELPE).....	56
Gráfico 6 – Disposição final de RSU, por tipo de destinação (SNIS).....	58

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – O espectro de métodos de coleta de “PEVs” a “coleta no meio-fio ou porta-a-porta” (Comprimento das setas indica as distâncias a percorrer pelos cidadãos até os pontos de coleta)	21
Figura 2 – Fluxograma das etapas metodológicas.....	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Cadeia Produtiva da Reciclagem.....	23
Quadro 2 – Legislação Europeia da Gestão de Resíduos	33
Quadro 3 – Principais Legislações sobre Resíduos Sólidos nos EUA	36
Quadro 4 – Arranjos institucionais, modelos de gestão e sistemas de incentivos nos EUA	37
Quadro 5 – Principais Leis sobre gestão de resíduos sólidos no Japão.....	39
Quadro 6 – Diferenças na apresentação dos dados entre ABRELPE e SNIS	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – População, PIB, quantidade gerada e coletada e geração e coleta de resíduos per capita de RSU no Brasil	47
Tabela 2 – População, PIB, taxa de cobertura da coleta de resíduos, massa coletada per capita e quantidade coletada de RSU no Brasil	48
Tabela 3 – Evolução do índice de ocorrência do serviço de coleta seletiva de RSU nos municípios brasileiros de 2003 a 2018, quanto à existência e quantidade de municípios amostrados pelo SNIS	53
Tabela 4 – Disposição final de RSU, por tipo de destinação (ABRELPE).....	56
Tabela 5 – Disposição final de RSU, por tipo de destinação (SNIS)	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRALATAS - Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio
ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACCV – Avaliação do Custo do Ciclo de Vida
ACV – Avaliação do Ciclo de Vida
ACVS – Avaliação do Ciclo de Vida Social
ASCV – Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida
CDR – Combustível Derivado de Resíduos
DA – Digestão Anaeróbia
EPA – Environmental Protection Agency
EU – União Europeia
Eurostat – Statistical Office of the European Union
GRSU – Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ONU – Organização das Nações Unidas
PERSU I – I Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos
PET – Plástico Politereftalato de Etileno
PEVs – Pontos de Entrega Voluntária
PIB – Produto Interno Bruto
PNCLM – Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU – Resíduo Sólido Urbano
SAGReS – Sistema de Avaliação para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos
SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
TMB – tratamento mecânico-biológico
URE – Unidade de Recuperação Energética

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	14
1.2 Problema	16
1.3 Objetivos	17
1.3.1 Objetivo Geral	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Gerenciamento de RSU	18
2.1.1 Geração, coleta e transporte dos RSU	19
2.1.2 Reciclagem	22
2.1.3 Tratamento biológico	25
2.1.4 Incineração	27
2.1.5 Aterro sanitário	29
2.2 Experiências Internacionais na Gestão de Resíduos Sólidos - Políticas Públicas e Tecnologias	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1 Classificação da pesquisa	41
3.2 Etapas da Pesquisa	42
3.2.1 Comparar os dados de geração e coleta dos RSU ao longo dos anos no Brasil	43
3.2.2 Analisar a evolução da coleta seletiva no território brasileiro	43
3.2.3 Expor as principais formas de disposição final dos RSU utilizadas no Brasil	44
3.2.4 Propor melhorias ao sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos brasileiro baseado na experiência de outros países	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 Comparar os dados de geração e coleta dos RSU ao longo dos anos no Brasil	45
4.2 Evolução da coleta seletiva no território brasileiro	52
4.3 Principais formas de disposição final dos RSU utilizadas no Brasil	55
4.4 Propor melhorias ao sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos brasileiro baseado na experiência de outros países	59
4.4.1 Projetos e Ações que estão sendo Realizados no Brasil	60
4.4.2 Sugestão de melhorias ao sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos brasileiro	64
5 CONCLUSÕES	68
6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	70
7 REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

O gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (GRSU) diz respeito às atividades projetadas para coletar, transportar, tratar e descartar efetivamente os resíduos levando em consideração as preocupações com a saúde pública, estética, conservação de recursos naturais e outras considerações ambientais (MUNALA e MOIRONGO, 2011). Lamentavelmente, muitas cidades, sofrem com altos volumes de resíduos sólidos e defrontam-se com grandes inadequações na sua gestão, especialmente nos países em desenvolvimento (GUTBERLET *et al.*, 2017). A elevação das taxas de geração de resíduos devido à rápida urbanização, crescimento populacional, mudança de estilos de vida e padrões de consumo continuam colaborando com os desafios enfrentados pela gestão de resíduos sólidos (SHARHOLY *et al.*, 2008). Como resultado, o GRSU é considerado uma grande preocupação ambiental e de saúde pública em muitos países em desenvolvimento. Nesses países, o GRSU geralmente é caracterizado por métodos de coleta ineficientes, falta de infraestrutura e tecnologias de gestão de resíduos sólidos, recursos financeiros e técnicos insuficientes, descarte inadequado, poluição por despejos descontrolados e dados limitados sobre a geração de resíduos.

A quantidade de lixo produzido pela população mundial é exorbitante. São 1,4 bilhão de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) por ano, isso significa uma média per capita de 1,2 kg/dia. E o mais interessante é que quase metade desse lixo é gerado por 30 países, justamente os mais ricos, associando riqueza à alta geração de resíduos. Os números chamam atenção principalmente do ponto de vista da não geração. Nos últimos 30 anos, o lixo produzido no mundo foi três vezes maior que o crescimento populacional. Nota-se ainda que o aumento do PIB tem relação com o aumento da produção de lixo. A explicação se dá pelo fato da população com maior poder aquisitivo consumir mais e, justamente, culminar na maior produção de resíduos sólidos (BRASIL, 2014).

Um fato que assusta ainda mais são as pesquisas do Banco mundial e da Organização das Nações Unidas (ONU), que preveem um aumento de 350% na geração de resíduos sólidos urbanos até 2050 caso não ocorra uma mudança nos padrões atuais. A expectativa é que uma população de 9 bilhões de habitantes vai gerar 4 bilhões de toneladas de lixo urbano (BRASIL, 2014).

A gestão de resíduos sólidos é uma das maiores questões ambientais no Brasil, altamente dependente do aterro sanitário como o principal método de descarte no controle deste aumento

contínuo da geração de resíduos sólidos anualmente. O futuro da gestão de resíduos sólidos permanece incerto, embora existam potenciais para outros métodos de gerenciamento e minimização de resíduos sólidos. Os problemas associados ao gerenciamento de resíduos sólidos são complexos por vários motivos, como quantidade e composição dos resíduos gerados, rápida expansão das áreas urbanas, problemas de financiamento, avanço tecnológico, bem como energia e matérias-primas limitadas (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993). A construção de novos aterros é um desafio, já que, com a escassez da terra, outra possível opção para a implementação de aterros estaria de alguma forma nas proximidades de outras áreas domésticas. Um típico sistema de gestão de resíduos sólidos em países em desenvolvimento geralmente apresenta serviços inadequados de coleta (como coleta irregular) e descarte inadequado de resíduos sem controle da poluição do ar e da água, incluindo consequências do despejo ilegal como por exemplo, aparecimento de moscas e roedores (OGAWA, 2000).

Dados apontam que, em 2018, foram geradas no Brasil 79 milhões de toneladas de RSU, um aumento inferior a 1% em relação ao ano anterior. Desse total, 92% (72,7 milhões) foi coletado, isso significa uma alta de 1,66% em comparação a 2017. Vale ressaltar que a coleta aumentou em um ritmo razoavelmente maior que a geração, em contrapartida, evidencia-se que 6,3 milhões de toneladas de resíduos não foram coletadas junto aos locais de geração (ABRELPE, 2019).

Dos resíduos sólidos urbanos coletados 59,5%, equivalente a 43,3 milhões de toneladas, receberam uma destinação adequada em aterros sanitários. Isso representa um pequeno avanço em relação ao cenário do ano anterior (59,1%). O restante (40,5%) foi despejado em locais inadequados por 3.001 municípios, ou seja, 29,4 milhões de toneladas de RSU acabaram indo para lixões ou aterros controlados, espaços esses que não possuem um conjunto de sistemas e medidas necessários para proteger a saúde das pessoas e o meio ambiente contra danos e degradações (ABRELPE, 2019).

Os municípios investiram mensalmente, em média, R\$ 10,15 por habitante para fazer frente a todos os serviços de limpeza urbana no Brasil. Tais serviços empregaram diretamente, em vagas formais de trabalho, 332 mil pessoas no período (ABRELPE, 2019).

Seguindo essas afirmativas e dados, a pesquisa se justifica, visto que, busca apresentar o estado atual e histórico do manejo de resíduos sólidos no Brasil, fazendo uma comparação do GRSU brasileiro com outros países desenvolvidos e em desenvolvimento para encontrar a diferença entre as estratégias de manejo e as limitações do sistema atual. As comparações serão feitas com os países que possuem um sistema adequado de coleta de resíduos, taxa considerável de reciclagem de RSU, incineração e aterro ambiental, econômico e socialmente viável, além

de um sistema eficaz de cobrança pelo descarte de resíduos.

1.2 Problema

O crescimento populacional, associado à migração para áreas urbanas e ao progresso industrial, acarretou uma relação de consumo que tem como consequência problemas ambientais, sociais e econômicos. Referente ao meio ambiente, um fator crítico é a falta de controle e a ineficaz gestão dos resíduos sólidos gerados nos centros urbanos. Dentre os desafios encontrados estão a coleta, o tratamento e a disposição, ou seja, medidas adequadas de gerenciamento, com foco na gestão sustentável (MELARÉ *et al.*, 2017).

Constata-se que os gestores que atuam na administração de cidades ao redor do mundo estão em busca de alternativas para a gestão de RSU. O aproveitamento dos resíduos sólidos é o aspecto principal. A União Europeia (EU), por exemplo, tem-se destacado pelas mudanças significativas no modelo de gestão de RSU. Em 2010, foram recuperados 40% dos resíduos descartados pela população através da reciclagem e compostagem, 22% foram incinerados e 38% dispostos em aterros sanitários. Diversos países estão avançando muito quanto à redução de resíduos biodegradáveis em aterros sanitários. Suíça, Alemanha, Holanda, Suécia, Bélgica, Áustria e Dinamarca, por exemplo, têm atingido taxas de aterramento desses resíduos menor de 5% (JUCÁ *et al.*, 2014).

Todavia, a realidade brasileira não está no mesmo patamar dos países mais desenvolvidos. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) caracteriza-se como marco regulatório sobre a gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010; BESEN *et al.*, 2014; CHAVES *et al.*, 2014). No entanto, as diretrizes estabelecidas pela legislação nem sempre são executadas pela gestão pública, ocasionando uma série de problemas relacionados à gestão de RSU. O gerenciamento de resíduos sólidos é complexo visto que, às ações tomadas devem ser planejadas para atender à Política Nacional de Resíduos Sólidos, seguindo a hierarquia, observadas de forma direta ou indireta nas etapas de coleta, transporte, transbordo, reciclagem, tratamento, destinação e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. (BRASIL, 2010).

A partir da problemática apresentada acima, a finalidade desta pesquisa, visando a melhoria da gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil, é responder as seguintes questões: Qual é a situação atual do GRSU no Brasil? O que pode ser melhorado daqui por diante, tomando como exemplo países que possuem um sistema de gestão de resíduos eficiente?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um panorama do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (GRSU) do Brasil, propondo melhorias ao processo baseado em uma análise exploratória.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Comparar os dados de geração e coleta dos RSU ao longo dos anos no Brasil;
- b) Analisar a evolução da coleta seletiva no território brasileiro;
- c) Expor as principais formas de disposição final dos RSU utilizadas no Brasil;
- d) Propor melhorias ao sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos brasileiro baseado na experiência de outros países.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gerenciamento de RSU

Para controlar os impactos negativos e encontrar formas de reutilização dos seus resíduos as cidades fazem uso de diferentes tecnologias, políticas e comportamentos. Essa junção de métodos constitui a gestão de resíduos, que pode ser dividida em seis elementos funcionais que apresentam as etapas de gerenciamento, englobando geração, tratamento, coleta, transporte, processamento e transformação e disposição final. Todo o processo deve estar em conformidade com a legislação existente, com os aspectos sociais de proteção ao meio ambiente e à saúde pública e aos recursos financeiros disponíveis (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002).

Um processo democrático e público de definição de metas de sistemas de GRSU é essencial para atender as reais necessidades dos cidadãos e, por consequência, ser capaz de priorizar de forma justa os recursos municipais limitados. Fraquezas políticas são algumas das causas críticas dos sistemas falharem em muitos países subdesenvolvidos (KONTEH, 2009). A participação do público, a transparência das decisões, o trabalho em rede, a cooperação e a ação coletiva, a comunicação e a acessibilidade da informação são elementos essenciais para o sucesso dos programas de gestão de resíduos (CARABIAS *et al.*, 1999; ZARATE *et al.*, 2008).

A gestão de resíduos é uma tarefa complexa que exige soluções técnicas adequadas, capacidade organizacional satisfatória e cooperação entre uma vasta gama de interessados (ZARATE *et al.*, 2008).

A diversidade de cidades ocasiona a geração de diferentes composições de resíduos, alertando para a necessidade de um contexto particular de gestão de resíduos, de acordo com cada região. Muitas tentativas de introduzir soluções de resíduos de países industrializados para países menos industrializados fracassaram, porque os estudos mostram que os sistemas de gestão de resíduos do mundo em desenvolvimento foram cópias incompletas de um sistema ideal que opera em países desenvolvidos (UN-HABITAT, 2010). As cidades estão admitindo a necessidade de adaptação, de soluções sustentáveis de gestão de resíduos que consideram o contexto local como um ponto de partida, não de uma tecnologia importada que porventura venha a não dar certo.

Análogo à hierarquia de resíduos sugerida pela Comissão Europeia (Directiva 2008/98/CE), a PNRS considera primordial a gestão de resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição ambientalmente adequada. Via de regra, a

aplicação dessa hierarquia de gestão oferece a melhor opção ambiental global (ANGELO *et al.*, 2017).

Abordar as preocupações com saúde, meio ambiente, estética, uso do solo e recursos econômicos associados à eliminação inadequada de resíduos são os fundamentos das estratégias adotadas pela gestão de RSU (HENRY *et al.*, 2006; NEMEROW, 2009; WILSON, 2007). Essas questões refletem numa preocupação constante para as nações, municípios, corporações e indivíduos em todo o mundo (NEMEROW, 2009), e a comunidade em geral (WILSON, 2007).

O Brasil está passando por um processo de mudanças na gestão de resíduos sólidos, assim como verificou-se na Europa. Nas cidades que lideram as iniciativas e a inovação no GRSU no país, como as cidades de São Paulo, Belo Horizonte e Curitiba, por exemplo, os reflexos dessas mudanças já começam a ser percebidos pela população.

Tendo em vista o exposto acima, pode-se afirmar que a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos são tarefas vastas e complexas, refletindo na dificuldade da maioria dos municípios, em virtude principalmente da falta de autonomia, recursos e conhecimento técnico sobre o assunto.

2.1.1 Geração, coleta e transporte dos RSU

A carência de um sistema de coleta de dados compreensivos e padronizados sobre quantidades e composição de resíduos sólidos é um dos fatores que restringe o desenvolvimento de sistemas efetivos de gerenciamento de resíduos sólidos tanto no Brasil como em alguns países desenvolvidos (REICHERT, 2013).

A heterogeneidade encontrada entre os resíduos sólidos urbanos é vasta. As características quali-quantitativas dos resíduos variam de acordo com as características da cidade e com as mudanças climáticas e sazonais. Mudanças na política econômica do país, e no nível de renda da sua população, são justificativas para variação na massa de resíduos de determinada comunidade. Variam também devido a alterações que ocorrem na população que os produz, ou seja, os resíduos divergem de composição em razão dos hábitos e padrões de vida dos indivíduos (REICHERT, 2013).

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos é outro ponto essencial. Os componentes habitualmente discriminados na composição gravimétrica, no caso dos resíduos de origem domiciliar e comercial, comumente dispostos em aterros sanitários, são: matéria orgânica putrescível, metais ferrosos, metais não-ferrosos, papel, papelão, plásticos rígidos, plásticos filme, vidro, trapos, borracha, couro, madeira e rejeito, entre outros. Na literatura são

apresentados diferentes métodos para realizar o estudo de composição gravimétrica dos resíduos urbanos, a maioria baseada no quarteamento da amostra, como em D’Almeida e Vilhena (2000), Pessin et al. (2002), Cintra et al. (2003) e Costa et al. (2003).

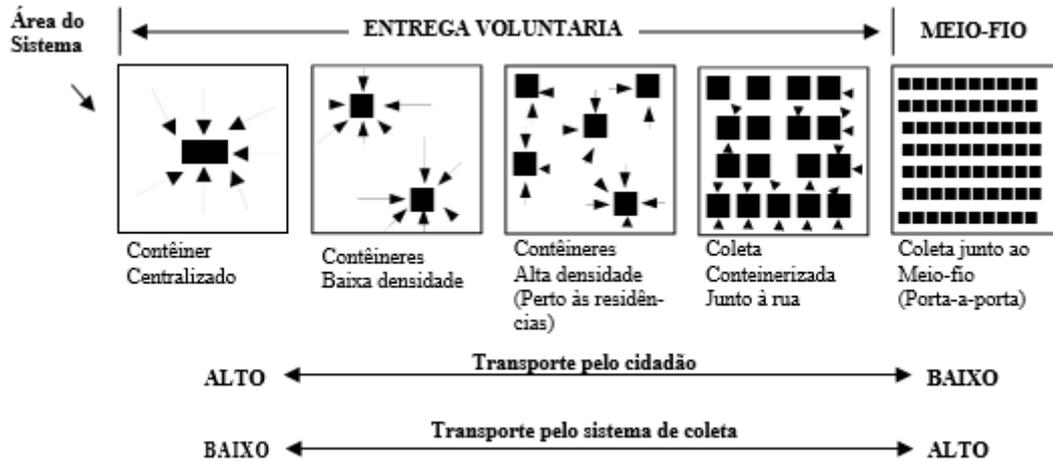
A coleta dos resíduos urbanos deve ser o foco de um sistema de GRSU. A forma como os resíduos são separados e coletados define quais as opções de tratamento poderão ser utilizadas na sequência, e, de modo particular se métodos como reciclagem de materiais, tratamento biológico ou tratamento térmico serão econômico e ambientalmente viáveis. A segregação na origem e a forma de coleta determinam se aquele resíduo terá ou não mercado para a reciclagem. Papel contaminado com resíduo oleoso, por exemplo, não terá mais mercado; assim como matéria orgânica contaminada com metais pesados ou com restos de medicamentos, também não servirá mais para compostagem, pois resultará em um produto (composto) contaminado (REICHERT, 2013).

A etapa de coleta também é o ponto de contato entre os geradores de resíduos (neste caso as residências e os estabelecimentos comerciais) e os gestores do sistema de gerenciamento (a municipalidade), e conforme afirmam McDougall *et al.* (2001) esta relação deve ser conduzida com muito cuidado visando assegurar a eficiência do sistema. O gerador precisa que seu resíduo sólido seja coletado com um mínimo de inconveniência, ao passo que o coletor necessita receber o resíduo de forma compatível com a forma de tratamento planejado.

O estudo de Zaneti (2006) salienta que os dois principais motivos que levam as pessoas a aderir à coleta seletiva são as campanhas publicitárias/imprensa e o trabalho de educação ambiental realizado pelo órgão gestor dos resíduos no município, ressaltando a importância da mobilização e motivação constantes para atingir o sucesso na separação e recuperação de resíduos urbanos.

Reichert (2013) descreve que os métodos de coleta são comumente divididos em “entrega voluntária” e “porta-a-porta (junto ao meio-fio)”. Os sistemas de entrega voluntária são aqueles no qual o gerador leva os seus resíduos para um ou mais pontos de coleta pré-estabelecidos. No Brasil estes pontos são conhecidos como PEVs – pontos de entrega voluntária, sendo mais utilizados para a coleta de resíduos recicláveis. Sistemas chamados de porta-a-porta ou de coleta junto ao meio-fio são aqueles em que o gerador prepara os resíduos para coleta em pequenos contêineres ou apenas embalado em sacos plásticos em frente a residência, literalmente junto ao meio-fio da rua. Na prática estes dois sistemas são as extremidades de uma série de métodos de coleta, dos quais o que muda é a distância que o gerador deverá transportar seus resíduos até o ponto de coleta, conforme apresentado na figura abaixo.

Figura 1 – O espectro de métodos de coleta de “PEVs” a “coleta no meio-fio ou porta-a-porta” (Comprimento das setas indica as distâncias a percorrer pelos cidadãos até os pontos de coleta)



(Fonte: Adaptado de McDougall *et al.*, 2001).

Um fator que deve ser considerado nos sistemas de coleta nas cidades brasileiras é a coleta informal, ou seja, aquela realizada por catadores autônomos. A coleta informal presente na realidade brasileira é caracterizada pela coleta de materiais seletivos realizada por carrinheiros e carroceiros, que vendem os materiais coletados para intermediários. A coleta informal também está presente nos resíduos domiciliares comuns. Em ambos os casos os catadores circulam antes do caminhão coletor oficial, levando os resíduos que mais os interessam. Notoriamente um problema de ordem social e ambiental, uma vez que essa é a fonte de renda para quem está excluído do mercado de trabalho oficial, e que na maioria das vezes a triagem dos resíduos é feita na via pública, ou em locais não apropriados e sem a correta destinação dos rejeitos (REICHERT, 2013).

A manipulação diferenciada dos resíduos é a base do conceito de coleta seletiva e se aplica, além da típica coleta seletiva de papel, plástico, vidros e metais, a todos os resíduos, reconhecidos como bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e de renda (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011). No Brasil, a coleta seletiva vem sendo implantada pouco a pouco desde meados da década de 80, quando teve início em caráter experimental em algumas cidades brasileiras (BARROS, 2012).

A participação e a conscientização ambiental da comunidade são fundamentais para que o sistema de coleta seletiva funcione de forma efetiva. Bringhenti e Gunther (2011) estudaram a participação social em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos e concluíram

que alguns fatores dificultam a participação na coleta seletiva, tais como a falta de divulgação dos resultados da coleta, a acomodação e o desprezo da população, o descrédito relativo às ações oriundas do poder público e a falta de espaço nas residências para armazenar os resíduos recicláveis.

2.1.2 Reciclagem

A reciclagem é uma técnica de transformação dos resíduos sólidos que engloba a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vista à conversão em insumos ou de novos produtos (BRASIL, 2010).

Segundo Barros (2012), a reciclagem apresenta como benefícios:

- Diminuição da exploração de recursos naturais;
- Aproveitamento energético;
- Redução da poluição do solo, água e ar;
- Melhora a limpeza das cidades e qualidade de vida da população;
- Prolongamento da vida útil dos aterros sanitários;
- Melhora e facilita a segregação dos resíduos;
- Geração de empregos;
- Geração de receita;
- Estimulo a concorrência;
- Contribui para a valorização da limpeza pública e para a formação consciência ambiental.

Os benefícios ambientais da reciclagem influenciam principalmente na economia dos recursos naturais e energia (CHRISTENSEN *et al.*, 2009), embora esses benefícios possam variar de um local para outro. A reciclagem exige um suprimento (coleta e triagem) e um pedido (um mercado para o produto reciclado). Há cada vez mais um mercado globalizado dos materiais recicláveis, porém a cadeia de formalidade de reciclagem varia em todo o mundo (VERGANA; TCHOBANOGLIOUS, 2012).

Existem dois eixos que conduzem a viabilidade da reciclagem de resíduos: o seu valor de mercadoria e seu valor de serviço. O valor de mercadoria deriva de seu valor econômico, que considera todas as atividades de reciclagem privadas, juntamente com a reciclagem não regulamentada prevalente em países menos industrializados. O valor do serviço é a economia

para o sistema de gestão de resíduos, que divide os serviços com o setor de reciclagem, sendo que este valor de desvio, simultaneamente com a preocupação com o meio ambiente, dirige programas de reciclagem municipais comuns em nações industrializadas (UN-HABITAT, 2010).

A reciclagem pode ser realizada pelo setor formal e pelo setor informal. O setor formal é composto por trabalhadores com vínculo empregatício, enquanto que o setor informal da gestão de resíduos é constituído por pessoas que separam, coletam e revendem os materiais recicláveis: o trabalho comumente é intensivo, de pequena escala, baixa tecnologia, e não é regulamentado ou registrado (WILSON *et al.*, 2006).

A reciclagem é uma atividade que abrange diferentes atores, cada qual com funções específicas em uma cadeia produtiva. O Quadro 1 expõe a organização destes atores e os processos de intermediação comercial entre a recuperação dos recicláveis (coleta/catadores) e a indústria recicladora (reciclagem).

Quadro 1 – Cadeia Produtiva da Reciclagem

<p>Nível 1 Catadores Autônomos</p>	<p>A economia é informal, caracterizada pela exploração da mão-de-obra de catadores autônomos, em sua maioria, pessoas desempregadas, com baixo grau de instrução e elevada faixa etária. Esses coletam nas ruas, utilizando carrinhos ou carroças, e vendem os materiais para sucateiros, por preços muito baixos. Atuam em condições de trabalho e saúde precárias, auferindo a menor parte dos lucros gerados na cadeia.</p>
<p>Nível 1 a. Cooperativas e Centrais de Triagem</p>	<p>Setor formal da economia estabelece parcerias no contexto de programas municipais de coleta seletiva, mas também atuam de forma independente. Não são remuneradas pelos serviços prestados à limpeza urbana, sua renda é obtida, exclusivamente, da venda dos recicláveis coletados. Comercializam com atravessadores, intermediários e grandes sucateiros (Níveis 2 e 3) e, em alguns casos, diretamente com indústrias recicladoras (Nível 4).</p>
<p>Nível 2 Pequenos e médios sucateiros</p>	<p>Os pequenos sucateiros, em geral, trabalham na informalidade e na ilegalidade. Sua atuação é marcada pela exploração dos catadores avulsos, que deles dependem para a comercialização dos materiais coletados. Utilizam veículos precários e mão-de-obra</p>

	informal, não respeitam condições mínimas de saúde, segurança do trabalho e adequação ambiental. Os intermediários, em geral, são legalizados e adquirem o material reciclável das organizações de catadores por preços melhores do que os sucateiros. Possuem capacidade de estocagem e de beneficiamento de alguns tipos de materiais, além de trabalhadores cooperados ou registrados com condições de trabalho adequadas em termos ambientais e de segurança do trabalho.
Nível 3 Grandes sucateiros	Estes adquirem os recicláveis de intermediários e sucateiros, exigindo escala de produção. Comercializam diretamente com as indústrias de reciclagem e vêm ampliando gradativamente a compra de materiais coletados pelas cooperativas de catadores.
Nível 4 Indústria da Reciclagem	Estas organizações, em sua maioria, integram a economia formal. Em geral, incorporaram o discurso do desenvolvimento sustentável e realizam práticas de Responsabilidade Social Empresarial. Apoiam as organizações de catadores e estabelecem parcerias que possibilitam o aumento da quantidade de material reciclável coletado e sua aquisição por preços melhores que os de mercado.

Fonte: Adaptado de Butcher (2007).

Existe no Brasil, há mais de meio século, um mercado regular de coleta de material reciclável. Na época atual três setores industriais – alumínio, papel, plástico – possuem considerável participação nas atividades de reciclagem no país. As recuperações destes materiais ocorrem basicamente através de catadores, além de 19 fábricas e da coleta seletiva executada em diversos municípios, movimentando por ano um mercado de algumas centenas de milhões de reais (ABRELPE, 2014).

Segundo a ABRALATAS - Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (2020) o Brasil é o maior reciclador mundial de latas de alumínio desde 2001. No ano de 2016 o índice brasileiro foi de 97,7% de reciclagem, superior ao Japão (76,1%), Europa (74%) e EUA (63,9%). Em 2018, das 330,3 mil toneladas de latas que foram comercializadas, 319,9 mil toneladas foram recicladas. Em relação a 2017, o consumo de latas de alumínio de bebidas em 2018 cresceu 8,7% e esse aumento foi seguido pela reciclagem, que avançou 8,1%. Atualmente,

em aproximadamente 60 dias, uma latinha de alumínio para bebidas pode ser comprada, utilizada, coletada, reciclada, envasada e voltar às prateleiras para o consumo (ABAL, 2020).

Na área social, além de estimular maior consciência da sociedade sobre a importância da reciclagem e da conservação dos recursos naturais a atividade tem reflexo na geração de renda para os catadores de materiais recicláveis. Somente na etapa da coleta da latinha, R\$ 1,6 milhões foram injetados diretamente na economia brasileira em 2018, correspondente a 1,8 milhão de salários mínimos (ABAL, 2020).

2.1.3 Tratamento biológico

Os processos biológicos, que fazem uso de microrganismos naturalmente existentes para decompor a fração biodegradável dos resíduos, podem ser classificados em dois processos distintos – aeróbio e anaeróbio – e, por conta disso, dois tipos principais de tratamentos existem: compostagem (aeróbia) e digestão (anaeróbia). Microrganismos aeróbios requerem oxigênio molecular como aceptores externos de elétrons no metabolismo da respiração, o que resulta em uma rápida taxa de crescimento bacteriano e alta produção de massa celular. Já o metabolismo anaeróbio ocorre na ausência de oxigênio e não envolvem um acceptor externo de elétrons, sendo menos efetivo que os processos aeróbios e resultam em menores taxas de crescimento bacteriano e menor produção de novas células (McDougall *et al.*, 2001).

2.1.3.1 Compostagem

A compostagem é praticada desde os tempos remotos: gregos, romanos e povos orientais já sabiam que resíduos orgânicos facilmente biodegradáveis podiam ser retornados ao solo, e que isso iria contribuir para a sua fertilidade. Porém, só a partir de 1920 o processo passou a ser pesquisado cientificamente e aplicado de forma racional (REIS, 2005). Hoje, essa tecnologia já pode ser utilizada em escala industrial, graças aos avanços dos trabalhos científicos que lançaram base para a evolução e estudo da técnica.

A compostagem pode ser definida como a biooxidação exotérmica aeróbica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (FERNANDES *et al.*, 1993).

O processo de compostagem pressupõe duas etapas distintas para o seu desenvolvimento: a primeira de biodegradação do resíduo orgânico e a segunda de maturação,

cura ou humificação do composto (DIAZ, 1999; JAHNEL, 1999). Para que haja o pleno desenvolvimento das fases da compostagem, é necessário que se faça o controle de alguns fatores, tais como temperatura, taxa de oxigenação, concentração de nutrientes, teor de umidade, pH, homogeneização e tamanho da partícula (DALTRO FILHO; CARVALHO, 1999; CASALI, 2011). As informações sobre as propriedades biológicas e bioquímicas, compreendendo a atividade enzimática também são importantes para o processo (GODDEN *et al.*, 1983; GARCIA *et al.*, 1992; VUORINEN, 2000, MONDINI *et al.*, 2004).

Os meios convencionais de compostagem podem ser divididos em: leiras revolvidas ou sistema *windrow*, leiras estáticas aeradas ou *static piles* e sistema fechado ou acelerado. Para determinar qual tecnologia será utilizada, é necessário avaliar os critérios técnicos e econômicos (LIMA, 2015).

A eficiência no sistema de compostagem não depende somente da utilização de tecnologia sofisticada. É essencial que se tenha um controle da qualidade dos resíduos que serão processados e que o processo seja monitorado, como forma de garantir a produção ambientalmente correta de um composto orgânico (REIS, 2005).

O principal impacto ambiental relacionado à compostagem é a possível ocorrência de maus odores e escoamento do chorume. Porém, a adoção de cuidados e monitoramento dos fatores envolvidos, permite reduzir ou até mesmo evitar tais impactos (LIMA, 2015).

2.1.3.2 Digestão anaeróbia

Segundo Lay *et al.* (1998), a digestão anaeróbia (DA) de resíduos sólidos orgânicos, principalmente da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos, é de grande relevância no manejo de resíduos sólidos. Têm sido desenvolvidos vários tipos de reatores para o tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, incluindo reatores em batelada e reatores contínuos.

A biodegradação anaeróbia da matéria orgânica acontece na ausência do oxigênio e na presença de microrganismos anaeróbios. Como consequência tem-se a estabilização da matéria orgânica, e como produtos o biogás (principalmente o metano e o gás carbônico) e o húmus (De Baere, 2003). Os principais parâmetros que influenciam no processo são a taxa de alimentação, pH, temperatura, relação C/N, tempo de permanência dos resíduos no reator e forma de mistura no interior do reator. A digestão anaeróbia também é chamada de biodegradação anaeróbia, fermentação anaeróbia ou biogásificação.

Os biodigestores são equipamentos que favorecem processos anaeróbicos de degradação da matéria orgânica, ou seja, degradação na ausência de oxigênio. O maior diferencial desta tecnologia de tratamento dos resíduos orgânicos é que o gás metano gerado poder ser aproveitado tanto para geração de calor, quanto para energia elétrica ou como combustível em automóveis ou outros motores adaptados. Por outro lado, esta técnica é mais complexa do que a compostagem, necessitando de infraestrutura adequada para a produção e condução do gás metano e de conhecimento técnico especializado para operar o biodigestor de forma segura. Também é empregado na extração de biogás de resíduos da coleta indiferenciada (orgânicos misturados com rejeitos) em unidades de tratamento mecânico-biológico (TMB) (MMA, 2017).

Para Klein (1972), a DA empregada nos resíduos sólidos apresenta baixa formação de biomassa, conversão da matéria orgânica sem poluição do ar, produção de material estabilizado, produção de metano e baixos requerimentos nutricionais. A notável vantagem da tecnologia da digestão anaeróbia é, acima de tudo, constituir-se um sistema produtor de energia.

O processo de DA tornou-se uma tecnologia amplamente aplicada em todo o mundo (COELHO *et al.*, 2015). Na Europa são tratados mais de 5 milhões de toneladas de resíduos orgânicos por ano através do processo anaeróbio (KARAGIANNIDIS, 2012). O destaque para uso desse processo está na Índia e na China. Na Índia, estima-se que o número de biodigestores, de pequeno e de médio porte, instalados nas residências, em 2013, correspondia a 4.683.000 de unidades. A China tem um potencial para instalar cerca de 200 milhões de plantas de biodigestão para produção de biogás, de diversos portes e operando com diferentes substratos (resíduos agropecuários, resíduos de saneamento, etc.) (HERBERT; KRISHNAN, 2016).

Nos últimos 30 anos, houve uma evolução significativa de publicações científicas sobre esse tema, as quais contribuíram para o desenvolvimento de modelos matemáticos capazes de calcular a produção de metano dentro de margens de erros conhecidas (LIMA, 2016).

2.1.4 Incineração

Quando iniciou-se o uso da técnica de incineração, processava-se todo e qualquer tipo de resíduo, tanto orgânico como inorgânico, lixo industrial, hospitalar e urbano. Para Menezes *et al.* (2000), a evolução do método de incineração aconteceu em quatro gerações. Na primeira geração (1950-1965), os incineradores eram construídos apenas com a finalidade de realizar o tratamento dos resíduos para que houvesse a redução de volume e massa, não havendo qualquer tipo de tratamento de limpeza dos gases residuais gerados, sendo que os mesmos eram lançados diretamente na atmosfera. Na segunda geração (1965-1975), começam a aparecer os primeiros

mecanismos de proteção ambiental, exigindo a utilização de equipamentos redutores de poluentes. Surgiram unidades de grande capacidade, uma conveniência no uso da energia da recuperação dos gases de exaustão e câmaras de incineração duplas, para aumentar a eficiência da queima.

Na terceira geração (1975-1990), houve o estabelecimento de normas de proteção ambiental e um avanço tecnológico, permitindo uma elevação da eficiência. Começam a surgir e serem introduzidos lavadores de gases para reduzir as emissões de gases ácidos. Na quarta geração (1990-dias atuais), ocorre a inserção de novas tecnologias de limpeza e de remoção de poluentes, como dioxinas e furanos dos gases de combustão, com o foco de atingir emissões de níveis próximos de zero. Além disso, houve um aumento no movimento em prol da preservação da natureza, sendo desenvolvidas novas tecnologias e conceitos para a disposição de resíduos finais inertes, que sejam capazes de ser facilmente absorvidos pelo meio ambiente e/ou reciclados (MENEZES *et al.*, 2000).

Segundo McDougall *et al.* (2001) a queima (incineração) de resíduos sólidos pode atender alguns objetivos distintos, sendo eles:

- Redução de volume/massa – de acordo com a composição dos resíduos o volume pode ser reduzido em até 90 %, ao passo que a diminuição da massa varia de 70 a 75 %. Esta redução pode implicar em ganhos econômicos e ambientais;
- Estabilização dos resíduos – o material que sai do incinerador (cinzas) é considerado muito mais inerte que o material que entra, o que diminui a geração de biogás e dos materiais orgânicos presentes no lixiviados quando este material é depositado em aterros sanitários;
- Recuperação de energia dos resíduos – configura um método de valoração, antes de um pré-tratamento. Todas as modernas plantas de incineração de RSU existentes, nos dias atuais, têm sistemas acoplados de geração de energia, sendo autossuficientes energeticamente e ainda tem a possibilidade de exportar energia (elétrica ou vapor) para fora da planta;
- Esterilização dos resíduos – é o primeiro objetivo no tratamento de resíduos sólidos de serviços de saúde, para a destruição de infectocontagiosos e patogênicos.

Vários países desenvolvidos adotaram a incineração como opção de destino final de seus resíduos por falta de áreas para tal finalidade, obtendo resultados positivos, reduzindo o volume dos resíduos e evitando riscos ao meio ambiente. Para Fritsch (2000), a incineração

empregada pelos países de Primeiro Mundo é realizada com sucesso e com baixo risco ao meio ambiente, contudo destaca que o tratamento bem-sucedido deve-se ao bom conhecimento técnico dos profissionais envolvidos.

Principalmente nos países da Europa e outros que têm poucas áreas disponíveis, como Dinamarca e Japão, a incineração dos resíduos sólidos urbanos com aproveitamento energético, seja para a geração de energia elétrica como para a geração de vapor, é uma preferência que tem sido empregada para resolver os problemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos (GRIPP, 1998).

Até 2009, tinham sido instaladas 44.919 unidades de incineração em vinte países da Europa Ocidental e Central (não incluindo as instalações de incineração de resíduos perigosos). Dinamarca, França, Alemanha, Holanda, Suécia e Suíça têm as maiores capacidades de incineração instaladas em percentual do total gerado de resíduos sólidos urbanos. O governo de vários países europeus incentiva o uso de diferentes formas de financiamento, para a aquisição de novas infraestruturas de resíduos, de modo a atender as diferentes necessidades das autoridades locais (DEFRA, 2013).

2.1.5 Aterro sanitário

O aterro sanitário, mais do que um local de disposição final dos resíduos, também pode ser classificado como uma tecnologia de tratamento de resíduos devido a ocorrência de um conjunto de processos físicos, químicos e microbiológicos, no formato de um reator anaeróbio, que tem como resultado uma massa de resíduos, química e biologicamente, mais estável que a inicial (RECESA, 2010).

De acordo com a norma NBR 8419, aterro sanitário é uma:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores se for necessário (ABNT, 1992).

Independente do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos que for implantado em um município ou uma região, mesmo que faça uso das mais modernas formas de tratamento e de reciclagem dos resíduos, inclusive a incineração, um aterro sanitário sempre estará presente. Isto porque, há resíduos, os rejeitos, que não podem ser reciclados, ou por falta de tecnologia

ou por falta de mercado, e mesmo que estes rejeitos sejam incinerados, as cinzas devem ser dispostas em algum lugar – no aterro sanitário (REICHERT, 2013).

Em um aterro sanitário, vários elementos devem ser projetados e planejados com base em critérios de engenharia, tais como sistema de impermeabilização de base, sistema de drenagem de águas superficiais, drenagem de líquidos e gases gerados na decomposição da massa de resíduos, sistema de cobertura dos resíduos, unidades de tratamento de lixiviados entre outros. A concepção de cada um desses elementos depende do tipo de aterro, das características dos resíduos, do terreno, etc. Esses sistemas visam garantir a segurança do aterro, o controle de efluentes líquidos, a redução das emissões gasosas, bem como a redução de riscos à saúde da população, garantindo assim o correto recebimento e tratamento dos resíduos, com menor impacto ambiental e proteção da saúde pública (PAIVA, 2016).

O foco da instalação de um aterro sanitário é a disposição a longo prazo de forma segura dos resíduos, mas também pode ser utilizado para a recuperação de áreas degradadas por atividades de mineração, além de produzir um subproduto valorável, o gás metano.

Os aterros sanitários evoluíram com o avanço da tecnologia e podem ser considerados digestores anaeróbios (sistema físico, químico e biológico), em que a biodegradação dos resíduos possui como meta além da redução do volume aterrado, a otimização de áreas e redução custos operacionais, e o aproveitamento energético do biogás. O aterro sanitário com geração de energia é aquele que aproveita o sistema de drenagem dos gases gerados nos processos de decomposição anaeróbia dos resíduos e os envia, por meio de tubos coletores, para uma unidade de geração de energia. Este ganho de eficiência na produção de metano deverá ser previsto pelas condições de projeto e operação, pela composição dos resíduos, pela composição microbiológica dos nutrientes presentes na massa de resíduos, e ainda, pela densidade e umidade de sua disposição (JUCÁ, 2014).

Segundo Jucá *et al.* (2014) essa tecnologia apresenta como principais vantagens:

- Possibilidade de se utilizar áreas já degradadas por outras atividades (ex: área utilizada como pedreira);
- Possibilidade de receber e acomodar rapidamente quantidades variáveis de resíduos, sendo bastante flexível;
- Recebimento de resíduos de diversas naturezas (classe IIA e IIB);
- Adaptável a comunidades grandes ou pequenas;
- Menores custos de investimento e operação que outras tecnologias;

- Utilização de equipamentos e máquinas usadas em serviços de terraplanagem;
- Simples operacionalização, não requerendo pessoal altamente especializado;
- Possibilidade de aproveitamento energético do biogás;
- Não causa danos ao meio ambiente se corretamente projetado e executado.

E, como desvantagens:

- Necessidade de grandes áreas para aterro, muitas vezes, longe da área urbana, acarretando despesas adicionais com transporte;
- Possibilidade de desenvolvimento de maus odores;
- Possibilidade de deslocamento de poeiras;
- Alteração da estética da paisagem;
- Diminuição do valor comercial da terra;
- Interferência da meteorologia na produção de lixiviados que requisitam tratamento adequado;
- Período pós-fechamento relativamente longo para a estabilização do aterro, incluindo efluentes líquidos e gasosos;
- Controle dos riscos de impactos ambientais de longo prazo.

2.2 Experiências Internacionais na Gestão de Resíduos Sólidos - Políticas Públicas e Tecnologias

Escolheu-se a análise de uma parcela dos países desenvolvidos com o intuito de apresentar experiências bem-sucedidas, porém, verificam-se diferenças tanto nas políticas quanto nas tecnologias aplicadas. Em diversos pontos das políticas ambientais brasileiras há uma cópia idêntica de leis internacionais, contudo, não basta apenas transferir políticas públicas e tecnologias internacionais para ter o mesmo desempenho de países desenvolvidos na questão dos Resíduos Sólidos. No Brasil existem problemas bem mais complexos como corrupção, falta de integração nas políticas, fiscalização ineficiente, mão de obra desqualificada e outros. Para problemas estruturais, é necessário que haja mudanças sérias e permanentes, não apenas a importação de políticas e técnicas bem-sucedidas.

De acordo com dados do *Statistical Office of the European Union - Eurostat*, no ano de 2012, foram produzidas em torno de 248 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos nos

28 estados membros da União Europeia, equivalente a 680 mil toneladas diárias (EUROSTAT, 2014a).

Em 23 dos estados da União Europeia, a geração per capita de resíduos sólidos urbanos aumentou entre os anos de 1995 e 2009 (EUROSTAT, 2011). Em Malta, Grécia e Dinamarca foram observados crescimentos anuais, de mais de 3,0%, na geração de resíduos nesse período (EUROSTAT, 2011). Todavia, a partir do ano de 2008, a geração per capita média vem reduzindo entre estados da União Europeia. A média anual de resíduos gerados por pessoa era de 520 kg (1,42 kg/hab.dia) em 2008, enquanto que, em 2012, esse valor passou a 492 kg (1,35 kg/hab.dia) (EUROSTAT, 2014a).

Como formas de tratamento e destino final dos resíduos sólidos urbanos na União Europeia, no ano de 2012, registrou-se que 27% dos resíduos eram reciclados, 15% compostados, 24% incinerados e 34% destinados para aterros sanitários (EUROSTAT, 2014b).

Com o progresso da gestão de resíduos sólidos, entre os países integrantes da União Europeia, percebe-se uma tendência de diminuição de destinação de resíduos sólidos urbanos para aterros sanitários, que, entre os anos de 1995 e 2012, foi de 42% em peso (EUROSTAT, 2014a). O montante de resíduos encaminhados para incineração, nesse período, teve comportamento oposto, apresentando aumento de 80% (EUROSTAT, 2014a). A reciclagem e os tratamentos biológicos (compostagem e digestão anaeróbia) tiveram crescimento bastante expressivo, respectivamente 162 e 149% em relação ao peso de resíduos encaminhados para cada um (EUROSTAT, 2014a).

A União Europeia tem como principal característica a adoção de políticas conjuntas para todos os estados membros, isto é, o que for decidido pela Comunidade Europeia deve ser seguido por todos os membros. Na gestão dos Resíduos Sólidos, a UE baseia-se em Diretivas e através deste instrumento, os países têm prazos e metas a cumprir, no entanto, cada um estipula a forma como vai internalizar a Diretiva na sua política e como irá cumpri-la (MENDEZ, 2017). O Quadro 2 apresenta um resumo das principais legislações Europeias relacionadas aos resíduos sólidos.

Quadro 2 – Legislação Europeia da Gestão de Resíduos

Estratégias Comunitárias de Resíduos						
Legislação sobre a Estrutura						
Diretiva da Estrutura dos Resíduos 2008/98/EC Substituindo 75/442/EEC e 31/156/EEC			Regulamento sobre o transporte de resíduos 103/2006/EC			
Tratamento de Resíduos						
Incineração dos Resíduos 2000/76/EC		Reciclagem para Fluxos Específicos de Resíduos			Aterro de Resíduos 1999/31/EC	
Diretiva da Estrutura dos Resíduos 2008/98/EC	Óleos Residuais 75/439/EC	Lodo de Esgoto 75/439/EC	Baterias 2006/66/EC	Embalagens 2004/12/EC	Veículo em fim de vida 2000/53/EC	REE 2002/96/EC

Fonte: Adaptado de ISWA (2014).

Além da legislação, instrumentos econômicos também demonstram importantes mudanças na gestão de resíduos na Europa. Utilizado em alguns países, o princípio da causalidade atribui ao gerador responsabilidades pelos resíduos gerados. Um exemplo de aplicação desse princípio é a taxa cobrada por saco de lixo gerado.

São recolhidos sem cobrança de taxa adicional resíduos que podem ser tratados por compostagem ou digestão anaeróbia como plástico politereftalato de etileno (PET), vidros, papéis e metais, além de vegetais crus. Tais materiais podem ser dispostos em containers localizados em espaços públicos ou entregues em estabelecimentos comerciais. Os outros resíduos a serem disponibilizados para coleta devem ser acondicionados em sacos plásticos específicos, pelos quais se paga uma taxa (MANNARINO, FERREIRA e GANDOLLA, 2016).

Na Suíça, por exemplo, cada saco de 35 L custa entre 2 e 3 Francos Suíços (SFr), aproximadamente entre 11,96 e 17,94 Reais (R\$) (taxa de conversão utilizada: 1 SFr = R\$ 5,98 em 13 de novembro de 2020). O valor elevado de cada saco de lixo incentiva à população a separar os resíduos recicláveis e tratáveis biologicamente, a fim de reduzir os gastos para o recolhimento dos resíduos gerados (MANNARINO, FERREIRA e GANDOLLA, 2016).

Outro mecanismo econômico importante é a taxa de eliminação antecipada ou contribuição antecipada para reciclagem, inclusa no preço que o consumidor paga por alguns produtos. Essa taxa é recolhida pelos comerciantes para contribuir no financiamento do sistema de coleta seletiva (MANNARINO, FERREIRA e GANDOLLA, 2016). Como exemplos dessa taxa, paga-se, na Suíça, 1,8 centavos de Francos Suíços, cerca de 11 centavos de Real, em cada

garrafa plástica; 0,85 centavos de Francos Suíços (5 centavos de Real) em cada lata de até 1,5 L; SFr 1,2 (R\$ 7,18) por lâmpada fluorescente; 0,60 centavos de Francos Suíços (R\$ 3,59) por garrafa de vidro; SFr 8,0 (R\$ 47,89) em cada impressora e 5,0 centavos de Francos Suíços (29 centavos de Real) em cada pilha AA (OFEV, 2013).

De acordo com o Instituto Federal do Meio Ambiente da Suíça – OFEV, no ano de 2012, a receita referente a taxa de eliminação antecipada para pilhas foi de SFr 14 milhões (R\$ 83.801.789,87), o que contribuiu para o recolhimento e reciclagem de 2.500 toneladas de pilhas (OFEV, 2013). É necessário ainda considerar que a redução da destinação final de resíduos para aterros sanitários também está ligada aos custos de execução dos dispositivos de controle ambiental e do monitoramento dos mesmos exigidos pela legislação local.

Nos aterros sanitários, existe a necessidade de tratamento do lixiviado e do biogás produzidos (variam de acordo com o clima), além do controle de acidentes, durante a sua operação, encerramento e pós-encerramento. Esses custos normalmente são maiores do que os de monitoramento e precisam ser previstos no planejamento de um aterro sanitário.

De acordo com a legislação europeia (UE, 1999), o monitoramento dessas áreas deve abranger ao menos os seguintes itens:

- Dados meteorológicos;
- Volume e composição do lixiviado;
- Volume e composição das águas superficiais;
- Emissões de gases e pressão atmosférica;
- Níveis e composição das águas subterrâneas;
- Estrutura e composição do aterro e
- Recalques do aterro.

Salienta-se que, na Suíça, existe uma obrigação legal de incineração de todos os resíduos que não possam passar por processos de valorização por reciclagem, abrangendo tratamentos biológicos da matéria orgânica (SUISSE, 1990). Nesse país, desde 2004, não são encaminhados resíduos sólidos urbanos para aterros sanitários, que recebem somente os rejeitos dos tratamentos dos resíduos (OFEV, 2011).

Com relação aos custos das unidades de incineração, é difícil definir valores que possam ser aplicados de forma universal, pois existem significativas variações entre custos do terreno, requisitos estruturais devido ao clima (temperaturas externas muito baixas, neve, etc.), custos

de materiais e equipamentos, valor de mão de obra, entre outros (MANNARINO, FERREIRA e GANDOLLA, 2016).

Apenas como referência, no ano de 2008, na Suíça, a operação dessas unidades custou em média SFr 40 (R\$ 239,31) por habitante. O custo de transporte dos resíduos até as unidades de incineração custou SFr 21 (R\$ 125,64) a cada habitante e a coleta seletiva mais a valorização dos materiais recicláveis e orgânicos, SFr 45 (R\$ 269,62) por habitante (OFEV, 2009). O montante cobrado para recebimento de resíduos nas unidades de incineração na Suíça, em fevereiro de 2014, variavam entre SFr 100 (R\$ 598,27) e SFr 200 (R\$ 1.196,55) por tonelada (ASED, 2014).

Com a entrada na Comunidade, Portugal recebeu contrapartidas de vários tipos e as condições de vida dos cidadãos melhoraram, porém para continuar recebendo compensações, o país deveria obedecer a critérios estabelecidos pela UE, entre os quais, os relativos à preservação ambiental. Foram promulgadas leis ambientais que tiveram impacto nas atividades econômicas, na administração pública e, de uma forma geral, na população. A gestão dos RSU em Portugal iniciou-se tardiamente, se considerarmos que os primeiros passos foram dados nos anos 80 (Decreto-Lei nº488/85, de 25 de Novembro) e o sistema nacional integrado foi organizado apenas a partir de 1996 (QUEIRÓS, 2001; PELARIGO, 2006). Na verdade, a configuração de uma política nacional de resíduos surgia já explícita na Resolução de Conselho de Ministros nº323/80, de 12 de Setembro, e na sequência desta decisão, divulgaram as primeiras estimativas da caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em Portugal. A informação das quantidades de resíduos gerados, a sua caracterização e destino final constituíram o ponto de partida (QUEIRÓS e GONÇALVES, 2006).

O sistema pode evoluir com a publicação do I Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU I) em 1997, o qual instituiu o princípio dos “3R”, as atribuições de responsabilidades, a estrutura de gestão dos RSU e foram traçadas metas e objetivos nacionais. Também criaram-se sistemas de gestão por fluxos. No âmbito do PERSU foram encerrados os lixões do país e inaugurados aterros sanitários. A maioria dos RSU hoje são armazenados nos aterros, ou incinerados, como acontece nos grandes centros urbanos de Lisboa e Porto. Esta situação é, no que tange a qualidade da saúde pública e ambiental, sem dúvida melhor, no entanto o princípio dos 3R não tem sido integralmente atingido através do sistema de gestão de RSU. Algumas razões exemplificam tal fracasso, tais como: o uso indiscriminado de aterros sanitários como solução à gestão dos resíduos que acaba gerando impactos significativos hidrogeomorfológicos e termina o seu ciclo de vida rapidamente; a solução fácil porém dispendiosa da incineração, que além dos impactos ambientais negativos associados, leva ao

desinteresse da sociedade pelo destino dos resíduos que produzem e traz problemas (por exemplo, o destino das cinzas) (CELERI e CORTEZ, 2017).

Desde então a legislação em Portugal tem se multiplicado e está sendo cada vez mais restritiva. Foram fundadas várias entidades de gestão ao nível territorial (sistemas multimunicipais e municipais) e entidades de gestão setorial, por fluxos de resíduo, contudo, a maioria delas não disponibilizam dados demonstrativos das suas atividades (CELERI e CORTEZ, 2017).

Afirma-se que o sucesso da implementação do sistema não depende somente de fatores monetários (SCHMIDT, 2007), visto que as soluções 3R ainda não tem a adesão massiva da população, nem das instituições comerciais. As embalagens reutilizáveis estão a ser substituídas pelas não reutilizáveis, porém, a lei portuguesa exige que os estabelecimentos comerciais ofereçam as duas opções aos consumidores, o que não se verifica na pratica em muitos casos. A política dos 3R está apresentando resultados lentos. Existem metas, meios, dinheiro disponível, mas não subsistem estratégias que cativa a população e as atividades econômicas a participar; muitos resíduos recicláveis ainda são aterrados ou incinerados, encurtando o tempo de duração das infraestruturas e encarecendo o sistema de gestão (CELERI e CORTEZ, 2017).

No âmbito do tratamento e disposição final, Portugal possui o aterro sanitário como tecnologia predominante no tratamento e destinação final dos RSU, correspondendo a cerca de 40% (WASTE ATLAS, 2020).

No caso dos Estados Unidos (EUA), existe uma ação ativa da Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency - EPA), que determina os padrões nacionais de gestão de resíduos sólidos, bem como de monitoramento e fiscalização a serem cumpridos pelos estados. Tal situação se aproxima do que aconteceu no Brasil depois a sanção da PNRS, que estabeleceu as diretrizes gerais deixando a cargos dos estados e municípios as regulações próprias e específicas (MENDEZ, 2017).

Verifica-se no Quadro 4 as principais legislações sobre resíduos sólidos nos EUA e no Quadro 5, de forma sumária, as formas de incentivo e arranjos institucionais.

Quadro 3 – Principais Legislações sobre Resíduos Sólidos nos EUA

Legislação	Objetivos
Lei de Resíduos Sólidos (Solid Waste Disposal Act) – 1965.	Define resíduo sólido e indica a existência de métodos ecologicamente racionais para a disposição dos resíduos doméstico, comercial e industrial.
Conservação e Recuperação de Recursos (Resource Conservation	Principal lei federal que rege a disposição de resíduos sólidos e de resíduos perigosos. Estabelece orientações para a gestão de resíduos

and Recovery Act – RCRA) – 1976.	sólidos não perigosos e dá autoridade a EPA para controlar todo o processo dos resíduos sólidos perigosos.
Emendas de resíduos sólidos e perigosos (Hazardous and Solid Waste Amendments – HSWA) – 1984.	Amplia o âmbito e os requisitos do RCRA. Exige da EPA o desenvolvimento de um programa abrangente para a regulamentação dos sistemas reservatórios subterrâneos para proteger a saúde humana e o meio ambiente. Estabelecem diretrizes e condições para a operação e o licenciamento da atividade de destinação de resíduos sólidos em Aterros Sanitários.

Fonte: adaptado de JUCA et al. (2014).

Quadro 4 – Arranjos institucionais, modelos de gestão e sistemas de incentivos nos EUA

	Arranjos Institucionais	Modelos de Gestão	Sistemas de Incentivo – atribuição da EPA
Lei de Conservação e Recuperação de Recursos (Resource Conservation and Recovery Act – RCRA) – 1976.	Delega para os estados a responsabilidade de regular o mercado de coleta de resíduos sólidos urbanos e de reciclagem.	Determina que a agência nacional (Agência de Proteção Ambiental – EPA) estabeleça as normas de gestão de resíduos sólidos, bem como as normas do monitoramento e da fiscalização dos estados sobre o cumprimento de tais normas.	<ul style="list-style-type: none"> - Emitir uma ordem administrativa e impor uma penalidade civil a qualquer pessoa que violar a RCRA e também exigir o cumprimento do regulamento. - Mover uma ação civil contra as pessoas que não cumprirem uma ordem emitida nos termos da Lei. - Multar em até 27,5 mil dólares por dia para cada violação. - Publicar informativo sobre as normas do RCRA.

Fonte: adaptado de JUCA et al. (2014).

A EPA começou a coletar e divulgar dados sobre a geração e disposição de resíduos nos Estados Unidos há mais de 50 anos. A Agência usa essas informações para caracterizar o fluxo nacional de resíduos e para medir o sucesso dos programas de gestão de materiais em todo o país. Esses fatos e números são atuais até o ano civil de 2018.

Nas últimas décadas, a geração e o gerenciamento de RSU mudaram substancialmente nos EUA. A geração de RSU aumentou (exceto em anos de recessão) de 88,1 milhões de toneladas em 1960 para 292,4 milhões de toneladas em 2018. A geração diminuiu 1% entre 2005 e 2010, seguido por um aumento de 7 por cento de 2010 a 2017. A geração aumentou de 268,7 milhões de toneladas em 2017 para 292,4 milhões de toneladas em 2018, principalmente devido a inclusão de caminhos adicionais de gestão de alimentos na metodologia utilizada (EPA, 2020).

A taxa de geração em 1960 era de apenas 1,22 quilos por pessoa por dia. Aumentou para 1,66 quilos por pessoa por dia em 1980. Em 2000, atingiu 2,15 quilos por pessoa por dia e depois diminuiu para 2,13 quilos por pessoa por dia em 2005. A taxa de geração em 2018 foi de 2,22 quilos por pessoa por dia, um aumento de 8% em relação a 2017. O aumento de 2017 a 2018 é resultado da inclusão de caminhos adicionais de gestão de desperdício de alimentos (EPA, 2020).

Percebe-se um aumento nas taxas de reciclagem e compostagem com o passar do tempo. De pouco mais de 6 por cento dos RSU gerado em 1960 para cerca de 10 por cento em 1980, 16 por cento em 1990, para cerca de 29 por cento em 2000 e para cerca de 35 por cento em 2017. Diminuiu para 32,1% em 2018 (EPA, 2020).

A quantidade de RSU incinerada com recuperação de energia aumentou de zero em 1960 para 14% em 1990 e em 2018, representou cerca de 12%. A deposição de resíduos em aterros diminuiu de 94% da quantidade gerada em 1960 para 50% da quantidade gerada em 2018 (EPA, 2020).

Em 2018, a quantidade de RSU gerados foi de 292,4 milhões de toneladas. A quantidade de RSU reciclado foi de 69,0 milhões de toneladas e a compostagem foi de 24,9 milhões de toneladas. Juntos, 93,9 milhões de toneladas de RSU foram reciclados e compostados, o equivalente a uma taxa de reciclagem e compostagem de 32,1%. Cerca de 17,7 milhões de toneladas de alimentos foram manejadas por outros métodos. A quantidade de RSU queimada com recuperação de energia foi de 34,6 milhões de toneladas, enquanto a quantidade de RSU enviada para aterros foi de 146,2 milhões de toneladas (EPA, 2020).

Nota-se que nos EUA o aterro sanitário ainda prevalece como forma de disposição final, porém muito se tem feito no quesito reciclagem e compostagem, na tentativa de reduzir ao máximo que sejam aterrados resíduos que ainda poderiam receber algum tipo de tratamento. Referente à disposição final inadequada, tal indicador já foi zerado pelo país.

Quanto ao Japão, observa-se uma gama diversificada de tecnologias adotadas e nota-se uma priorização pela aplicação intensiva da segregação, coleta seletiva e utilização de incineradores.

O Japão é tido como referência mundial na área tecnológica e ambiental, sendo também um dos líderes nas práticas de gestão e tecnologias empregadas no tratamento dos resíduos sólidos. A Lei de limpeza pública japonesa data de 1954 e tinha como propósito principal a proteção e melhoria da saúde pública através da eliminação dos resíduos e limpeza dos logradouros (MENDEZ, 2017).

No Japão certas características não permitem a ocupação de grandes áreas para aterros, como o elevado contingente populacional e o intensivo uso do solo. Tais fatores exigiram que fossem feitas escolhas criteriosas de tecnologias adequadas, tornando o Japão um dos países com os maiores índices de reciclagem e incineração do mundo, além de, a partir de 2002, instituir a Lei Fundamental do Ciclo de Vida dos Materiais (MENDEZ, 2017). O Quadro 5 apresenta um resumo sobre a legislação japonesa acerca da gestão de resíduos sólidos.

Quadro 5 – Principais Leis sobre gestão de resíduos sólidos no Japão

Legislação	Objeto
Lei para a utilização eficiente de recursos.	Compõe o quadro legislativo federal no Japão que rege a utilização adequada dos resíduos sólidos e prevê: a reciclagem de recursos reaproveitáveis; a aplicação de estruturas e materiais, etc. que facilitem a reciclagem; a indicação para recuperação selecionada; e a utilização eficaz de subprodutos.
Lei Fundamental para o estabelecimento do “Ciclo de Materiais”.	Estabelece a Material Ciclo Society (SMC), fornecendo os princípios sobre como a gestão de resíduos japonesa deve ser conduzida.
Lei de Gestão de Resíduos e Limpeza Pública.	Prevê a redução da produção de resíduos, o tratamento adequado de resíduos (incluindo a reciclagem), o regulamento sobre a instalação de estações de tratamento de resíduos, o regulamento sobre empresas de serviços para resíduos, a criação de normas de tratamento de resíduos, etc.

Fonte: adaptado de JUCA et al. (2014).

Segundo Waste Atlas (2020), a taxa de geração de RSU japonesa é de 0,98 kg/habitante/dia, sendo que o país conta com uma população de 126,5 milhões de habitantes. No âmbito do tratamento e disposição final no Japão a destinação para os aterros sanitários não ultrapassa 2%. Outro aspecto relevante com relação à disposição dos resíduos é que enquanto no Brasil ainda caminha-se em busca da erradicação dos lixões e aterros controlados, no Japão essa disposição inadequada é nula.

O Japão apresenta como tecnologia predominante a incineração atingindo um percentual de 80% de RSU incinerados, com cerca de 1900 incineradores para tratamento de RSU. Na capital Tóquio, existem 19 incineradores em atividade. Os incineradores foram construídos nas zonas residenciais e comerciais, visando reduzir os custos com o transporte dos resíduos, e devido à limitação de espaço, os incineradores são de pequeno porte (SILVA *et al*, 2018).

O predomínio desta tecnologia no Japão deve-se sobretudo ao fato da alta densidade demográfica e das poucas áreas disponíveis, com uma densidade populacional de 349 per km² e 124,4 de RSU por km², segundo dados do The World Bank (2014). Estes fatores tornam inviável a instalação de aterros sanitários que necessitam de grandes áreas. Por este motivo, o

tratamento térmico dos RSU vem sendo praticado, visando especialmente à redução de volume, face aos problemas de disponibilidade de área e de periculosidade.

O país deu início a eliminação dos RSU pelo processo de incineração a partir do ano de 1960, tornando-se a principal técnica após uma gradativa evolução ao longo dos anos, tanto no âmbito tecnológico, realizada através da adoção de uma diversidade de métodos que viabilizam a geração de energia de alta eficiência e operação segura, quanto no eixo ambiental, visto as instalações de incineração serem de alta tecnologia e operarem dentro das rígidas normas de combate à poluição. Por conta disso, esta tecnologia possui apoio da população para sua instalação em áreas urbanas e residenciais (MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Classificação da pesquisa

Esta pesquisa é classificada como aplicada, do ponto de vista da natureza, pois objetiva gerar conhecimento para aplicação prática e dirigido à solução de problemas específicos (SILVA e MENEZES, 2005). Segundo Gil (2010) pesquisa aplicada é aquela voltada à aquisição de conhecimentos visando aplicar numa situação específica. Neste estudo, serão levantados e analisados dados sobre a gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Quanto à abordagem do problema, esta pesquisa classifica-se como quali-quantitativa, pois os dados serão analisados em números, o que significa traduzir informações para classificá-las e analisá-las, e serão comparados com dados já consolidados. Ou seja, os dados relacionados a gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil desde a geração, coleta e disposição final, serão compilados e comparados com países desenvolvidos, visando encontrar a diferença entre as estratégias de manejo e as limitações do sistema brasileiro de GRSU.

Do ponto de vista de seus objetivos, este estudo foi classificado como uma pesquisa exploratória e descritiva. Pesquisa exploratória: para Vergara (1998, p. 45) “é realizada em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado por sua natureza de sondagem, não comporta hipóteses que, todavia, poderão surgir durante ou ao final da pesquisa”.

Na visão de Gil (2010) as pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. Seu planejamento tende a ser bastante flexível, pois interessa considerar os mais variados aspectos relativos ao fato ou fenômeno estudado. Pode-se afirmar que a maioria das pesquisas realizadas com propósitos acadêmicos, pelo menos num primeiro momento, assume o caráter de pesquisa exploratória, pois neste momento é pouco provável que o pesquisador tenha uma definição clara do que irá investigar. Este estudo se utilizou da pesquisa exploratória, pois visa buscar um maior conhecimento do tema escolhido, proporcionando maior simplificação e tornando o mais claro possível.

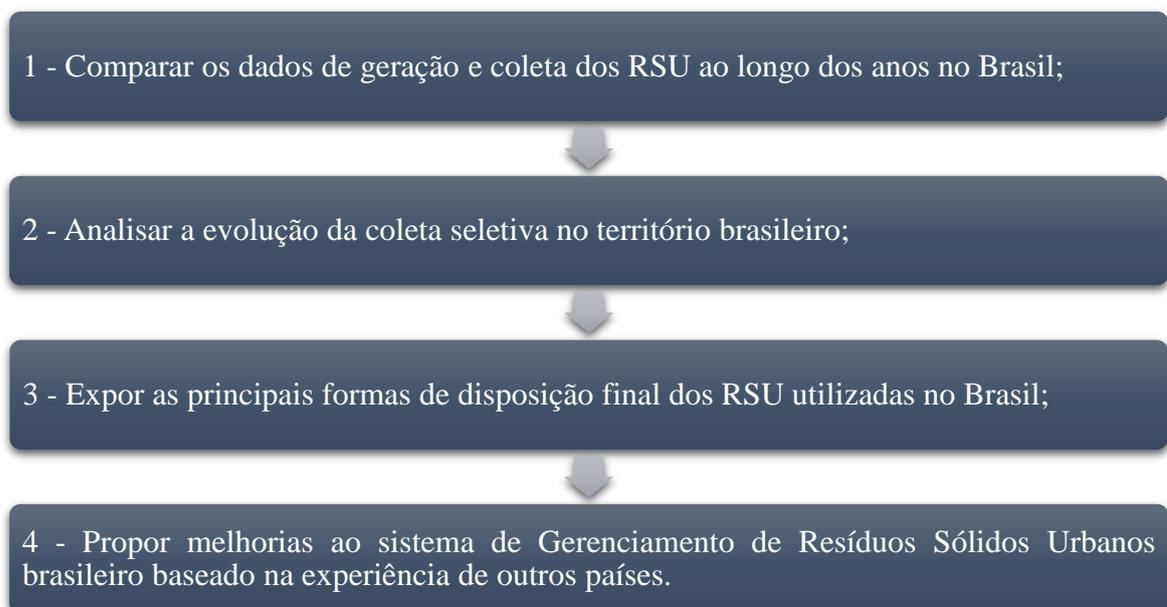
Vergara (1998, p. 45) define pesquisa descritiva da seguinte forma: “A pesquisa descritiva expõe características de determinada população ou de determinado fenômeno. Pode também estabelecer correlações entre variáveis e definir sua natureza”. A pesquisa descritiva foi utilizada neste estudo para descrever as variáveis relacionadas a gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil a partir da conversão da coleta de dados padronizados em resultados discutíveis.

Do ponto de vista dos métodos empregados, esta pesquisa classifica-se como pesquisa documental. Segundo Gil (2010), a pesquisa documental vale-se de materiais que não recebem um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetivos da pesquisa, sendo os documentos uma fonte rica e estável de dados. A pesquisa documental é vantajosa, pois como exige apenas disponibilidade de tempo, o custo da pesquisa torna-se significativamente baixo, quando comparado a outras pesquisas. A pesquisa visa compilar dados disponíveis nos Panoramas dos Resíduos Sólidos no Brasil e nos Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, publicados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE e pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS, respectivamente, acerca da geração, coleta e disposição final dos resíduos sólidos urbanos afim de comparar o estado atual do GRSU brasileiro com outros países.

3.2 Etapas da Pesquisa

O procedimento metodológico foi desenvolvido em uma estrutura de etapas atendendo a sequência apresentada nos objetivos específicos. A Figura 2 apresenta o fluxograma que detalha as etapas da pesquisa.

Figura 2 – Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Próprio Autor (2020).

3.2.1 Comparar os dados de geração e coleta dos RSU ao longo dos anos no Brasil

Para realização deste estudo será adotada como fonte de informações a base de dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, que realiza e divulga desde o ano de 2003, o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Até o presente momento foram publicados, com periodicidade anual, 16 documentos, que serão utilizados neste trabalho. Para a análise de dados deste trabalho, será realizada pesquisa documental dos Relatórios do Panorama dos Resíduos Sólidos dos anos de 2003 a 2018 não sendo considerado o documento referente ao ano de 2006 por não estar disponível para consulta no site eletrônico da instituição.

Também será utilizada como fonte de informações os Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, publicados pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS com periodicidade anual desde 2002. Para a análise de dados deste trabalho, será realizada pesquisa documental referente aos anos de 2003 a 2018 não sendo considerado o documento referente ao ano de 2006, visto que o mesmo encontra-se indisponível para consulta.

Tanto os Panoramas dos Resíduos Sólidos quanto os Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos possuem como objetivo facilitar o acesso dos órgãos governamentais, da imprensa e da sociedade em geral às informações sobre os resíduos sólidos nas suas diversas formas.

De posse das informações apresentadas nos documentos citados acima será comparado os dados de geração e coleta dos RSU ao longo dos anos. Vinculado a isso, tem-se a possibilidade de calcular o índice da geração e coleta per capita. E como se sabe que o poder aquisitivo da população também influencia na quantidade de resíduos gerados, será analisado a Influência do Produto Interno Bruto (PIB) na geração de resíduos. Para isso será pesquisado a variação do PIB no período de 2008 a 2018.

3.2.2 Analisar a evolução da coleta seletiva no território brasileiro

Será analisado a evolução da coleta seletiva, a partir das informações apresentadas nos documentos, em percentual de municípios que possuem esse sistema de coleta, mesmo que as atividades de coleta seletiva não englobem a totalidade da área urbana do município.

3.2.3 Expor as principais formas de disposição final dos RSU utilizadas no Brasil

O Brasil apresenta tecnologias de tratamento de resíduos sólidos ainda muito incipientes, tendo na prática a disposição final focada em apenas três maneiras (BAPTISTA *et al.*, 2019). No presente estudo serão expostas quais são as principais formas de disposição final dos RSU utilizadas no Brasil, bem como a evolução das mesmas, desde 2003 até o presente momento.

3.2.4 Propor melhorias ao sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos brasileiro baseado na experiência de outros países

A partir das informações obtidas nas etapas anteriores será possível propor melhorias ao sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos brasileiro baseado nas metodologias que já foram aplicadas em outros países, conforme exposto no item 2.2, adaptando as mesmas a realidade do Brasil. É de suma importância que se amplie a reflexão a respeito do tema, das tecnologias utilizadas e das experiências obtidas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Comparação dos dados de geração e coleta dos RSU ao longo dos anos no Brasil

O gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos deve começar pelo conhecimento das características dos resíduos gerados, visto que vários fatores influenciam neste aspecto, sendo eles: número de habitantes do município, poder aquisitivo da população, condições climáticas, hábitos e costumes da população e nível educacional, tendo influência direta sobre o planejamento das demais etapas do gerenciamento (VILHENA, 2018).

De acordo com Jucá *et al.* (2014), a quantidade de resíduos gerados em um país está associada, principalmente, com a evolução de sua população, ao nível de urbanização e ao poder de compra dos habitantes.

Vilhena (2018) aponta que para projetar um sistema de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, é fundamental prognosticar a quantidade de resíduos gerada, levando em conta a população atual, a geração per capita, o nível de atendimento atual dos serviços de coleta de resíduos, a taxa de crescimento populacional e o intervalo de tempo a ser considerado.

No Brasil, cada município é responsável por coletar, transportar e destinar o RSU gerado pela população. A prestação desses serviços pode ser feita pela prefeitura, pela iniciativa privada, ou em parceria. Os sistemas de coleta de RSU brasileiro são de dois tipos: coleta regular ou coleta seletiva. Nos municípios em que a coleta é regular, os resíduos são descartados misturados: orgânicos e secos. A maioria dos municípios que possui esse sistema de coleta envia esses resíduos para uma central de triagem, onde os resíduos que podem ser reciclados ou recuperados, são separados, uma parte pode ser destinada para compostagem, e o restante é enviado para a disposição final (aterro sanitário).

Já nos municípios onde existe a coleta seletiva, o processamento dos resíduos ocorre de forma mais rápida, pois esta modalidade de coleta reduz o trabalho de triagem e evita que a porção seca dos resíduos sólidos domiciliares seja misturada com a orgânica. Assim, materiais como plásticos, vidros e metais, não precisam ser lavados, e a qualidade dos papéis não sofre prejuízos. Além disso, a porção orgânica dos resíduos não é misturada a certos materiais que poderiam prejudicar a qualidade do composto orgânico, como pilhas, baterias, lâmpadas, remédios, tintas e outros.

A Tabela 1 representa o panorama brasileiro de geração e coleta dos resíduos sólidos urbanos, população urbana/total, crescimento do PIB (em percentual), e geração e coleta de

RSU per capita de 2003 a 2018. Todos os dados que compõe a tabela foram retirados dos Panoramas dos Resíduos Sólidos (ABRELPE).

Já a Tabela 2 apresenta os dados extraídos dos Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (SNIS), relacionando o aumento da população urbana de 2003 a 2018, com a taxa de cobertura, a quantidade e a massa per capita coletada dos RSU. Também é exposto a variação em volume (%) do PIB no período considerado.

Não foram apresentados os dados referente ao ano de 2006 visto que os mesmos não estão disponíveis para consulta no site de ambas as instituições.

Vale ressaltar, que foram identificadas, ao longo do estudo, algumas diferenças na apresentação dos resultados e na metodologia utilizada nos documentos. Tais diferenças estão expostas no Quadro abaixo, para justificar a maneira como foram apresentados os dados nas Tabelas 1 e 2.

Quadro 6 – Diferenças na apresentação dos dados entre ABRELPE e SNIS

Aspectos	Panoramas dos Resíduos Sólidos – ABRELPE	Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – SNIS
Exposição da amostragem de municípios dos quais foram coletados os dados	NÃO	SIM
Informa a quantidade gerada de RSU total e per capita	SIM	NÃO
Taxa de cobertura (%) do serviço de coleta em relação à população urbana	NÃO	SIM

Fonte: Próprio autor (2020).

Conforme expõe o Quadro 1, os Panoramas dos Resíduos Sólidos (ABRELPE) não informam diretamente ao leitor a amostragem de municípios dos quais foram coletados os dados para que fosse feito a interpolação a nível nacional, fornecendo tal informação apenas na forma de anexo em um documento separado. No Panorama de 2018, não é citado nada a respeito da amostragem realizada. O Panorama de 2017 expõe que em um arquivo à parte, disponível no formato digital, são apresentadas informações quanto a amostragem de municípios, na forma de anexos, porém tal documento não foi encontrado. Os dados mais recentes encontrados foram referentes ao ano de 2016, em arquivo à parte, no formato digital. Para o período, a pesquisa das informações junto aos municípios atingiu um universo de 400 municípios, dos quais 240 foram pesquisados diretamente pela ABRELPE e os dados de outros 160 municípios, selecionados entre aqueles pesquisados recentemente, tiveram suas tendências cientificamente projetadas para 2016. Os municípios componentes da amostragem (pesquisados diretamente +

tendência projetada) representaram 46% da população total. Percebe-se pouca evolução quanto ao universo de pesquisa da ABRELPE, visto que em 2010, foram entrevistados 350 municípios.

Já nos Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (SNIS), tal informação é fornecida, apresentando inclusive a porcentagem em quantidade de municípios e população dos municípios participantes. No diagnóstico de 2018, por exemplo, foram compilados os dados fornecidos por 3.468 municípios (62,3%), abrangendo 151.107.398 habitantes, equivalente a 85,6% da população urbana do país (SNIS, 2019).

Também observou-se ao longo do estudo que os Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – SNIS não apresentam a quantidade gerada de RSU total e per capita inviabilizando o cálculo do montante de resíduos que sequer foram recolhidos junto aos locais de geração.

Além disso, constatou-se que nos Panoramas dos Resíduos Sólidos (ABRELPE) não é fornecido a taxa de cobertura (%) do serviço de coleta direta e indireta em relação à população urbana. Nos Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – SNIS tal informação é calculada relacionando a população urbana atendida pelo serviço de coleta com a população urbana do município.

Tabela 1 – População, PIB, quantidade gerada e coletada e geração e coleta de resíduos per capita de RSU no Brasil

Ano	População urbana/ total (habitantes)	Quantidade gerada de RSU (t/dia)	Quantidade coletada de RSU (t/dia)	Geração per capita (kg/hab./dia)	Coleta per capita (kg/hab./dia)	PIB (%)
2003	144.548.301	166.140	157.776	1,149	1,092	1,10
2004	147.498.266	170.835	162.232	1,158	1,100	5,70
2005	151.738.837	173.525	164.774	1,144	1,086	3,20
2007	152.496.807	168.653	140.911	1,106	0,924	6,10
2008	157.037.300	169.659	149.199	1,08	0,950	5,10
2009	158.657.883	182.728	161.084	1,152	1,015	-0,10
2010	160.879.708	195.090	173.583	1,213	1,079	7,50
2011	162.318.568	198.514	177.955	1,223	1,097	4,00
2012	163.713.417	201.058	181.288	1,228	1,107	1,90
2013	201.062.789	209.280	189.219	1,041	0,941	3,00
2014	202.799.518	215.297	195.233	1,062	0,963	0,50
2015	204.421.914	218.874	198.750	1,071	0,972	-3,50
2016	206.057.289	212.753	193.637	1,032	0,939	-3,30
2017	207.602.719	214.868	196.050	1,035	0,944	1,30
2018	208.494.900	216.629	199.311	1,039	0,956	1,10

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2003; 2004; 2005; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018); IBGE (2020).

Vale ressaltar que a partir de 2012 a metodologia de cálculo do Panorama foi modificada e passou a ser considerada a população total. Pode-se perceber que tal alteração também influenciou, significativamente, na geração per capita reduzindo o índice de 1,228 para 1,041 kg/hab./dia. De fato, é importante que se considere a população como um todo, e se tem o conhecimento que a população rural descarta menos resíduo orgânico, porém sabe-se que a realidade brasileira com relação a coleta dos resíduos em locais distantes dos centros urbanos é precária.

Tabela 2 – População, PIB, taxa de cobertura da coleta de resíduos, massa coletada per capita e quantidade coletada de RSU no Brasil

Ano	População urbana (habitantes)	Taxa de cobertura (%)	Quantidade coletada de RSU (milhões t/ano)	Coleta per capita (kg/ hab./dia)	PIB (%)
2003	144.548.301	-	-	-	1,10
2004	147.498.266	94,40	46,50	0,760	5,70
2005	151.738.837	97,50	15,80	0,790	3,20
2007	153.036.064	98,80	29,63	0,970	6,10
2008	157.340.703	100,00	35,70	0,980	5,10
2009	159.225.492	99,99	53,00	0,960	-0,10
2010	160.925.792	98,50	53,00	0,930	7,50
2011	162.342.630	98,40	55,30	0,960	4,00
2012	163.722.797	98,30	57,90	1,000	1,90
2013	169.780.605	98,40	61,10	1,010	3,00
2014	171.302.550	98,60	64,40	1,050	0,50
2015	172.776.703	98,60	62,50	1,000	-3,50
2016	174.208.995	98,50	60,04	0,940	-3,30
2017	175.588.503	98,80	61,91	0,950	1,30
2018	176.539.719	98,80	62,78	0,960	1,10

Fonte: Adaptado de SNIS (2003; 2004; 2005; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018); IBGE (2020).

Várias discussões podem ser feitas a partir dos dados apresentados nas tabelas acima, podendo ser divididas nos seguintes tópicos:

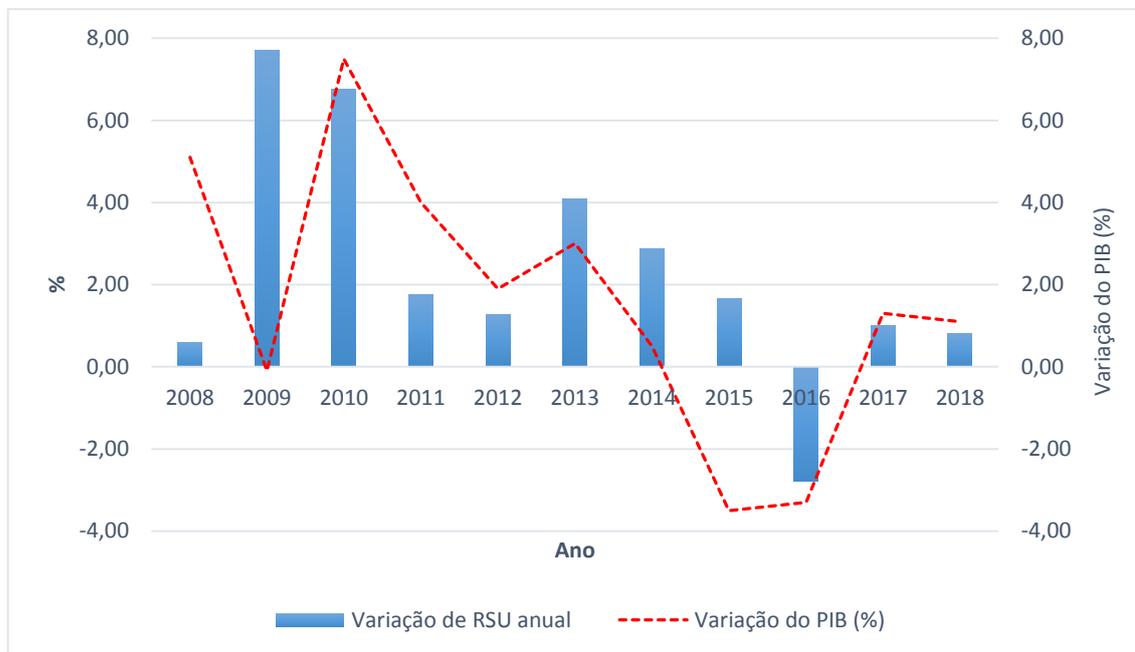
- A Influência do Produto Interno Bruto (PIB) na Geração de Resíduos

É interessante explorar a influência da atividade econômica (representada pela variação do Produto Interno Bruto) para um melhor entendimento do volume de resíduos gerados anualmente. Deduz-se que, com todos os setores de uma economia aquecidos (primário - agricultura, mineração, pesca, pecuária / secundário - indústria / terciário - serviços), haja

maior incentivo ao consumo, à produção industrial e agrícola e, conseqüente, maior geração de resíduos sólidos urbanos. Coerentemente essa relação não é direta e imediata e, muitas vezes, pode ser atenuada por outros fatores como, por exemplo, o aumento populacional e o gerenciamento dos resíduos (através de normas, operações, planejamento e investimentos financeiros) por parte de órgãos governamentais (BAPTISTA *et al.*, 2019).

O comportamento da geração de RSU e da variação do PIB (%) dos últimos 10 anos, pode ser analisado através do Gráfico apresentado abaixo, de acordo com os dados da Tabela 1.

Gráfico 1 – Variação da Geração de RSU e do PIB



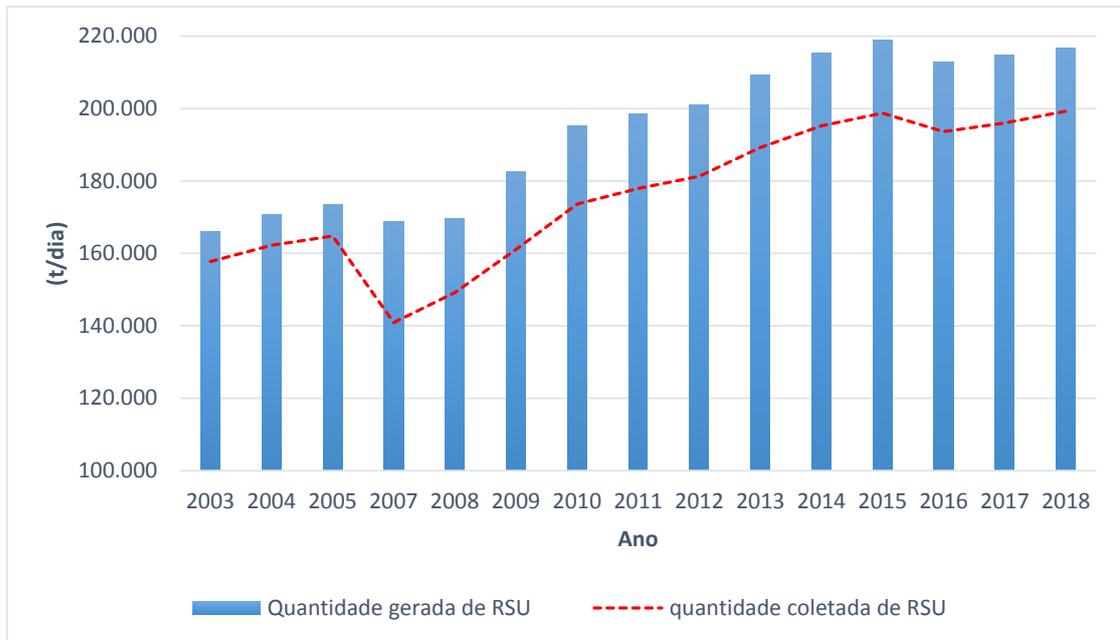
Fonte: Adaptado de ABRELPE (2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018); IBGE (2020).

É possível observar que de 2008 a 2018, o aumento e o recuo anual do PIB foi acompanhado pela geração de resíduos sólidos, com exceção ao ano de 2009, o qual o PIB apresentou queda enquanto a geração de RSU cresceu. A partir de 2015, com o agravamento da crise político-financeira nacional, fica evidente uma reversão na tendência de alta do PIB (queda de 3,50% no ano citado). Em 2016, com a continuidade da desaceleração econômica, é possível observar o impacto na geração de RSU, queda de 2,80%, o que representou, no ano, menos 6.121 toneladas por dia.

- Quantidade gerada X Quantidade coletada

A partir dos dados apresentados na Tabela 1, pode-se gerar o gráfico abaixo, que apresenta a quantidade gerada e a quantidade coletada, no período analisado.

Gráfico 2 – Quantidade gerada x Quantidade coletada no período analisado



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2003; 2004; 2005; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

Analisando o exposto no gráfico acima, percebe-se que em 2018, o Brasil ainda convive com a realidade de que 17.318 t/dia de RSU gerados não são nem coletados junto aos pontos de geração. Em média 6.640.591 t/ano de resíduos sólidos gerados não foram coletados, logo, pode-se afirmar que o destino final desses resíduos não foi um aterro sanitário, nem qualquer outra forma ambientalmente correta. Tal informação deixa claro o déficit que ocorre entre a geração e a coleta dos resíduos, visto que os sistemas de coleta de RSU variam de cidade para cidade e também para locais diferentes dentro da mesma cidade. Baseado nisso, reitera-se a importância da implementação de um sistema eficiente e padronizado de coleta de resíduos, que começasse coletando todo resíduo gerado.

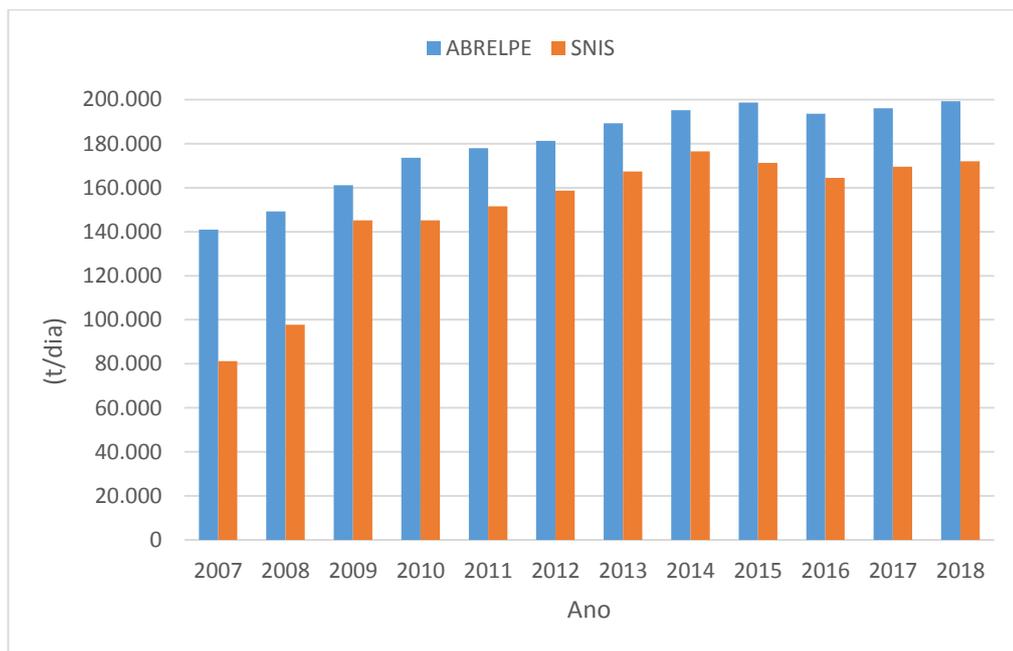
Se comparados os dados dos Gráficos 1 e 2, já que se sabe que o poder de compra da população influencia na quantidade de RSU gerado, e que a coleta normalmente é realizada por uma empresa prestadora de serviços, através de um contrato que prevê a coleta de um determinado peso diário e/ou semanal, chega-se à conclusão de que quanto menor a geração, maior deveria ser o montante coletado, porém na prática essa teoria não se aplica. Para elucidar

tal discussão, pode-se comparar os dados de 2015 e 2016. Em 2015 foram gerados 218.874 t/dia de RSU, ao passo que foram coletadas 198.750 t/dia. Em 2016 a geração diminuiu 2,80%, seguido pela tendência da redução do PIB, e o que se esperava era que a coleta mantivesse, no mínimo, o mesmo padrão do ano anterior ou que superasse o montante coletado, todavia na prática isso não foi verificado. A coleta também sofreu uma queda proporcional a geração, de aproximadamente 2,60%, trazendo à tona a realidade brasileira de que ainda existe uma parcela da população que não é atendida pelo serviço de coleta regular.

- Quantidade de RSU coletado

Conforme citado anteriormente, sabe-se que existem diferenças entre as metodologias utilizadas pela ABRELPE e pelo SNIS. Isto pode ser verificado quando comparado as quantidades de RSU coletadas ao longo dos anos. O gráfico 3 apresenta esta comparação.

Gráfico 3 – Coleta de RSU ao longo do anos (comparação entre ABRELPE e SNIS)



Fonte: Adaptado de ABRELPE e SNIS (2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

O gráfico 3 apresenta a evolução da quantidade de RSU coletada com o passar dos anos. Apesar da diferença entre o valor apresentado pelas duas bases de dados, percebe-se que houve uma evolução ao longo dos anos, no que tange a coleta de RSU, sendo que essa evolução foi crescente desde o ano de 2007 até 2015. Houve uma redução no montante coletado em 2016, devido à desaceleração econômica, que ocorreu entre os anos de 2015 e 2016.

Pode-se perceber que os valores apresentados pela ABRELPE são maiores do que os divulgados pelo SNIS. Duas discussões podem ser feitas a respeito disso: a primeira está relacionada ao universo de amostragem de municípios utilizado pela ABRELPE, que por mais que sejam aplicadas análises de consistência baseada na ciência estatística, estes dados podem não representar a realidade brasileira, devido as diferenças existentes entre as regiões do país. A segunda, está ligada aos dados enviados pelos municípios ao SNIS, pois não se pode afirmar que estes dados são verdadeiros, haja vista que muitos municípios acabam informando valores inexistentes ou teóricos, pois a ferramenta exige que um valor seja informado, e que o mesmo deve ser, no mínimo, igual ou superior ao ano anterior.

4.2 Evolução da coleta seletiva no território brasileiro

No Brasil as formas mais comuns de coleta seletiva, hoje existentes, são a coleta porta-a-porta e a coleta por Pontos de Entrega Voluntária (PEVs). A coleta porta-a-porta pode ser feita tanto pelo prestador do serviço público de limpeza e manejo dos resíduos sólidos (público ou privado) quanto por associações ou cooperativas de catadores de materiais recicláveis. É o tipo de coleta em que um caminhão ou outro veículo passa em frente às residências e comércios recolhendo os resíduos que foram separados pela população. Já os pontos de entrega voluntária se caracterizam como locais situados, estrategicamente, próximos de um conjunto de residências ou instituições para entrega dos resíduos segregados e posterior coleta pelo poder público (MMA, 2019).

Tanto nos Panoramas dos Resíduos Sólidos (ABRELPE), quanto nos Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos (SNIS), a coleta seletiva é analisada a partir da quantidade de municípios que possuem esse tipo de serviço, cabendo ressaltar, que em muitos municípios as atividades de coleta seletiva não abrangem a totalidade de sua área urbana.

Outro fator a ser observado é que nos documentos publicados pelo SNIS não é considerada a coleta seletiva executada por empresas “autônomas” do ramo, sucateiros ou catadores, que não tenham algum tipo de vinculação com a prefeitura e tão pouco a coleta de resíduos recicláveis de geradores específicos que não equiparados a RSU (que podem ser caracterizados como pré-consumo ou pós-industriais), justificada devido à falta de dados como também pela falta de formalização de suas atividades junto ao município.

Os resultados apresentados na Tabela 3 e no Gráfico 4 são o compilado das informações fornecidas pelas duas bases de dados utilizadas, quanto à existência de coleta seletiva independente da forma (porta a porta, em postos de entrega voluntária ou outra modalidade) e

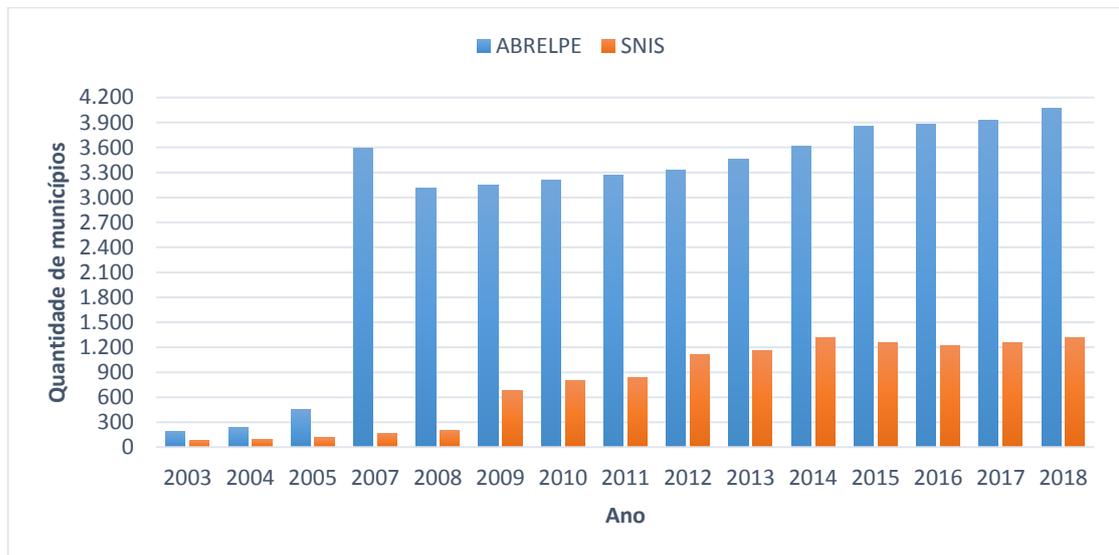
de sua abrangência em cada município, ou seja, na prática, a coleta seletiva pode ocorrer somente em uma pequena parte, em iniciativas pontuais, como também em todo o território. Além disso foi levantado a quantidade de municípios amostrados pelo SNIS.

Tabela 3 – Evolução do índice de ocorrência do serviço de coleta seletiva de RSU nos municípios brasileiros de 2003 a 2018, quanto à existência e quantidade de municípios amostrados pelo SNIS

Ano	ABRELPE	SNIS	Amostragem (nº de municípios)
2003	192	78	132
2004	237	99	162
2005	451	113	192
2007	3.593	170	306
2008	3.109	199	372
2009	3.152	675	1.964
2010	3.207	801	2.070
2011	3.263	842	2.100
2012	3.326	1.111	3.043
2013	3.459	1.161	3.572
2014	3.608	1.322	3.765
2015	3.859	1.256	3.520
2016	3.878	1.215	3.670
2017	3.923	1.256	3.556
2018	4.070	1.322	3.468

Fonte: Adaptado de ABRELPE e SNIS (2003; 2004; 2005; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

Gráfico 4 – Evolução do índice de ocorrência do serviço de coleta seletiva de RSU nos municípios brasileiros de 2003 a 2018, quanto à existência



Fonte: Adaptado de ABRELPE e SNIS (2003; 2004; 2005; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

Analisando os dados apresentados pela tabela e pelo gráfico, desde o ano de 2003 até 2018, houve uma evolução significativa no número de municípios que passaram a ter alguma iniciativa de coleta seletiva. Se explorarmos o exposto nos panoramas da ABRELPE, no ano de 2003 apenas 8% dos municípios brasileiros possuíam esse serviço, já em 2018, o percentual dos municípios que apresentam algum sistema de coleta seletiva foi de 73,07%, afirmando que dos 5.570 municípios brasileiros, 4.070 já aderiram a essa metodologia de coleta. Vale ressaltar que a comparação entre os dados de 2007 e 2008 parece indicar uma involução na quantidade de municípios com atividades de coleta seletiva. Todavia, tal resultado se deve ao fato da pesquisa direta realizada pela ABRELPE em 2008 ter objetivado maior acuidade na aquisição de dados com acentuado grau de subjetividade, como estes.

Conforme mencionado acima, os dados apresentados pelo SNIS, não levam em consideração a coleta seletiva executada por empresas autônomas do ramo, sucateiros ou catadores, representando a acentuada diferença verificada no gráfico, ao longo dos anos entre as duas bases de dados. Tomando como exemplo o ano de 2018, a ABRELPE divulgou que 4.070 municípios possuem coleta seletiva, enquanto o SNIS informou que apenas 1.322 municípios disponibilizam de tal serviço. Uma diferença de 2.748 municípios, dos quais, pouco se tem informação da efetividade do serviço, visto que, para cada 10 kg de resíduos cedido para a coleta, apenas 411 gramas são coletadas de forma seletiva, fato que conduz à conclusão de

que a prática da coleta seletiva no país, apesar de apresentar alguns avanços, ainda se encontra num patamar muito baixo (SNIS, 2019).

Se analisarmos a quantidade de municípios que foram amostrados ao longo dos anos nos Diagnósticos do SNIS, pode-se perceber que ocorreu uma evolução, iniciando no ano de 2003 até 2014. A redução no número de municípios amostrados em 2015 refletiu diretamente na quantidade de municípios que responderam que possuíam coleta seletiva, expondo uma retração de 66 municípios no período. Nos últimos 5 anos, em média, 3.592 municípios foram amostrados para compilação dos dados a nível nacional, e destes, 1.255 possuíam serviço de coleta seletiva de RSU.

4.3 Principais formas de disposição final dos RSU utilizadas no Brasil

No Brasil, as alternativas de disposição final dos Resíduos Sólidos, dividem-se em sua totalidade, praticamente, de três formas: lixões, aterros controlados e aterros sanitários. A forma mais antiga e mais impactante é o lixão, que se caracteriza pelos danos causados ao meio ambiente e sociedade como um todo. Os aterros controlados também são considerados formas inadequadas de disposição final dos resíduos.

A partir da Lei 12.305/2010, que rege a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), ocorreu uma preocupação relacionada à gestão dos resíduos e sua disposição ambientalmente adequada, fato este que impulsionou a meta de eliminação de lixões e locais considerados inadequados até 2014 (LAVNITCKI *et al.*, 2018), contudo, esta meta não foi alcançada. De forma geral, ressalta-se que o prazo de quatro anos a partir da Lei 12.305/2010 para eliminação dos lixões no país não foi suficiente para que os municípios conseguissem se adequar. Os municípios de pequeno porte, principalmente, demonstram maiores dificuldades devido à falta de condições financeiras, políticas e estruturais para a construção de um aterro sanitário.

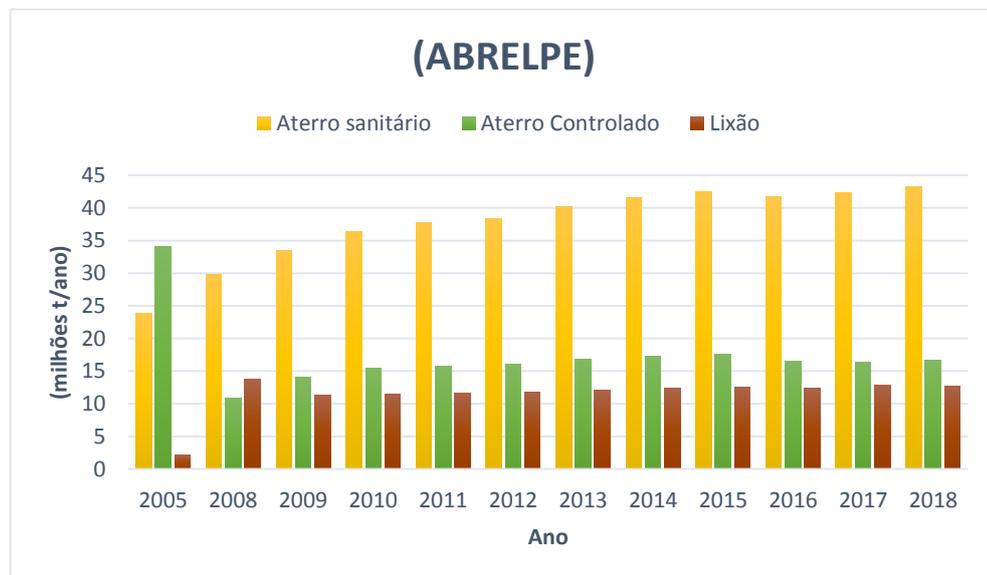
De acordo com Lavnitcki *et al.* (2018), os resíduos sólidos devem ser aproveitados ao passo que os rejeitos, ou seja, aquilo que não pode ser reaproveitado ou reciclado, devem ser destinados para os aterros sanitários. Porém, a destinação ambientalmente inadequada se encontra em uma situação de difícil erradicação. As tabelas e gráficos abaixo apresentam as principais formas de disposição final dos RSU, trazendo à tona a quantidade de RSU, em milhões de toneladas/ano, desde 2003 até 2018, excluindo os anos em que não foram encontrados os dados necessários.

Tabela 4 – Disposição final de RSU, por tipo de destinação (ABRELPE)

Ano	Disposição final de RSU, por tipo de destinação (milhões t/ano)		
	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão
2003	-	-	-
2004	-	-	-
2005	23,92	34,06	2,17
2007	-	-	-
2008	29,82	10,91	13,73
2009	33,41	14,04	11,35
2010	36,47	15,41	11,47
2011	37,72	15,71	11,54
2012	38,37	16,02	11,79
2013	40,23	16,80	12,03
2014	41,60	17,25	12,40
2015	42,57	17,50	12,47
2016	41,68	16,61	12,39
2017	42,27	16,38	12,91
2018	43,30	16,73	12,72

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2003; 2004; 2005; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

Gráfico 5 – Disposição final de RSU, por tipo de destinação (ABRELPE)



Fonte: Adaptado de ABRELPE (2005; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

Analisando o exposto na tabela e no gráfico acima, a partir dos dados fornecidos pelos Panoramas dos Resíduos Sólidos publicados pela Associação Brasileira de Empresas de

Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, pode-se perceber uma mudança no comportamento dos dados de 2005 para 2008, visto que em 2005 o aterro controlado era tido como a principal forma de disposição final dos resíduos, já em 2008 a principal forma de disposição passou a ser o aterro sanitário, seguido do lixão.

De 2009 em diante, a disposição final de RSU apresentou sinais de evolução e aprimoramento, com a maioria dos resíduos coletados sendo encaminhados para aterros sanitários, que se constituem como unidades adequadas. Entretanto, as unidades inadequadas, ainda estão presentes em todas as regiões do país.

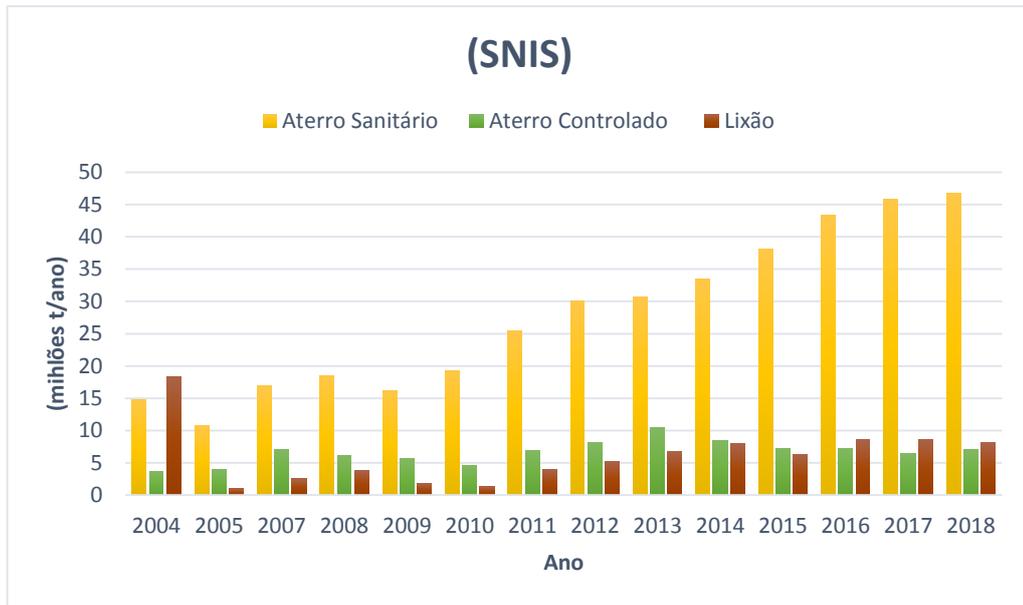
Se observarmos os dados a partir de 2010, depois da Lei 12.305/2010, houve um aumento na quantidade de RSU disposta em aterros sanitários, porém tal evolução se faz insuficiente, visto que a massa coletada também se elevou ao longo dos anos e os volumes de resíduos dispostos inadequadamente, se mantiveram praticamente constantes durante o período. Em 2018, 59,52% dos resíduos coletados foram enviados para aterros sanitários (uma expansão de 2,4% em relação ao valor total do ano anterior). Porém, unidades inadequadas como lixões e aterros controlados ainda têm participação significativa, recebendo mais de 80 mil toneladas de resíduos por dia, com elevado potencial de poluição ambiental e impactos negativos à saúde.

Tabela 5 – Disposição final de RSU, por tipo de destinação (SNIS)

Ano	Disposição final de RSU, por tipo de destinação (milhões t/ano)		
	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	Lixão
2003	-	-	-
2004	14,78	3,68	18,31
2005	10,82	3,98	1,03
2007	16,93	7,05	2,52
2008	18,56	6,11	3,85
2009	16,20	5,60	1,80
2010	19,29	4,56	1,31
2011	25,46	6,82	3,93
2012	30,08	8,12	5,25
2013	30,72	10,39	6,74
2014	33,49	8,42	8,01
2015	38,02	7,19	6,31
2016	43,34	7,24	8,56
2017	45,92	6,45	8,55
2018	46,68	7,00	8,05

Fonte: Adaptado de SNIS (2003; 2004; 2005; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

Gráfico 6 – Disposição final de RSU, por tipo de destinação (SNIS)



Fonte: Adaptado de SNIS (2004; 2005; 2007; 2008; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015; 2016; 2017; 2018).

Assim como foi realizada a análise dos dados fornecidos pela ABRELPE (Tabela 4 e Gráfico 5) será feito para as informações fornecidas pelos Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos publicados no Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS, dados estes que estão apresentados acima na tabela 5 e gráfico 6. Pode-se perceber uma mudança no comportamento dos dados de 2004 para 2005, visto que em 2004 o lixão era tido como a principal forma de disposição final dos resíduos, já de 2005 em diante a principal forma de disposição passou a ser o aterro sanitário.

Vale ressaltar que a diferença entre a quantidade total coletada (Tabela 2) e quantidade disposta pelas três principais formas de disposição, são referentes ao percentual que foi recuperado através da compostagem e/ou triagem.

Depois da Lei 12.305/2010, a disposição final de RSU apresentou sinais de evolução e aprimoramento, com a maioria dos resíduos coletados sendo encaminhados para aterros sanitários, que se constituem como unidades adequadas. Entretanto, as unidades inadequadas, ainda estão presentes em todas as regiões do país. Houve um aumento na quantidade de RSU disposta em aterros sanitários, porém tal evolução não foi suficiente, visto que a massa coletada também se elevou ao longo dos anos e o mesmo ocorreu com os volumes de resíduos dispostos inadequadamente. Segundo SNIS, em 2018, 75,6% do total aproximado de massa encaminhada para disposição final (61,73 milhões de toneladas) foi disposto em aterros sanitários. Além disso, contabilizou-se 15,05 milhões de toneladas dispostas em unidades de disposição final

consideradas inadequadas (aterros controlados e lixões), que correspondem juntas a 24,4% do total disposto no ano.

Ponderando os dados fornecidos pelos documentos percebe-se uma divergência entre as informações apresentadas, como já foi verificado nos tópicos anteriores, devido a utilização de considerações e metodologias diferentes, porém ambos convergem no que diz respeito a superioridade do emprego do aterro sanitário como forma de disposição final, bem como expõe que após oito anos do lançamento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) poucas mudanças ocorreram no cenário da gestão de resíduos no Brasil.

Vencidos, em 2014, os prazos finais determinados pela lei, o Brasil ainda encontra dificuldades para implementar a gestão integrada de resíduos sólidos de forma correta. Tais documentos retratam a real situação da gestão de resíduos no momento de plena vigência da PNRS que mostra avanços lentos e estagnação em alguns pontos.

4.4 Melhorias propostas ao sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos brasileiro baseado na experiência de outros países

A partir do exposto nos itens acima percebe-se que apesar de passados dez anos da vigência da Política Nacional de Resíduos Sólidos, o setor ainda apresenta alguns déficits consideráveis, principalmente no que tange a coleta (convencional e seletiva), recuperação de materiais e disposição final dos resíduos coletados.

A ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos estabelecida pelo art. 9º da PNRS traz a não geração como ação prioritária a ser adotada, seguida da redução. Contudo, tais práticas ainda se mostram incipientes no Brasil, não havendo indicadores que demonstrem o volume de material que deixou de ser descartado ou que foi reduzido. As políticas de não geração e redução da geração de resíduos sofrem pela falta de estímulo e ferramentas de desenvolvimento e acompanhamento.

No âmbito regional, a região Nordeste apresenta atualmente o menor índice (81,08%) de cobertura de coleta regular de RSU, e contribui com cerca de 25% do total de RSU gerados no país. No tocante à disposição inadequada de resíduos, a região Norte se sobressai com 64,7% dos materiais dispostos em lixões e aterros controlados, porém, novamente, é a região Nordeste que apresenta o maior volume (28.183 toneladas/dia) de resíduos com destinação inadequada, o que representa grave impacto ao meio ambiente e à saúde e qualidade de vida das pessoas, além do desperdício de materiais e energia (BRASIL, 2020). A partir dos dados mencionados verifica-se que há maior necessidade de investimentos no setor nessas regiões, seja através de

recursos públicos, ou quando da impossibilidade ou limitação desses, com a concessão da gestão para a iniciativa privada.

Os principais objetivos nacionais para a gestão de resíduos sólidos são:

- O alcance da universalização da coleta de RSU;
- A maximização da recuperação de materiais, com aproveitamento energético dos resíduos;
- A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- O encerramento e recuperação dos lixões.

A coleta seletiva está distante de ser universalizada, e os lixões ainda estão presentes em todo o território brasileiro, com impactos diretos sobre o meio ambiente e as pessoas – estas, além de serem afetadas por várias doenças, com custos elevados para tratamentos de saúde, sofrem com o afastamento do mercado de trabalho. Além disso, é latente a falta de recursos específicos para custear as operações do setor. Ao mesmo tempo, a tributação aplicada sobre todo o sistema é uma das mais elevadas e não favorece práticas sustentáveis. Os serviços de limpeza urbana, que na ampla maioria das cidades dependem do orçamento geral do poder público, sofreram um recuo no montante aplicado e na geração de empregos, um efeito da crise que assolou a economia do país e afetou diretamente os cofres públicos, sempre muito limitados e cada vez mais comprimidos.

Ao passo que o mundo evolui em direção a um modelo cada vez mais moderno e sustentável de gestão de resíduos, o Brasil ainda continua apresentando as deficiências verificadas há vários anos. Se aproximarmos o limiar dos últimos 15 anos, percebe-se que pouco foi feito com o objetivo de realmente reverter o quadro deficitário. Fato é que o tema ainda não constitui uma prioridade na agenda política e social do país.

4.4.1 Projetos e Ações que estão sendo Realizados no Brasil

Conforme apresentado no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2020) alguns programas, projetos e ações estão sendo realizados, visando avançar em temas urgentes no gerenciamento de resíduos sólidos, aplicando medidas estruturais com perspectivas de médio e longo prazo.

Atualmente, três programas merecem destaque no que tange o gerenciamento de resíduos sólidos, sendo eles:

- Programa Nacional Lixão Zero;
- Programa Nacional de Combate ao Lixo no Mar;
- Programa Nacional de Logística Reversa.

Tais programas apresentam como foco a erradicação de lixões, a redução do percentual de resíduos sólidos que acabam indo parar no mar e a ampliação e o fortalecimento da logística reversa através do aumento da reciclagem de resíduos secos, respectivamente.

O Programa Nacional Lixão Zero foi criado visto que o Brasil ainda contabiliza mais de 3.000 lixões e aterros controlados que diariamente recebem resíduos e rejeitos, apesar da obrigatoriedade legal para assegurar a disposição final ambientalmente adequada de rejeitos e a eliminação dos lixões e demais unidades inadequadas. Ressalte-se que tal obrigatoriedade existe anteriormente à Política Nacional de Resíduos Sólidos, com as Leis Federais nº6.938/1981 e nº9.605/1999, ainda sem o devido cumprimento efetivo. O insucesso de iniciativas tentadas anteriormente para solucionar tal desafio demonstra a necessidade de adoção de ações diferentes, que vão além da esfera legal.

O programa prevê a execução de ações para aprimoramento da gestão de RSU com as seguintes perspectivas: encerramento de lixões e aterros controlados; ampliação da coleta seletiva e da reciclagem de resíduos secos e orgânicos; recuperação de áreas contaminadas; atuação junto ao setor privado para implementação e expansão dos sistemas de logística reversa; e aproveitamento do potencial energético dos resíduos sólidos.

Ante a premência de buscar e estruturar caminhos para prevenir e combater o lixo que chega no mar e demais corpos d'água, foi elaborado pelo MMA, em 2019, o Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar (PNCLM), primeira estratégia nacional sobre o tema. Os objetivos do PNCLM são: reduzir a quantidade e os impactos do lixo no mar, originado de fontes terrestres, reduzir a quantidade e os impactos de resíduos de fontes marítimas, incluindo cargas perdidas, artefatos de pesca abandonados, perdidos ou descartados, e embarcações abandonadas, reduzir a quantidade e os impactos de resíduos sólidos acumulados nas regiões costeiras, impulsionar pesquisas, desenvolvimento de tecnologias e metodologias para combater e prevenir o lixo no mar e engajar a sociedade para combate ao lixo no mar e quanto à necessidade do aprimoramento da gestão de resíduos sólidos.

Quanto ao Programa Nacional de Logística Reversa, visa-se a ampliação e consolidação de sistemas já existentes e a criação e implementação de novos, desde que técnica e economicamente viáveis. Tal programa possui como projetos e ações:

- Implantar um sistema consolidado de acompanhamento dos acordos setoriais e sistemas de logística reversa para monitoramento da efetividade e transparência de dados e informações.
- Realizar ações direcionadas ao aumento da reciclagem, recuperação e conteúdo reciclado de produtos e embalagens.
- Ampliar sistema de logística reversa de embalagens em geral, com foco em resultados e integração de ações entre os vários entes envolvidos nesse fluxo de resíduos.
- Efetivar os sistemas de logística reversa de medicamentos e eletroeletrônicos.
- Viabilizar as bases para ampliação e aprimoramento de sistemas de logística reversa já em curso.
- Ampliar o escopo do sistema de logística reversa de lâmpadas, incluindo o recolhimento das lâmpadas de tecnologia LED.
- Estabelecer a apresentação, nos rótulos de produtos, de informação acerca do sistema de logística reversa.
- Avaliar a ampliação de obrigatoriedade de logística reversa para outros produtos, além dos constantes no art. 33, da Lei Federal nº 12.305/10.

Além dos programas citados, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2020) também apresentou o novo marco legal do saneamento (Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020) que estabeleceu que a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada até 31 de dezembro de 2020, exceto para os Municípios que até essa data tenham elaborado plano intermunicipal de resíduos sólidos ou plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos e que disponham de mecanismos de cobrança que garantam sua sustentabilidade econômico-financeira, nos termos do art. 29 da Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para os quais ficam definidos os seguintes prazos:

- I. até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;
- II. até 2 de agosto de 2022, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes;

- III. até 2 de agosto de 2023, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010; e
- IV. até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010. Referido instrumento legal também estabelece que nos casos em que a disposição de rejeitos em aterros sanitários for economicamente inviável, poderão ser adotadas outras soluções, observadas normas técnicas e operacionais estabelecidas pelo órgão competente, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais.

Somado a isso o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2020), também expôs algumas ações com relação de utilização de diferentes tecnologias para o tratamento dos RSU.

De acordo com dados da ABRELPE (2019), o Brasil possui potencial para produção de cerca de 4 milhões de Nm^3/ano de biometano, o que levaria a uma possível geração de 14.40 TWh/ano de energia elétrica, o suficiente para abastecer 49.164.757 residências. Considerando o volume de RSU gerado em 2017 que foi destinado a aterros sanitários sem captação, o país deixou de produzir 7.230 GWh de eletricidade que poderiam ter fornecido energia renovável para quase 24 milhões de residências ou produzido biometano suficiente para substituir mais de 2 milhões de litros de diesel.

No Brasil ainda não há muitas iniciativas de projetos de digestão anaeróbia. Contudo, tomando por base o Caderno Temático nº 4 do Plansab (2019), destacam-se:

- Município de Bertioga (SP): opera desde 2018 a primeira planta de digestão anaeróbia em contêineres do Brasil com capacidade de tratamento de 120 toneladas por mês;
- Usina de Biogás do Caju, no Rio de Janeiro (RJ): opera desde 2018 no EcoParque do Caju e possui capacidade instalada para receber 30 toneladas de resíduo por dia. Em termos de produtos, em operação plena a instalação tem capacidade para geração de 4.500 Nm^3/dia de biogás e 1.000 Nm^3/dia de biometano.

Na aplicação de incineração para RSU ou CDR de RSU ainda não foi identificada nenhuma atividade no país. Está em fase de implantação uma Unidade de Recuperação Energética (URE) para tratamento térmico de RSU e CDR, em Barueri/SP. A URE terá capacidade para tratar 825 toneladas/dia, com potência instalada de 20 MW de energia.

Recentemente outras duas plantas de recuperação energética receberam suas licenças ambientais, uma em Mauá, em São Paulo, e outra no Caju, na cidade do Rio de Janeiro. A planta

de Mauá está projetada com uma capacidade instalada para tratar 4.000 toneladas/dia de resíduos e potência instalada de 80 MW. Já a URE do Caju foi projetada para tratar 1.200 toneladas/dia (cerca de 14% dos resíduos coletados em toda cidade do Rio de Janeiro) e potencial de geração de 30 MW de energia, o suficiente para abastecimento de uma população de 200 mil pessoas.

4.4.2 Sugestão de melhorias ao sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos brasileiro

Assim como a Europa, EUA e Japão, há algumas décadas, o Brasil está começando um processo de mudança na gestão dos seus resíduos sólidos urbanos. Todo e qualquer processo de mudança requer tempo, investimentos e ações efetivas. Numa visão geral, percebe-se que o modelo atual é insustentável. A permanecer como está, tornar-se-á cada vez mais custoso e, em alguns pontos, até mesmo irreversível. Os princípios e objetivos colocados pela Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010 ainda não foram refletidos no mundo real, mas é urgente que sejam transformados em ações concretas. Para tanto, é preciso mudar alguns paradigmas vigentes, sobretudo em relação ao engajamento dos municípios e da população, à governança político-institucional e ao custeio dos serviços.

De posse do que foi apresentado no item 2.2, relacionado as experiências internacionais na Gestão de Resíduos Sólidos, e das informações discutidas nos itens acima a respeito do gerenciamento de RSU no território brasileiro, podem ser feitas algumas sugestões ao sistema brasileiro, visando o atingimento de metas e o avanço do setor como um todo.

Quanto ao contexto nacional da gestão de resíduos sólidos, sugere-se inicialmente que se obrigue de alguma maneira os municípios a enviarem os dados relacionados ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, impondo medidas restritivas aqueles que por algum motivo não enviarem. Como exemplo, essas medidas restritivas poderiam impedir o município de solicitar recursos ao estado e a união, e caso essa situação voltasse a ocorrer no ano seguinte, o município pagaria uma multa a união por omissão de informações públicas e não poderia solicitar recursos públicos por um período a ser estipulado.

Também sugere-se o afastamento gradativo da Administração Pública de uma atuação direta em setores da economia, deixando de ser provedora de serviços para assumir um papel de regulação e orientação na condução de políticas públicas, que se alinham às demandas sociais direcionadas à proteção do meio ambiente, com o estabelecimento de diretrizes, instrumentos, programas e incentivos a práticas de desenvolvimento sustentável, priorizando a

valorização dos materiais descartados. No mesmo sentido, passa-se a privilegiar o estabelecimento de políticas públicas voltadas à universalização dos serviços básicos, principalmente de coleta regular e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, de forma a assegurar a disposição final ambientalmente adequada apenas dos rejeitos, com encerramento das unidades irregulares, ainda presentes em grande parte do país.

Como já verificado em outros estudos, para viabilizar avanços e modernizar as infraestruturas na gestão de resíduos são necessários investimentos e recursos financeiros permanentes na sua operação. Para tanto, é indispensável a implementação de um sistema de remuneração direta pelos usuários, assim como acontece em diversos países e em outros setores aqui no Brasil. Tal medida, além de assegurar a sustentabilidade econômico-financeira das operações, propiciará maior justiça social, uma vez que deverá ser baseada no pagamento conforme a geração e utilização dos serviços. Essa solução desonerará os cofres públicos de um desembolso geral, possibilitando a aplicação dos recursos em outras áreas de interesse da sociedade, tais como a educação ambiental da população.

A justificativa para que se busque a sustentabilidade econômico-financeira, está nas informações financeiras, visto que, a despesa total das Prefeituras com o manejo dos resíduos sólidos no ano 2017, quando rateada pela população urbana, resultou no valor de R\$ 121,62 por habitante, ou seja, um gasto aproximado de R\$ 21 bilhões para o manejo de resíduos sólidos urbanos em todo o país, empregando 343 mil trabalhadores. Ainda assim, a fragilidade da sustentabilidade financeira se mantém no setor, uma vez que apenas 46,3% dos municípios fazem cobrança pelos serviços, e o valor arrecadado cobre somente 54,6% dos custos (SNIS, 2019).

Um ponto em comum para o sucesso de vários sistemas de gestão de resíduos em funcionamento pelo mundo está relacionado a existência de instrumentos específicos para remuneração dos serviços executados, mediante pagamento pelos usuários que, em muitos casos, são cobrados de acordo com a quantidade de materiais disponibilizados para a coleta, ou pelo número de vezes em que acessam o sistema. Tais medidas, além de garantir a sustentabilidade econômico-financeira para execução contínua dos serviços e assegurar investimentos para ampliação e modernização das infraestruturas no médio e longo prazo, também tem o objetivo de conduzir as melhores práticas por parte dos cidadãos-usuários, os quais buscam adaptar seus hábitos, incorporando medidas de redução, reutilização e separação de resíduos na fonte, com a finalidade de diminuir o valor de sua contraprestação.

Com o estado regulando o sistema, a população, consciente e instruída, sendo cobrada pela quantidade e tipos de resíduos sólidos gerados e o sistema demonstrando ser economicamente viável, a coleta seletiva e a destinação final adequada serão consequências.

Quanto as técnicas de recuperação e disposição final dos resíduos várias tecnologias podem ser exploradas, sendo exemplo delas: a reciclagem, a compostagem, a digestão anaeróbia, o coprocessamento, o CDR – combustível derivado de resíduos e a incineração com recuperação de energia. Qualquer uma dessas quando inserida no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos apresenta resultados positivos, desde que, aplicada da maneira correta. Cabe a gestão municipal e/ou estadual decidir qual será implementada.

Para definir como será o fluxo de coleta, recuperação dos resíduos e destinação final dos rejeitos e quais técnicas serão adotadas para cada etapa, os municípios podem fazer uso da ferramenta desenvolvida por BERTICELLI (2019) que tem como objetivo auxiliar os gestores de órgãos públicos municipais responsáveis na tomada de decisão, com relação ao gerenciamento de RSU, a adotarem sistemas mais sustentáveis tendo por base a utilização da Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida e a Análise Multicritério. Tal ferramenta consiste em criar cenários com alternativas de gerenciamento de RSU, avaliando a sustentabilidade ambiental por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a sustentabilidade econômica por meio da Avaliação do Custo do Ciclo de Vida (ACCV) e a sustentabilidade social por meio da Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACVS). Os resultados auxiliarão no processo de apoio à tomada de decisão para gestão sustentável de RSU nos municípios brasileiros.

SUQUISAQUI (2020) também elaborou uma ferramenta para avaliação da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em municípios brasileiros. A ferramenta, denominada SAGReS – Sistema de Avaliação para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos é composta por cinco iniciativas propostas na PNRS (aterro sanitário, compostagem, coleta seletiva, consórcio público e logística reversa) e 50 indicadores, com o intuito de subsidiar os gestores públicos quanto às demandas de ações no setor. O instrumento pode ser utilizado em qualquer computador, sem necessidade de instalação de aplicativos. O dashboard ilustra os indicadores, para cada iniciativa, que necessitam de atenção criteriosa do gestor quanto ao planejamento e execução destas iniciativas.

Se todas as ações propostas acima forem aplicadas no território brasileiro, se atingira um patamar de sistema de gerenciamento de resíduos sólidos muito próximo daquilo que já é realidade em outros países, com um serviço de coleta eficiente, amparado pela cobrança de taxas pelo descarte dos resíduos, fazendo com que aumente a porcentagem de recuperação dos

materiais e reduzindo ao máximo a quantidade de resíduos aterrados. Vale ressaltar que as primeiras ações a serem tomadas de forma urgente são o encerramento do envio de RSU a lixões e aterros controlados e a conscientização ambiental da população. A partir daí o sistema já começara sua evolução de forma efetiva, e quem sabe num horizonte de 20 anos, o Brasil se torne um exemplo positivo para o mundo no quesito evolução no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

5 CONCLUSÕES

A elaboração do estudo proposto, permitiu a análise do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no contexto nacional. Seu cunho exploratório permitiu o levantamento de dados, comparação com informações bibliográficas e sugestões de melhorias ao sistema.

O presente trabalho contribui para uma compreensão mais adequada sobre o GRSU brasileiro, trazendo à tona dados históricos de geração e coleta dos resíduos, evolução da quantidade municípios que apresentam alguma iniciativa de coleta seletiva e formas de disposição final utilizadas no país, além do montante descartado. De posse de tais dados, e de estudos realizados por outros pesquisadores, foi possível propor melhorias ao sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos brasileiro, baseado na experiência de outros países.

A coleta de dados, para elaboração do estudo, foi realizada a partir das informações fornecidas pela base de dados da ABRELPE e do SNIS. Da ABRELPE foram explorados os Panoramas dos Resíduos Sólidos e do SNIS os Diagnósticos do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Vale ressaltar, que foram identificadas algumas diferenças na apresentação dos resultados e na metodologia utilizada nos documentos, mas nada que comprometesse a apresentação dos resultados.

No que tange a geração e coleta dos resíduos, foi analisada a influência do Produto Interno Bruto (PIB) na Geração de Resíduos, e observou-se que tais indicadores são diretamente proporcionais, ou seja, o aumento do PIB acarreta o aumento na geração de resíduos sólidos, e o oposto também foi verificado. Com relação a quantidade gerada comparando com a quantidade coletada, observou-se que em 2018, o Brasil ainda convive com a realidade de que 17.318 t/dia de RSU gerados não são nem coletados junto aos pontos de geração, e que em média 6.640.591 t/ano de resíduos sólidos gerados não foram coletados. Tal informação deixa claro o déficit que ocorre entre a geração e a coleta dos resíduos, visto que os sistemas de coleta de RSU variam de cidade para cidade e também para locais diferentes dentro da mesma cidade.

A evolução da coleta seletiva foi analisada a partir da quantidade de municípios que possuem esse tipo de serviço, comparando os dados apresentados pelas duas bases de dados, visto que os dados apresentados pelo SNIS, não levam em consideração a coleta seletiva executada por empresas autônomas do ramo, sucateiros ou catadores, representando uma acentuada diferença. A ABRELPE divulgou que em 2018, 4.070 municípios possuem coleta seletiva, enquanto o SNIS informou que apenas 1.322 municípios disponibilizam de tal serviço.

Quanto as alternativas de disposição final dos resíduos Sólidos, estas dividem-se em sua totalidade, praticamente, de três formas: lixões, aterros controlados e aterros sanitários. Ponderando os dados fornecidos pelos documentos percebeu-se uma divergência entre as informações apresentadas, como verificado em outros tópicos, devido a utilização de considerações e metodologias diferentes, porém ambos convergem no que diz respeito a superioridade do emprego do aterro sanitário como forma de disposição final. Verificou-se também, que após oito anos do lançamento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) poucas mudanças ocorreram no cenário da gestão de resíduos no Brasil, que ainda dispõe resíduos sólidos de forma inadequada, contabilizando 15,05 milhões de toneladas dispostas em unidades de disposição final consideradas inadequadas (aterros controlados e lixões), que correspondem juntas a 24,4% do total disposto em 2018.

Com relação as melhorias sugeridas, estas referem-se a aplicação de taxas pela coleta dos resíduos, sustentabilidade econômico-financeira do sistema de gerenciamento e educação ambiental da população. Se tais fatores forem efetivos, por consequência aumentará os índices de recuperação de materiais e reduzirá a quantidade de rejeitos enviados para disposição final.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros indica-se:

- 1) Aprofundar a análise das metodologias utilizadas pelo SNIS e ABRELPE;
- 2) Realizar um estudo analisando o GRSU em cada região do país, aprofundando a análise exploratória iniciada no presente trabalho;
- 3) Estudar como aplicar a cobrança pela coleta dos RSU;
- 4) Aplicar a ferramenta desenvolvida por BERTICELLI (2019) para uma seleção de municípios;
- 5) Repetir tal estudo daqui há 10 anos apresentando a evolução durante o período.

REFERÊNCIAS

ABAL – Associação Brasileira do Alumínio, 2020. **Latinhas Campeãs**. Disponível em: <<http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/latinhas-campeas/>>. Acesso em: 16 set. 2020.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. São Paulo, 1992.

ABRALATAS – Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio, 2020. **MUNDO: Índices de reciclagem da lata de alumínio para bebidas – 1991 a 2017 (em %)**. Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/grafico/grafico-8/>>. Acesso em: 16 set. 2020.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2003. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2004. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2005. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2007. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2008. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2009. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2010. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2011. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2012. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2013. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2015. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2016. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil**, 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

_____. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 28 ago. 2020.

ANGELO, A. C. M.; SARAIVA, A. B.; CLÍMACO, J. C. N.; INFANTE, C. E.; VALLE, R. 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**, v.143 p. 744-756, 2017.

ASED – ASSOCIATION SUISSE DES EXPOITANTS D’INSTALLATIONS DE TRAITEMENT DES DECHETS. (2014) *Tarifs d’incinération 2012- 2014 pour les déchets urbains des communes actionnaires, par installation*. Disponível em: <<http://vbsa.ch/fr/tarifs-dincinerationde-dechets-urbains-des-communes-actionnaires-par-installation/>>. Acesso em: 03 out 2020.

BAPTISTA, M., de CARVALHO, R. V., da Rocha Machado, P. H. P., & da NÓBREGA, M. D. J. R. (2019). ANÁLISE DE TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL. *Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula*, 2(1), 17.

BARROS, R. T. de V. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte: Ed. Tessitura, 2012. 424 p.: il.

BERTICELLI, R. . **Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida: modelo de apoio à tomada de decisão no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Passo Fundo, 2019.

BESEN, G. R., RIBEIRO, H., GUNTHER, W. M. R., JACOBI, P. R. Selective Waste Collection in the São Paulo Metropolitan Region: Impacts of the National Solid Waste Policy. **Ambiente & Sociedade** 17(3): 253 – 272, 2014.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2 de Agosto de 2010.

_____. Senado Federal. **Resíduos sólidos: os lixões persistem**. In: Revista em Discussão! Ano 5, n. 22, set. 2014.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2020. Versão preliminar para consulta pública. Disponível em: <<http://consultaspublicas.mma.gov.br/planares/wp-content/uploads/2020/07/Plano-Nacional-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Consulta-P%C3%ABblica.pdf>>. Acesso em: 03 nov 2020.

BRINGHENTI J. R.; GÜNTHER W. M. R; Participação social em programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos. **Revista Eng. Sanitária Ambiental**. v.16, n. 4, 2011.

BUTCHER, J. (Coord.). Vínculos de Negócios Sustentáveis em Resíduos Sólidos. 2007. 30p. Disponível em: <https://www.ethos.org.br/wp-content/uploads/2012/12/04_.pdf> Acesso em: 18 set 2020.

CARABIAS, W.J.V.; WINISTOERFER, H.; STUECHELI, A. Social aspects of public waste management in Switzerland. **Waste Management**, v. 19 (6), p. 417–425, 1999.

CASALI, D. J. **Tratamento do efluente de uma recicladora de plásticos utilizando coagulante não metálico e compostagem**. 2011. 146 f. Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2011.

CELERI, M. J.; CORTEZ, A. T. C. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos: O Brasil e Portugal em perspectiva**. Revista Espacios, v. 38, n. 2, p. 10-16, 2017.

CHAVES, G. L. D., SANTOS JR, J. L., ROCHA, S. M. S. The challenges for solid waste management in accordance with Agenda 21: a Brazilian case review. **Waste Management & Research**, 32(9), 19 – 31, 2014.

CHRISTENSEN, T. H.; GENTIL, E.; BOLDRIN, A.; LARSEN, A.; WEIDEMA, B. P.; HAUSCHILD, M. C balance, carbon dioxide emissions and globalwarming potentials in LCA-modelling of waste management systems. **Waste Management & Research**, v.27(8), p.707-715. 2009.

CINTRA, I.S.; COSTA, B.M.P.; LIBÂNEO, P.A.C. E CHERNICHARO, C.A.L. 2003. Proposta de metodologia para caracterização de resíduos sólidos urbanos. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais...CD. Joinville: ABES, 2003.

COELHO, S. T. et al. Biomass Residues as Electricity Generation Source in Low HDI Regions of Brazil. In: The XI Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission - CLAGTEE 2015, 2015, São José dos Campos/SP. CLAGTEE 2015 'Bioenergy for Electricity Generation and Ecological Issues in Power Plants', 2015.

COSTA, B.M.P.; LIBÂNEO, P.A.C.; CINTRA, I.S. E CHERNICHARO, C.A.L. 2003. Avaliação da metodologia de amostragem para caracterização de resíduos sólidos urbanos. In: 22º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais... CD. Joinville: ABES, 2003.

D'ALMEIDA, M.L. E VILHENA, A. (Coord.) 2000. *Lixo Municipal*. Manual de gerenciamento integrado. 2.ed. São Paulo, IPT/CEMPRE, 370 p.

DALTRO FILHO, J.; CARVALHO, J. S. Pilhas de Compostagem de Resíduos Orgânicos Mistos: Estudo Experimental Em Sergipe, 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, III-079, 2025 – 2034, 1999.

DE BAERE, L. 2003. *State-of-the-art of anaerobic digestion of municipal solid waste*. In: NINTH INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM, 2003, Cagliari, Italy. *Proceedings*. CISA p.1–9.

DEFRA – Department for Environment Food & Rural Affairs. **Incineration of Municipal Solid Waste**. 2013. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/221036/pb13889-incineration-municipal-waste.pdf>. Acesso em: 13 set. 2020.

DIAZ, L. F. Book review: *The Science of Composting* By Eliot Epstein Laricester, Technomic Publishing Co. **Waste Management & Research**, vol.17, n°. 2, p.66. 1999.

EPA – United States Environmental Protection Agency. National Overview: Facts and Figures on Materials, Wastes and Recycling. Disponível em: <<https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials>>. Acesso em: 04 out 2020.

EUROSTAT – ENVIRONMENTAL DATA CENTRE ON WASTE (2014b). *Eurostat News Release* n° 48/2014. Disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/publications/collections/news_releases>. Acesso em: 02 out 2020.

EUROSTAT – ENVIRONMENTAL DATA CENTRE ON WASTE. (2011) *Statistics in Focus no 31/2011*. Disponível em: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-11-031/EN/KS-SF-11-031-EN.PDF>. Acesso em: 02 out 2020.

EUROSTAT – ENVIRONMENTAL DATA CENTRE ON WASTE. (2014a) Disponível em: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/waste/data/database>>. Acesso em: 02 out 2020.

FERNANDES, F.; PIERRO, A.C.; YAMAMOTO, R. Y. Produção de fertilizante orgânico por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgotos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v 28 - n° 5, p 567- 574. 1993.

FRITSCH, I. E. **Resíduos Sólidos e seus aspectos legais, doutrinários e jurisprudências**. Porto Alegre. EU/Secretaria Municipal da Cultura. 2000.

GARCIA, C., HERNANDEZ, T., COSTA, F., CECCANTI, B., CIARDI, C. Changes in ATP content, enzyme activity and inorganic nitrogen species during composting of organic wastes. Canada. **Journal of Soil Science**, 72, 243-253, 1992.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GODDEN, B., PENNINGCKX, A.P., PERARD, A., LANNOYE, R. Evolution of enzyme activities during composting of cattle manure. European. **Journal of Applied Microbiology and Biotechnology**. 17, 306-310, 1983.

GRIPP, W. G.; **Aspectos Técnicos e Ambientais da Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos: considerações sobre a proposta para São Paulo**, São Carlos: 1998. 208 f.,

Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

GUTBERLET, J., KAIN, J.-H., NYAKINYA, B., OLOKO, M., ZAPATA, P., & CAMPOS, M. J. Z. (2017). Bridging weak links of solid waste management in informal settlements. *Journal of Environment & Development Policy Review*, 26(1), 106–131.

HENRY, R.K., YONGSHENG, Z., JUN, D. Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan case study. **Waste Management**, v. 26 (1), p. 92–100, 2006.

HERBERT, G. M. J.; KRISHNAN, A. U. Quantifying environmental performance of biomass energy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 292-308, 2016.

ISWA – International Solid Waste Association. Resíduos Sólidos: **Manual de Boas Práticas no Planejamento**. São Paulo, Brasil, 2014. 107 p.

JAHNEL, MC; MELLONI, R.; CARDOSO, EJB. Maturidade de Composto de Lixo Urbano. **Agricola Scientia**. 1999, v. 56, n° 2, p. 301-304.1999.

JUCÁ, J. F. T. *et al.* **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. FADE – Fundação Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. Jaboatão dos Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014.

KARAGIANNIDIS, A. **Waste to Energy: Opportunities and Challenges for Developing and Transition Economies**. Series: Green Energy and Technology. 372 p., 2012.

KLEIN, S. A. Anaerobic Digestion of Solid Waste. **Compost Science Emmaus**, v.137, p. 6-11, 1972.

KONTEH, F.H. Urban sanitation and health in the developing world: reminiscing the nineteenth century industrial nations. **Health & Place**, v. 15 (1), p. 69–78, 2009.

LAY, J. J.; LI, Y. Y.; NOIKE, T.; ENDO, J.; ISHIMOTO, S. Analysis of environmental actors affecting methane production from high-solid organic waste. **Water Science Technology**, v.36, p.493-500, 1998.

LIMA, F. D. M. **Quantificação e caracterização físico-química do material particulado fino (MP2,5): queima de biomassa em fornos de pizzaria na cidade de São Paulo**. Dissertação apresentada à Escola de Artes Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade, 2015.

LIMA, H. Q. de. **Determinação de parâmetros cinéticos do processo de digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos de Santo André – SP por meio de testes do potencial bioquímico de metano**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade Federal do ABC. Universidade Federal do ABC, Santo André – SP, 2016.

MANNARINO, C. Ferreira; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 379-385, 2016.

McDOUGALL F.; WHITE P.; FRANKE M.; HINDLE P. **Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory**. Oxford, UK/Malden, MA: Blackwell Sci. 2. ed. 2001.

MELARÉ, AG. V. de S.; GONZÁLEZ, S. M.; FACELI, K.; CASADEI, V. **Tecnologias e Sistemas de Suporte a Decisão como apoio na Gestão de Resíduos Sólidos: uma Revisão Sistemática**. DComp-TR-001/2014. Sorocaba: Departamento de Computação. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP, Brasil. 2014. Disponível em: <http://dcomp.sor.ufscar.br/wp-content/uploads/2016/05/DComp-TR-001.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2020.

MENEZES, R. A. A.; GERLACH, J. L.; MENEZES, M. A. Estágio atual da incineração do Brasil. ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública. **In: VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública**. Curitiba, 2000.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia para Elaboração de Planos de Gestão dos Resíduos Sólidos. Brasil**, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Compostagem Doméstica, Comunitária e Institucional de Resíduos Orgânicos- Manual de orientação**. Cepagro, SESC/SC. Brasília, 2017.

MINISTRY OF THE ENVIRONMENT. Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan: Toward a Sustainable Society. 2014.

MONDINI, C., FORNASIER, F., SINICCO, T. Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. **Soil Biology and Biochemistry** 36, 1587-1594, 2004.

MUNALA, G., & MOIRONGO, B. O. (2011). The need for an integrated solid waste management in Kisumu, Kenya. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 13(1), 65–78.

NEMEROW, N.L. **Environmental Engineering: Environmental Health and Safety for Municipal Infrastructure, Land Use and Planning, and Industry**. 6. ed. Wiley, Hoboken, N.J. 2009.

OFEV – OFFICE FEDERAL DE L'ENVIRONNEMENT. (2009) *Magazine «environnement»* 3/2009 - Déchets: une mine d'or. OFEV.

_____. (2011) Combustible waste and MSWI capacity 1996 2010. OFEV.

_____. (2013) *Magazine «environnement»* 3/2013 - La ronde des ressources. OFEV.

OGAWA, H. (2000). **Sustainable solid waste management in developing countries**. In: 7th ISWA International Congress and Exhibition, World Health Organization, Kuala Lumpur, Malaysia.

PAIVA, R. De L. M. Avaliação de Ciclo de Vida na Gestão de Resíduos Sólidos Orgânicos no Porto do Rio de Janeiro. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2016.

PELARIGO, L. (coord). (2006) Gestão de Agregados e Sucatas. Editora dos Núcleos Urbanos de Pesquisa e Intervenção. Lisboa.

PESSIN, N.; DE CONTO, S.M. E QUISSINI, C.S. 2002. Diagnóstico preliminar da geração de resíduos sólidos em sete municípios de pequeno porte da região do Vale do Caí, RS. In: III Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. ABES, mai. 2002, Porto Alegre.

QUEIRÓS, M. (2001) O Desafio Ambiental, as Políticas e a Participação dos Actores. Dissertação de Doutoramento em Geografia Humana. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, (polic.).

QUEIRÓS M., GONÇALVES M. (2006) Formalidade e informalidade nos modelos de gestão de RSU em áreas urbanas: a Grande Lisboa e Presidente Prudente no Pontal de Paranapanema/S.Paulo em análise. Revista Faz Ciência, Vol.8 (1): 203–222.

RECESA. Gestão integrada de resíduos sólidos – Resíduos sólidos urbanos. 2a. Edição ed. 2010.

REICHERT, G. A. (2013). **Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos:** o caso de Porto Alegre. 301 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

REIS, M.F.P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos.** Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2005.

SCHMIDT, L. (2007) País (in)sustentável - ambiente e qualidade de vida em Portugal. Esfera do Caos Editores. Lisboa.

SHARHOLY, M., AHMAD, K., MAHMOOD, G., & TRIVEDI, R. C. (2008). Municipal solid waste management in Indian cities—a review. *Waste Management*, 28, 459–467.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005. 138p.

SILVA, T. R., VENÂNCIO, T. M., JÚNIOR, A. O. S. B., & DE CARVALHO JUNIOR, F. H. (2018). Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos no Japão: História e Atualidade. *Conexões-Ciência e Tecnologia*, 12(1), 72-78.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2003. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2004. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2005. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2006. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2007. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2008. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2009. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2010. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2011. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2012. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2013. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2014. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2015. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2016. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2017. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

_____. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2018. Brasília: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.

SUISSE – CONSEIL FEDERAL SUISSE. (1990) Loi 814.600 - Ordonnance sur le traitement des déchets, 10 décembre 1990.

SUQUISAQUI, A.B.V. Elaboração e aplicação de ferramenta para avaliação da gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos para municípios brasileiros. Estudo de caso:

municípios de Araraquara (SP) e São Carlos (SP). 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia. Universidade Federal de São Carlos (UFSCar): São Carlos, 2020.

THE WORLD BANK (2014). World Development Indicators. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/>>. Acesso em: 04 out 2020.

TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of Solid Waste Management**. 2ª Ed. New York: McGraw-Hill, 2002.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. New York: McGraw-Hill, 1993. 978 p.

UE – UNIÃO EUROPEIA UE. (1999) Conselho da União Europeia. Directiva 1999/31/EC – Relativa à deposição de resíduos em aterros, 26 de abril de 1999.

UN-HABITAT - United Nations Human Settlements Programme. **Solid Waste Management in the World's Cities**. London: UN Hun. Washington, DC. Settl. Programm. 2010.

VERGANA, S. E.; TCHOBANOGLIOUS, G. Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, p. 277-309, 2012.

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1998.

VUORINEN, A.H. Effect of bulking agent on acid and alkaline phosphomonoesterase and b-glucosidase activities during manure composting. **Bioresource Technology**. 55, 201–206. 2000.

WASTE ATLAS (2020). Disponível em: <<http://www.atlas.d-waste.com/>>. Acesso em: 04 out 2020.

WILSON, D. C.; VELIS, C.; CHEESEMAN, C. Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. **Habitat International**, v.30(4), p.797-80. 2006.

WILSON, D.C. Development drivers for waste management. **Waste Management & Research**, v. 25 (3), p. 198–207, 2007.

ZANETI, I.C.B.B. 2006. *As sobras da modernidade*. O sistema de gestão de resíduos sólidos em porto Alegre, RS. 1.ed. Porto Alegre, RS: CORAG, 2006. 264p.

ZARATE, M.A., SLOTNICK, J., RAMOS, M. Capacity building in rural Guatemala by implementing a solid waste management program. **Waste Management**, v. 28 (12), p. 2542–2551, 2008.