

**CLAUDENILSON DOS SANTOS VIANA**

**A GESTÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL E IMPLICAÇÕES DAS TÉCNICAS MAIS  
APLICADAS NO PROCESSO DE GERENCIAMENTO**

**MANAUS-AM**

**2022**

**CLAUDENILSON DOS SANTOS VIANA**

**A GESTÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL E IMPLICAÇÕES DAS TÉCNICAS MAIS  
APLICADAS NO PROCESSO DE GERENCIAMENTO**

Projeto de Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental – Mestrado Profissional, PPG.EGPSA/ITEGAM, do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia com Linha de Pesquisa em: Energia e Meio Ambiente.

**Orientador:** Prof. Dr. Edson Pablo da Silva

**MANAUS-AM  
2022**

**CLAUDENILSON DOS SANTOS VIANA**

**A GESTÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL E IMPLICAÇÕES DAS TÉCNICAS  
MAIS APLICADAS NO PROCESSO DE GERENCIAMENTO**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental do Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia – ITEGAM.

Manaus-AM, 14 de setembro de 2022.



**Prof. Dr. Jandecy Cabral Leite**

Coordenador do PPG.EGPSA - ITEGAM

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Edson Pablo da Silva  
Orientador (PPG.EGPSA/ITEGAM)



Prof. Dra. Simone da Silva  
Examinador Interno (PPG.EGPSA/ITEGAM)



Prof. Dr. Flavio Augusto de Freitas  
Examinador Externo (CBA)

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Biblioteca do ITEGAM**

---

Viana, Claudenilson dos Santos, 2022 - A GESTÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL E IMPLICAÇÕES DAS TÉCNICAS MAIS APLICADAS NO PROCESSO DE GERENCIAMENTO / Claudenilson dos Santos Viana - 2022. 72 f., il: Colorido

Orientador: Dr(a). Edson Pablo da Silva

Dissertação: Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia, Programa de Pós Graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (PPG-EGPSA), Manaus - AM, 2022.

1. Resíduos 2. Gestão 3. Meio Ambiente

CDD - 1003.ed.2022.27

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais e minha família que me apoiaram e estiveram comigo ao longo desta jornada. E especial, à Sandra Regina, mulher devotada e que me ajudou tornar possível este sonho, dividindo seu tempo entre os cuidados para comigo, e acompanhando-me de forma perseverante todos os dias. Igualmente, satisfação aos meus irmãos e suas famílias, pelo carinho que sempre proporcionaram ao “tio Claudenilson”.

Retribuo também aos professores que se empenharam em passar seus conhecimentos com qualidade, cuidado e humanidade, fazendo com que nosso aprendizado fosse o melhor possível.

Agradeço especialmente ao meu Orientador, Prof<sup>o</sup>. Dr. Edson Pablo da Silva pela assistência, paciência e instruções para, ao final, resultar na obtenção de um trabalho de qualidade e em um aprendizado sólido.

***Epígrafe***

*“A responsabilidade social e a preservação ambiental significa um compromisso com a vida.”*

*João Bosco da Silva*

## *Dedicatória*

Aos filhos Sâmima Kellen, Matheus e Nandinha e ao neto Rafinha, meus orgulhos, pessoas especiais que vieram ao mundo para fazê-lo melhor.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Participação das regiões no total de RSU coletados (2017-2018).....	27
<b>Figura 2</b> - Faixa de temperatura da compostagem.....	43
<b>Figura 3</b> - Princípio da biorremediação.....	57

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Geração e Coleta de RSU no Brasil em 2017 e 2018.....	26
---	----

## **LISTA DE SIGLAS**

<b>ABRELPE</b>	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
<b>GIRS</b>	Gerenciamento Integral de Resíduos Sólidos
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>PNRS</b>	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<b>RSU</b>	Resíduos Sólidos Urbanos
<b>SINIR +</b>	Sistema Nacional de Informações de Gestão de Resíduos Sólidos

## RESUMO

VIANA, Claudenilson dos Santos. **A GESTÃO DE RESÍDUO NO BRASIL E IMPLICAÇÕES DAS TÉCNICAS MAIS APLICADAS NO PROCESSO DE GERENCIAMENTO**. 2022. p. 72. Dissertação do programa de pós-graduação em Engenharia, Gestão de Processos, Sistemas e Ambiental (EGPSA), Instituto de Tecnologia e Educação Galileo da Amazônia (ITEGAM), Manaus, 2022.

Um dos grandes desafios contemporâneos para as sociedades modernas são os elevados volumes de geração de resíduos sólidos, em decorrência dos altos níveis de crescimento populacional, e desenvolvimento econômico vividos por diversos países nas últimas décadas. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo investigar aspectos da geração de resíduos no Brasil e as principais técnicas de gestão de resíduos que são relatadas pela literatura. A metodologia utilizada compreende uma revisão bibliográfica, onde foram utilizados trabalhos recentes com o intuito de expor o cenário atual do contexto brasileiro, bem como técnicas de gestão de resíduos utilizadas de forma mais difundida. Por meios das informações levantadas, foi possível notar que o Brasil apresenta uma geração elevada de resíduos, com cerca de 216 toneladas diárias em todo território nacional. No Brasil a forma de gestão mais utilizada refere-se ao uso de aterros sanitários, contudo, os aterros demandam uma gestão complexa, além de uma faixa de terra grandiosa. Desta forma, soluções como a incineração pode contribuir para a gestão de resíduos tanto no Brasil como no mundo, uma vez que reduz consideravelmente o volume de resíduos. Outras alternativas relatadas neste estudo compreendem a biorremediação, reciclagem e compostagem. Destaca-se também que a reciclagem, apesar de um método altamente eficaz, acarreta a problemas de contaminação severos, o que faz com que as plantas precisem ter controles severos de limpeza e cuidados, evitando a contaminação dos colaboradores. Por fim, diversas medidas podem ser adotadas, mas devem considerar o contexto em que as cidades e o respectivo Estado se encontram, visando obter menores custos e maior eficiência.

**Palavras-Chave:** Resíduos; Gestão; Meio-ambiente.

## **ABSTRACT**

VIANA, Claudenilson dos Santos. **WASTE MANAGEMENT IN BRAZIL AND IMPLICATIONS OF THE MOST APPLIED TECHNIQUES IN THE MANAGEMENT PROCESS**. 2022. p. 72. Dissertation of the postgraduate program in Engineering, Process, Systems and Environmental Management (EGPSA), Galileo Institute of Technology and Education of the Amazon (ITEGAM), Manaus, 2022.

One of the great contemporary challenges for modern societies is the high volumes of solid waste generation, a result of the high levels of population growth and economic development experienced by several countries in recent decades. In this context, this work aimed to investigate aspects of waste generation in Brazil and the main waste management techniques that are reported in the literature. The methodology used comprises a literature review, where recent works were used in order to expose the current scenario of the Brazilian context, as well as waste management techniques used more widely. Through the information collected, it was possible to notice that Brazil has a high generation of waste, with about 216 tons per day throughout the national territory. In Brazil, the most used form of management refers to the use of sanitary landfills, however, landfills require complex management, in addition to a grandiose strip of land. In this way, solutions such as incineration can contribute to waste management both in Brazil and in the world, since it considerably reduces the volume of waste. Other alternatives reported in this study include bioremediation, recycling and composting. It is also noteworthy that recycling, despite being a highly effective method, leads to severe contamination problems, which makes the plants need to have strict controls for cleaning and care, avoiding the contamination of employees. Finally, several measures can be adopted, but they must consider the context in which cities and the respective State are located, aiming to obtain lower costs and greater efficiency.

**Keywords:** Waste; Management; Environment.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>14</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 IDENTIFICAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO PROBLEMA DE PESQUISA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3. OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.1. Objetivo geral.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2. Objetivos específicos.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4. CONTRIBUIÇÃO E RELEVÂNCIA DO ESTUDO.....</b>	<b>16</b>
<b>1.5. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....</b>	<b>17</b>
<b>1.6. ESCOPO DO ESTUDO.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>19</b>
<b>2. GESTÃO DE RESÍDUOS NO MUNDO E NO BRASIL.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UM PROCESSO DE MUDANÇAS.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS - LEI FEDERAL Nº</b>	
<b>12.305/2010.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3 INOVAÇÕES EM ATENÇÃO À PNRS.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3.1 Sistema Nacional de Informações de Gestão de Resíduos Sólidos (SENIR +).....</b>	<b>25</b>
<b>2.4 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>30</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 TIPO DE ESTUDO.....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 BASE DE DADOS.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 LIMITE DE TEMPO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4 IDIOMA.....</b>	<b>31</b>
<b>3.5 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.6 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO.....</b>	<b>31</b>
<b>3.7 COLETA DE DADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>32</b>
<b>4. TÉCNICAS UTILIZADAS NA GESTÃO DE RESÍDUOS.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 PRINCIPAIS ASPECTOS RELACIONADOS À GESTÃO DE RESÍDUOS</b>	
<b>SÓLIDOS NO BRASIL.....</b>	<b>32</b>

4.2 IMPACTOS DOS RESÍDUOS NO MEIO AMBIENTE E NA SOCIEDADE.....	34
4.3 TÉCNICAS UTILIZADAS NA GESTÃO DE RESÍDUOS.....	36
4.3.1 Reciclagem.....	36
4.3.2 Reciclagem do papel.....	37
4.3.3 Reciclagem do plástico.....	37
4.3.4 Reciclagem de vidro.....	39
4.3.5 Vantagens e desvantagens da reciclagem do vidro.....	39
4.3.6 Compostagem.....	41
4.3.7 Vantagens e desvantagens da compostagem.....	45
4.3.8 Incineração.....	46
4.3.9 Vantagens e desvantagens da incineração.....	50
4.4 ATERRO SANITÁRIOS.....	51
4.4.1 Vantagens e desvantagens do aterro.....	53
4.5 BIORREMEDIAÇÃO.....	55
4.5.1 Biorremediação <i>in situ</i> .....	58
4.5.2 Biorremediação <i>ex situ</i> .....	59
4.5.3 Vantagens e desvantagens.....	60
CAPÍTULO V.....	62
5. CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS.....	63

## CAPÍTULO I

---

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1 Contextualização

Nos últimos anos os problemas de poluição adquiriram tamanha magnitude e diversidade que a sociedade se tornou cada vez mais consciente de seus potenciais riscos. Como resultado da pressão social gerada, espera-se que os tomadores de decisão demonstrem uma vontade política crescente para resolver os problemas, atuando juntamente com especialistas solidamente treinados para oferecer soluções (ZAGO; BARROS, 2019).

Atualmente lê-se na internet, assiste-se na televisão e na imprensa de forma geral sobre a deterioração do meio ambiente, o que ajuda a formar a opinião da população sobre o problema. No entanto, esses meios de comunicação não fornecem uma cultura formal sobre o assunto, além de que, muitas vezes, induzem à adoção de soluções que, embora populares, nem sempre são adequadamente técnicas, economicamente e socialmente viáveis. Para propor soluções que não só “soem bem”, mas que possam ser colocadas em prática e, sobretudo, que melhorem e preservem o meio ambiente, é necessário ter, entre outras características, um bom conhecimento técnico tanto do problema como das opções de solução. É necessário documentar experiências sobre problemas ocorridos e como eles foram resolvidos para aproveitar esse conhecimento (SANTOS; ROVARIS, 2017).

Os resíduos e sua gestão são vetores ambientais sobre os quais podem ser realizadas ações específicas que não envolvem grandes esforços e que por sua vez, proporcionam um elevado benefício ambiental. Os estabelecimentos comerciais, como os mercados, por exemplo, passam a integrar medidas ambientais no seu dia a dia, estabelecendo novas estratégias que favoreçam a melhoria da imagem e maior competitividade no setor. Neste sentido, os estabelecimentos comerciais, em parcerias com órgãos públicos, quando possível, desempenham um papel importante na adoção de medidas que contribuam para melhorar a gestão dos resíduos que geram, sem perder a qualidade do seu serviço (PEREIRA; CURI; CURI, 2018).

Um outro fator que torna perceptível a relevância do tema, é a criação de Leis que tratam especificamente da gestão de resíduos no Brasil, como por exemplo, a Lei 12.305/2010 (Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos) que traz diretrizes e observações sobre como deve ser realizado o manejo destes materiais, sua destinação, descarte e reciclagem, considerando principalmente, a redução dos impactos ambientais causados por estes resíduos.

Sendo assim, o presente trabalho tem por objetivos descrever os principais modelos de gestão de resíduos que são utilizados no mundo, além de compreender os aspectos intrínsecos de cada processo, suas vantagens e desvantagens (SILVA; SOLER, 2019).

## **1.2 Identificação e justificativa do problema de pesquisa**

A gestão de resíduos sólidos é entendida como um sistema que inclui limpeza, coleta, seleção, transporte, disposição final e aproveitamento dos resíduos comunitários. Mas a maioria dos municípios cobre apenas parcial e moderadamente os processos de coleta, transporte e disposição final dos resíduos gerados nos mercados.

A partir da década de 1970, começaram a ficar evidentes os impactos adversos à saúde e ao meio ambiente causados por resíduos sólidos urbanos os quais não passam por uma gestão adequada. Os resíduos sólidos gerados nos municípios brasileiros, na maioria das cidades não recebe o tratamento adequado, sendo recolhidos por caminhão e posteriormente levados a aterros sanitários onde são depositados.

Uma característica que evidencia o problema do setor se dá devido ao fato de aterros estarem alcançando sua capacidade máxima em diversas regiões. Isso se dá porque nem todas as cidades possuem capacidade técnicas para criar e gerir seu próprio aterro, então, por vezes, um aterro recebe resíduos de diversas cidades, sendo necessária uma gestão otimizada que evite contaminação do solo e de águas subterrâneas, bem como atenda à pré-requisitos de segurança.

Com base no descrito acima, para uma gestão ótima de resíduos, é necessário também o transporte desse material de uma cidade para um aterro mais distantes. Esse transporte é comumente realizado em caminhões não específicos, onde esse material, compactado, é transportando com condições mínimas de segurança, podendo trazer risco de contaminação em casos de acidentes ou ainda de incêndio, dependendo do resíduo e das condições climáticas no momento do transporte.

Tendo este contexto como base, torna-se relevante conhecer e discutir as técnicas mais recentes utilizadas na gestão de resíduos que podem ser aplicadas no contexto brasileiro, cujo grande objetivo, entre outros, é sem dúvida, a proteção da saúde pública e a qualidade ambiental.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Investigar as técnicas de gestão de resíduos sólidos mais modernas que estão sendo aplicadas em diferentes contextos e regiões do Brasil, apontando alternativas que visem a não geração de resíduos sólidos, a redução de resíduos sólidos, a reutilização, a reciclagem, o tratamento e a destinação ambientalmente correta dos seus rejeitos.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Levantar quais são os principais aspectos relacionados à gestão de resíduos sólidos no Brasil através das análises de artigos científicos;
- Estudar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, os impactos dos resíduos no meio ambiente e na sociedade;
- Apontar as principais técnicas utilizadas na gestão de resíduos com base nos estudos realizados; e
- Elaborar e distribuir uma “cartilha educativa” em escolas de ensino fundamental sobre o incentivo à conscientização de crianças e adolescentes na importância do manejo correto dos resíduos descartados.

## **1.4 Contribuição e relevância do estudo**

A contribuição do estudo se dá em diversas esferas. A primeira delas é sobre ampliar os olhares e sentidos sobre as técnicas de gerenciamento de resíduos sólidos disponíveis e as mais aplicadas no Brasil, além de ser uma oportunidade para incentivar e fortalecer a conscientização sobre a seriedade que se deve ter para tratar corretamente o lixo, começando pela separação dos resíduos dentro dos próprios domicílios. Isso pode não parecer muito significativo, mas favorecerá nas etapas sucessivas da aplicação das diversas técnicas de gerenciamento de resíduos, e ainda proporcionará uma percepção ambiental positiva na sociedade.

Com a fomentação dessa ideia e para ter um maior alcance da disseminação das informações, visando ampliar o despertar do comportamento relacionado à educação ambiental, foi elaborada e distribuída uma “cartilha educativa” para crianças e adolescentes de escolas de ensino fundamental, a fim de reforçar a mentalização para a necessidade do manuseio adequado dos resíduos descartados.

Vale reforçar, ainda, que uma das premissas da pesquisa científica é a divulgação de resultados e a disseminação do conhecimento. Dessa forma, julga-se que a contribuição aqui descrita tem potencial de transformação nas opiniões das pessoas em relação à geração dos resíduos e seu manejo adequado, sendo de grande importância para aperfeiçoar a gestão integrada de resíduos sólidos no Brasil que contém o maior bioma do mundo, que é a floresta amazônica.

Neste sentido, as informações apresentadas neste estudo podem contribuir para a mudança de hábito de cada indivíduo, estimular discussões, buscar soluções relativas ao tratamento dos resíduos sólidos, bem como propiciar a obtenção de informações para promover o desenvolvimento de um pensamento crítico quando o assunto é a preservação da natureza, que é um problema muito sério e que a cada dia se aprofunda cada vez mais.

### **1.5 Delimitação da Pesquisa**

Devido ao isolamento social e limitações de locomoção por conta da pandemia de COVID-19, este estudo se limita à uma análise profunda da literatura moderna sobre a gestão de resíduos e sua contribuição ambiental, onde serão investigados os métodos mais eficientes e utilizados segundo o referencial selecionado, apontando possibilidades que podem ser adotadas pelo Brasil, ou que já estão em uso em determinadas regiões brasileiras.

### **1.6 Escopo do Estudo**

O 1º capítulo consiste na Introdução. Nesta etapa, contextualizam-se os aspectos acerca da gestão de resíduos e sua importância para o desenvolvimento da sociedade, visto que os resíduos e lixos são problemas oriundos do consumo e produção humana. Neste tópico também é apresentado o objetivo do referido estudo, bem como sua relevância e importância, justificando, portanto, sua elaboração.

O capítulo 2 aborda conceitos sobre a gestão de resíduos no Brasil, trazendo principalmente dados sobre produção e coleta destes resíduos, valores investidos nesses processos, diferenças entre aterros, lixões e outras destinações para resíduos no contexto brasileiro. Neste tópico também são abordados os principais aspectos legais sobre a Política de Resíduos Sólidos no Brasil.

No capítulo 3 será discorrido a Metodologia, sobre a qual será apresentada a forma como o trabalho foi realizado; ele refere-se a uma revisão da literatura, logo, neste tópico pode-se ler sobre as bases de estudos utilizadas para coleta de dados, bem como quais foram

os critérios de inclusão e exclusão para a seleção de artigos, teses, dissertações, livros e outros materiais utilizados.

O capítulo 4 no que lhe concerne, consiste-se de um aprofundamento das técnicas de gestão de resíduos que são utilizadas, neste caso, especialmente no Brasil. Vale lembrar que cada município e estado possuem características específicas sobre a destinação do lixo gerado em suas regiões, logo, diferentes técnicas podem ser observadas no Brasil. Assuntos como reciclagem, incineração, compostagem, entre outros, são detalhados e discutidos neste tópico.

Por fim, o capítulo 5 traz algumas considerações finais sobre a elaboração do respectivo estudo, sintetizando as ideias e conceitos que foram discutidos ao longo deste trabalho.

## CAPÍTULO II

---

### 2 GESTÃO DE RESÍDUOS NO MUNDO E NO BRASIL

#### 2.1 Gestão de resíduos sólidos: um processo de mudanças

Antes de abordar a gestão de resíduos sólidos no Brasil, é interessante registrar algumas informações a nível global em relação ao tema.

Segundo dados do relatório do Banco Mundial, com o tema: “Que desperdício 2.0 – Um retrato global da gestão de resíduos até 2050”, a gestão de resíduos sólidos afeta todas as pessoas no mundo, sejam os indivíduos ou governos prestando serviços de gestão de resíduos a seus cidadãos. Na medida em que as nações e as cidades se urbanizam, se desenvolvem economicamente e crescem em termos de população, o Banco Mundial estima que a geração de resíduos aumentará de 2,01 bilhões de toneladas em 2016, para 3,40 bilhões de toneladas em 2050. Pelo menos 33% desses resíduos são mal gerenciados globalmente por meio de despejo ou queima a céu aberto.

De acordo com a ONU, em 2019, os 7 bilhões de habitantes da terra são responsáveis por produzir todos os dias 1,4 bilhão de toneladas de resíduos sólidos urbanos. Para se ter uma ideia, é uma média de 1,2 quilogramas por pessoa diariamente; e o problema é que esse número tende a crescer ainda mais por conta da industrialização e do consumo exacerbado da população.

Uma em cada duas pessoas no mundo não tem acesso a sistemas de descarte controlados. A gestão inadequada de resíduos é um grande problema global para a saúde, a economia e o meio ambiente, alerta o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA) em um estudo, onde seus gestores apontam a existência de sistemas para solucionar esse problema, os quais melhoram a qualidade de vida e o meio ambiente e, ainda, são bons negócios, como demonstram vários Municípios que os implementaram com sucesso. Este artigo aponta os casos de dez cidades com gestão exemplar de resíduos, BANERJEE *et al.*, (2019).

O relatório do PNUMA e da ISWA indica os benefícios da gestão sustentável de resíduos: economia pública (a falta de sistemas adequados custa aos países entre cinco e dez vezes mais do que os investimentos necessários), enormes reduções nos gases de efeito estufa (GEE) envolvidos nas mudanças climáticas, criando milhões de empregos verdes e benefícios econômicos estimados em centenas de bilhões de dólares (CAMPITELLI; SCHEBEK, 2020).

Segundo Chen *et al.* (2020), em Malmö (Suécia), apenas 0,7% dos resíduos vão para aterros. Os responsáveis pelo estudo listam cidades dos cinco continentes que optaram por vários sistemas com resultados exemplares. Essas cidades demonstram que não apenas o problema do lixo é reduzido, mas vários benefícios econômicos e ambientais são alcançados. Algumas destas cidades são: Bo (Serra Leoa), Bogotá (Colômbia), Cebú (Filipinas), Cochabamba (Bolívia) e Dacca (Bangladesh).

Nesse contexto, um dos principais desafios enfrentados pelos países desenvolvidos e economias emergentes é a adoção de sistemas de gestão de resíduos sólidos adequados para facilitar a recepção, classificação e posterior utilização dos diferentes tipos de resíduos que são gerados diariamente (ANTHRAPER *et al.*, 2018). Yadav e Karmakar (2020), afirmam que os níveis atuais de geração de resíduos sólidos urbanos no mundo são de aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas por ano, e esse volume deverá aumentar para 2,2 bilhões de toneladas para o ano de 2025. Este é um alerta apelo que demonstra a necessidade de desenhar estratégias adequadas para lidar com este problema, e reduzir o impacto ambiental e social que causaria nas gerações futuras.

Um dos temas mais debatidos ultimamente é como desenvolver atividades econômicas sem causar danos ou gerar impactos nocivos à natureza. Particularmente, em relação à poluição e aos resíduos, essa preocupação tem levado a duas questões: a primeira - quais as melhores estratégias para reduzir a fonte de geração de resíduos e de poluentes em geral; e a segunda - como gerenciar adequadamente a quantidade crescente de resíduos gerados a cada dia (SCHUELER; KZURE; RACCA, 2018).

Por algum tempo, Freitas, Besen, Jacobi (2017) relataram que na década de 1970, teve início da crise à poluição, que foi fruto de uma produção e consumo exagerados, que naquela época passavam a fazer parte do modelo civilizador da sociedade global, abrindo uma gama de possibilidades na política de poluição e suas relações com a sociedade. A questão que se colocou, então, foi de continuar com o modelo tradicional de gestão de resíduos, que têm suas raízes no paradigma oitocentista da higiene pública, ou se era necessário mudar para um novo modelo que afetasse a modificação de processos e atividades da população, incluindo a indústria, o transporte e o comércio de produtos, com o objetivo de reduzir o desperdício na fonte.

Nesta linha, o Gerenciamento Integral de Resíduos Sólidos (GIRS) é uma metodologia onde os resíduos sólidos são manipulados para sua redução, reciclagem, transformação e destinação, bem como para o controle sistemático e determinado de elementos funcionais

como sua geração, manuseio, coleta, separação, processamento e transformação, transferência, transporte, despejo e recuperação do solo após o fechamento do aterro (ZAGO; BARROS, 2019).

O conjunto de procedimentos operacionais e gráficos destinados à identificação, avaliação dos efeitos ambientais de um projeto e das alternativas contempladas para o mesmo, incluindo a seleção da melhor alternativa do ponto de vista de seus efeitos ambientais, é conhecido como método de avaliação de impacto ambiental (ZAGO; BARROS, 2019).

Um método de engenharia para a disposição de resíduos sólidos de forma controlada é o uso de aterros sanitários, de forma a proteger a saúde pública e o meio ambiente. O resíduo é espalhado em camadas finas, compactando-o até o menor volume possível e cobrindo-o com terra e outro material adequado, ao final de cada jornada de trabalho. Estes, em qualidade, podem variar de lixões totalmente não controlados a aterros sanitários com procedimentos de seleção e recuperação de materiais úteis de resíduos sólidos para reciclagem, ou obtenção de energia pela conversão de resíduos sólidos em calor produzido na incineração ou seus processos biológicos anaeróbicos (SANTOS, 2015).

Santos (2015), ainda relata que aterros sanitários podem ser classificados de diferentes formas, de acordo com o tipo de resíduo que ali é colocado. Desta forma, os aterros podem ser destinados para resíduos sólidos urbanos não selecionados, aterros para resíduos sólidos triturados, aterros para constituintes individuais de resíduos, ou seja, que recebe apenas um tipo de resíduos, ou ainda aterros para maximizar a produção de gás e aterros como unidades de tratamento integral e aterros em áreas úmidas.

No Brasil, a maioria dos locais para destinação de resíduos são os aterros sanitários, aterros controlados e lixões. Vale destacar que os aterros, como exposto acima, podem variar em função do tipo de resíduos tratados, mas que de forma geral estão dentro das normas ambientais, enquanto aterros controlados e lixões são equivalentes em questão de dano ambiental, já que nenhum dos dois demandam a proteção ambiental necessária para o funcionamento dele, o que faz com que seja necessária uma gestão eficiente a cada ano.

Nesta linha, atualmente existem duas abordagens dominantes para a gestão de resíduos sólidos. Nos países centrais, o uso intensivo de tecnologia para tratamento de resíduos é favorecido, enquanto nos países periféricos é comum que os separadores participem de uma maneira formal, e principalmente informal na gestão de resíduos. Esses modelos servem como

ferramenta integrada de controle de resíduos, alimentando fortemente a indústria de reciclagem e o tratamento final de resíduos (EHELIYAGODA; SWOT, 2016).

Esses modelos de tratamento de resíduos estão relacionados em alguns pontos, por exemplo, com a intervenção *ex post*, ou seja, um modelo de intervenção que tem sua avaliação realizada após sua implementação. A burocracia do sistema econômico, apoiada pelos Estados, apresenta o modelo de controle da poluição de resíduos. Esse modelo é possível a partir da elaboração de uma rede de regulamentações ambientais e do desenvolvimento de sistemas de tratamento de resíduos com base em dispositivos tecnológicos (EHELIYAGODA; SWOT, 2016).

Por outro lado, a noção de prevenção consiste na criação de estratégias para evitar ao máximo a geração de resíduos na fonte. O modelo preventivo requer mudanças que afetam o mundo das estruturas sociais, possíveis por meio da articulação do ambiente natural com as relações sociais e as subjetividades humanas. Exige também que o tratamento dos resíduos seja feito, em muitos casos, da mesma forma que os processos naturais de transformação dos resíduos, como a compostagem e a decantação dos resíduos das unidades de saúde (TARFASA; BROUWER, 2018).

Nesta continuação, para o grupo de ambientalistas do Greenpeace, conforme expõe Narethong (2020), a solução para o problema dos resíduos sólidos só pode passar por uma redução na sua geração ampliada, por isso propõe o modelo de resíduo zero: resíduo zero é um princípio que enfrenta o problema dos resíduos de sua origem, incidindo não só no tratamento de resíduos para que os materiais sejam reciclados e recuperada matéria orgânica, mas também no design dos produtos, para que se prolonguem a sua vida útil e sejam feitos com materiais amigos da natureza. O objetivo final é um sistema que trate da recuperação de materiais em vez de seu descarte.

Ainda sobre os resíduos sólidos, de acordo com a Agenda 21 global, a forma mais adequada de solucionar o problema dos resíduos sólidos é mudar os modelos atuais de produção e consumo: é necessário a adoção de regulamentações nacionais e internacionais que visam aplicar tecnologias de produção limpa, resgatando os resíduos na origem e eliminar as embalagens que não são biodegradáveis, reutilizáveis ou recicláveis, é um passo essencial para a criação de novas atitudes sociais e prevenção dos impactos negativos do consumo desnecessário (NARETHONG, 2020).

Assim, no debate atual sobre resíduos sólidos, o ponto crítico não é tanto o desenvolvimento de técnicas de tratamento de resíduos com o uso de tecnologia, mas sim a mudança do modelo de tratamento final para um que seja ambientalmente adequado, socialmente justo e economicamente viável (AMRITHA; ANILKUMAR, 2016). Ou seja, um modelo que tem como foco a prevenção dos resíduos gerados na sociedade.

O Anuário da Reciclagem (2021) estabeleceu em seu banco de dados a existência de 1.850 cooperativas e associações de catadores e catadoras de materiais recicláveis no Brasil, totalizando-se um universo de 9.754 profissionais em atividade da reciclagem. E devido a riscos aos quais estão expostos, continuam recebendo orientações técnicas para seguirem trabalhando com segurança.

## **2.2 A Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei Federal nº 12.305/2010**

A chamada Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) envolve as pessoas físicas e jurídicas, de direito público ou privado e a população num dever cívico direto em relação aos resíduos sólidos que geram ou que estão obrigadas a gerir. Seu texto original formulado em 1991. Por interesses políticos e econômicos, esse Projeto de Lei ficou paralisado nos trâmites da burocracia brasileira até agosto de 2010, quando, por fim, o projeto se transformou na lei nº. 12.305 / 2010, promulgada pelo Governo Federal em 2 de agosto de 2010 (REIS *et al.*, 2018).

Com o objetivo de conhecer as demandas dos agentes sociais que atuam no setor de resíduos, entre 2007 e 2010, os senadores e deputados da República mantiveram conversas com empresários recicladores, representados pelo Compromisso Empresarial pela Reciclagem, e empresas prestadoras de serviço de resíduos, congregada na Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Também com representantes do Movimento Nacional dos Separadores de Materiais Recicláveis, segundo Reis, Mattos e Silva (2018).

A tentativa de discutir o projeto para que posteriormente seja sancionado, como expõe Gonçalves (2016), indicando avanços da atual administração pública sobre o tema e demonstra a sensibilidade do Governo em criar uma lei o mais próximo possível dos interesses dos sujeitos diretamente envolvidos. Resumidamente, as questões abordadas pelos empresários e separadores foram: mais investimentos governamentais para o setor de resíduos; fortalecer a articulação do setor público com a iniciativa privada e o poder público fiscalizando a gestão de resíduos e realizando contratos de concessão com empresas de

prestação de serviços; difusão de programas municipais de coleta seletiva e inclusão social de separadoras nos referidos programas; maior investimento público para estruturação de associações e cooperativas de separadores; implantação de aterros sanitários e erradicação de aterros não controlados e clandestinos; aproveitamento econômico de resíduos por meio de reciclagem, compostagem e geração de energia por processos de incineração e metalização.

Os interesses dos agentes envolvidos na questão dos resíduos sólidos estão vinculados e sugerem o mesmo direcionamento para a resolução dos referidos problemas. Por parte do governo, é a partir da PNRS que em vigor resulta em um modelo integral de gestão de resíduos, que fará uso de todas as possibilidades técnicas e sociais para a gestão eficiente dos resíduos urbanos brasileiros. Esquemáticamente, a política nacional indica como objetivos em seu sétimo capítulo (BRASIL, 2010):

- I - Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
- II - Não geração, redução, reaproveitamento, reciclagem e tratamento de resíduos; disposição final ambiental adequada;
- III - Estimular a adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo;
- IV - Adoção e desenvolvimento de tecnologias limpas;
- V - Redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
- VI - Incentivo à indústria de reciclagem;
- VII - gestão integrada de resíduos (municípios, iniciativa privada e sociedade);
- VIII - cooperação entre governo e setor privado para a gestão integrada de resíduos;
- IX - Capacitação técnica contínua do setor de resíduos;
- X - Regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização dos serviços de resíduos;
- XII - Integração / participação dos separadores em ações que envolvam o ciclo de vida dos produtos;
- XIII - incentivo à implementação da avaliação do ciclo de vida dos produtos;
- XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental;
- e
- XV - Incentivo às práticas sustentáveis.

A partir de 2010, quando o cumprimento da regulamentação passa a ser obrigatório, observa-se que as administrações públicas municipais formulam planos de gestão de resíduos a partir da articulação do setor público com o setor privado na execução dos serviços de resíduos, o que confere às empresas um papel cada vez mais destacado. Também buscam agregar as separadoras nos programas de coleta seletiva, sob a justificativa da inclusão social desses sujeitos por meio do trabalho de separação dos recicláveis. Paralelamente, os

separadores têm se reunido em associações e cooperativas, embora isso não seja viável em termos de inclusão social (SILVA e SOLER, 2019).

## **2.3 Inovações em atenção à PNRS**

A fim de atender a doutrina estabelecida na Política Nacional de Resíduos Sólidos, o Ministério do Meio Ambiente criou, entre outros programas de ações sustentáveis, o seguinte sistema:

### **2.3.1 Sistema Nacional de Informações de Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR +)**

Criado em 2019, é um instrumento da PNRS, no qual é possível saber pela internet, a realidade da gestão de resíduos sólidos no país. É moderno e mostra em 3D, onde o empreendedor pode investir para gerar energia a partir do lixo, investir para fazer uma cadeia de reciclagem.

## **2.4 Gestão de resíduos sólidos urbanos nas capitais brasileiras**

Segundo dados do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020, a geração saiu de 66,7 milhões de toneladas em 2010 para 79,1 milhões em 2019, uma diferença de 12,4 milhões de toneladas. O mesmo estudo diz ainda que cada brasileiro produz, em média, 379,2 quilogramas de lixo por ano, o que corresponde a mais de 1 quilograma por dia.

Dados relacionados ao processo de gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) mostram que o Brasil tem um total anual de 79,9 milhões de toneladas. A comparação entre a quantidade de RSU gerado e seu correspondente valor arrecadado, que foi de 72,5 milhões de toneladas, indica uma taxa de cobertura de coleta equivalente a 90%, o que significa que existem aproximadamente 7,4 milhões de toneladas de resíduos sem coleta em nível nacional (ABRELPE, 2015).

Em relação à destinação ou destinação final, obteve-se um aumento no índice de destinação adequada para o ano de 2015, registrando cerca de 42,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos RSU, ou seja, 58,5% dos resíduos coletados foram encaminhados para aterros sanitários (equivalente a impermeabilizados depósitos de lixo com tratamento subterrâneo). Apesar disso, verificou-se um aumento do volume de resíduos destinados indevidamente, com cerca de 30 milhões de toneladas destinadas a “lixões” (equivalente a depósitos de lixo a céu aberto) ou “aterros controlados” (equivalente a depósitos de lixo com cobertura do solo (ABRELPE, 2015). De acordo com o Panorama dos Resíduos no Brasil - 2015, outros indicadores como os recursos aplicados pelos municípios para serviços de

limpeza também aumentaram 1,7% em relação a 2014, o que equivale a R\$ 10,15/hab/mês, assim como a geração de empregos diretos que também apresentou ligeiro aumento.

A seguir, a tabela 1 apresenta a comparação entre as variáveis geração e captação de RSU durante o período de 2017 a 2018. É importante destacar que neste período, houve um aumento de 0,81% na geração de RSU, o que representa um total de 1.761 toneladas de resíduos a mais por dia. Por outro lado, houve evidência de aumento de 1,63% na arrecadação total (t / dia) e de 1,25% na arrecadação per capita (Kg/hab/dia), o que representa uma pequena melhora em relação ao ano de 2018.

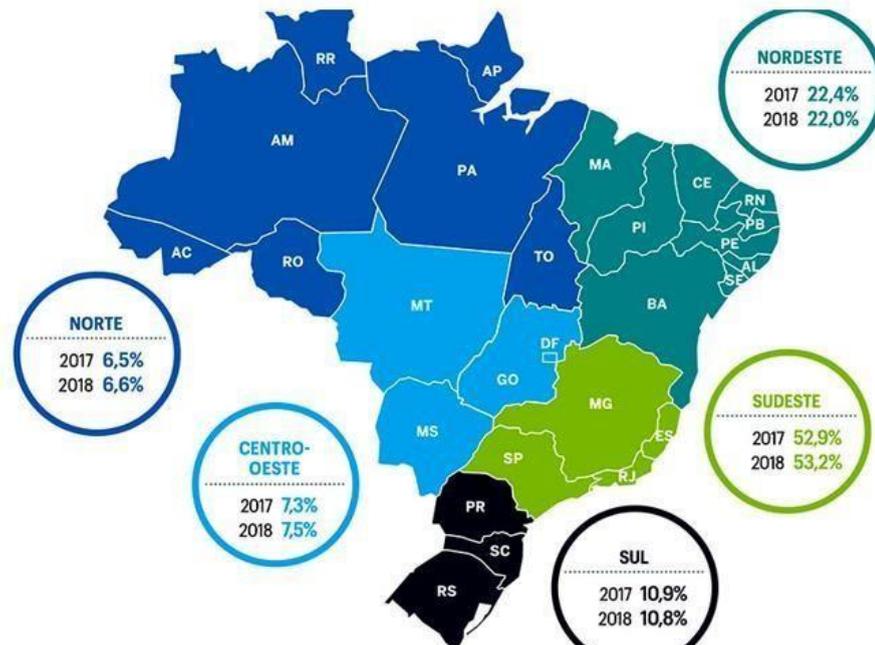
**Tabela 1 – Geração e coleta de RSU no Brasil em 2017 – 2018**

Geração de RSU				Coleta de RSU			
Geração total de RSU (t/dia)		Geração de RSU per capita (kg/hab/dia)		Coleta de total de RSU (t/dia)		Coleta de RSU per capita (kg/hab/dia)	
2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018
214.868	216.629	1,035	1,039	196.050	199.311	0,944	0,956
<b>+0,81%</b>		<b>+0,38%</b>		<b>+1,63%</b>		<b>+01,25%</b>	

Fonte: GRI (2020).

A participação das diferentes regiões do Brasil na coleta de RSU pode ser observada na Figura 1, onde se destaca a região Sudeste, com participação de 52,9% (2017) e 53,2% (2018), o Nordeste com 22,4% (2017) e 22,0% (2018), a região Sul, com participação de 10,9% (2017) e 10,8% (2018) e, por fim, as regiões Centro-Oeste e Norte, com contribuições de arrecadação de 7,3% (2017) – 7,5% (2018) e 6,5% (2017) – 6,6% (2018), respectivamente (MESQUITA, 2019).

**Figura 1** – Participação das regiões no total de RSU coletados (2017-2018)



Fonte: Mesquita (2019).

O processo de reciclagem e reaproveitamento de resíduos constitui um grande desafio para países como o Brasil, onde seus altos níveis de geração de RSU, em todas as suas classificações, exigem sua reciclagem ou reaproveitamento por alternativas sustentáveis (PEREIRA *et al.*, 2018).

Outro elemento importante a se levar em consideração, é que muitos municípios que recolhem menos de 2% do material seco, conseguem recuperar mais de 60%. A verdade é que em termos de reaproveitamento de resíduos nas capitais brasileiras, os níveis ainda são muito baixos, o que é um grande desafio. Alguns municípios apresentam taxa de reciclagem incipiente, porém, diferenciada em relação a outros municípios, como é o caso das seguintes capitais: Palmas (9,77%), João Pessoa (7,42%), Brasília (6,38%), Goiânia (6,17%), Florianópolis (5,85%), Curitiba (5,45%) e Porto Alegre (5,02%), que apresentam mais de 5% do lixo não orgânico coletado conforme aponta um relatório da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos (ABRELPE, 2015).

Uma estratégia adotada no Brasil foi a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída em 2010, como mecanismo para tratar os resíduos de forma ambientalmente segura e adequada, bem como a segregação, reaproveitamento de materiais e reversão logística (MAIELLO; BRITO, 2018).

Dessa forma, a teoria da Economia Circular está voltada para o atendimento aos preceitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, cuja premissa sustenta a transformação dos resíduos em recursos e com ela, seu retorno aos sistemas de produção e consumo. Como alternativas tecnológicas para desviar resíduos dos “aterros”, algumas são identificadas como compostagem, incineração com uso de energia, recuperação de materiais por meio de reciclagem, entre outras; todos eles com alto potencial como métodos mais sustentáveis de gestão de RSU; entretanto, para os países em desenvolvimento, essas alternativas ainda são incipientes (SANTOS, 2017).

Considerando sua reconhecida importância, este trabalho apresenta, além das atividades de reciclagem de material seco, tais alternativas de reaproveitamento para grande parte dos resíduos gerados, ou seja, resíduos orgânicos. Para isso, serão descritos dois tratamentos para processos biológicos associados à fração orgânica, composto e digestão anaeróbia. As usinas de compostagem, por sua vez, realizam a decomposição biológica de materiais orgânicos por meio da ação de microrganismos, que podem ser aeróbios ou anaeróbios. No Brasil, essas unidades constituem depósitos a céu aberto, com posterior seleção (SANTOS, 2017).

O composto é uma alternativa ainda incipiente no Brasil, nem mesmo refletida pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2015). Alguns autores como Godecke e Walerko (2015), consideram que para a viabilização desta tecnologia são necessários alguns estudos tais como: mercado consumidor, serviço de coleta seletiva, área para instalação de usinas, recursos financeiros e humanos.

Outro processo de tratamento da fração orgânica por processos biológicos, Klein *et al.* (2018) expõem que é a biodigestão dos resíduos da biomassa, que consiste em um processo fermentativo, semelhante ao composto, porém, totalmente anaeróbico, gerando biogás e biofertilizante como subprodutos, ambos utilizados como compostos simples.

Em relação a essa alternativa, o potencial do biogás ainda não foi totalmente aproveitado pela ciência contemporânea, visto que seu uso se concentra essencialmente como combustível para motores estacionários e cozimento de alimentos. Este processo de conversão de biomassa em energia pode liberar partículas nocivas ao meio ambiente, porém, sua alta eficiência energética e tecnológica permite que seja reconhecida como uma fonte de energia de baixo impacto ambiental se o aproveitamento das fontes de biomassa for feito em uma

maneira racional. Dessa forma, a biodigestão é considerada uma alternativa renovável capaz de atender às múltiplas demandas dos processos modernos (SILVA; SOLER, 2019).

Nesse sentido, pode-se concluir que é preciso caminhar em direção a uma gestão dos resíduos sólidos que busque a eliminação de seus impactos negativos no ambiente e na saúde da população. Para tanto, já é possível contar com um marco legal, uma vez que foi sancionada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, com diretrizes para o planejamento e a gestão dos resíduos no país, tais como a obrigatoriedade da preparação de planos municipais de gerenciamento de resíduos, o estabelecimento de prazos para a erradicação dos lixões e a implantação da coleta seletiva (HOLZMAN, 2012).

## CAPÍTULO III

---

### 3 METODOLOGIA

Para atender aos objetivos propostos, foram utilizados os seguintes métodos:

**Objetivo 1:** Levantar quais são os principais aspectos relacionados à gestão de resíduos sólidos no Brasil. Metodologia utilizada: Coleta de dados em periódicos e sites governamentais que descrevem a situação do contexto brasileiro em relação à produção de resíduos sólidos.

**Objetivo 2:** Estudar os impactos dos resíduos no meio ambiente e na sociedade: Metodologia utilizada: Revisão integrativa de trabalhos de cunho científico, especialmente teses, dissertações, e, principalmente artigos científicos.

**Objetivo 3:** Apontar as principais técnicas utilizadas na gestão de resíduos. Metodologia utilizada: Coleta de informações e dados em artigos científicos publicados em periódicos online em língua portuguesa e/ou inglesa.

#### 3.1 Tipo de estudo

Trata-se de uma revisão bibliográfica sistemática, de caráter exploratório, descritivo explicativo, a partir de um levantamento bibliográfico eletrônico, em diferentes bases de dados. Uma investigação exploratória, procuram dar uma visão geral sobre uma determinada realidade. Esse tipo de pesquisa é realizado principalmente quando o tema escolhido é pouco explorado (LAKATOS; MARCONI, 2010).

Lakatos e Marconi (2010) afirmam que um estudo descritivo explicativo consiste em descrever situações e eventos e tentam explicar estas situações. Ou seja, como um determinado fenômeno é e como se manifesta, e o que leva a ocorrência deste fenômeno. Os estudos descritivos procuram especificar as propriedades importantes das pessoas, grupos, comunidades ou qualquer outro fenômeno que seja objeto de análise, medindo ou avaliando diversos aspectos.

#### 3.2 Base de dados

Os dados foram coletados, utilizando os termos: “Gestão de Resíduos”; “Alternativas” e “Resíduos Sólidos Urbanos”. As bases de dados que foram utilizadas: SciELO (Scientific Electronic Library Online), Web of Science, Scopus e Google Acadêmico, sendo este último utilizado para localizar artigos em diversas bases de dados existentes.

### **3.3 Limite de tempo**

Foram inseridos neste estudo artigos encontrados nas bases de dados disponíveis, considerando publicações entre os anos de 2015 e 2021 para artigos, teses e dissertações. Vale ressaltar que os trabalhos utilizados e publicados antes de 2015 são compreendidos como obras clássicas da área ambiental e são de suma importância para este segmento de estudo. As demais referências, como exposto, são mais recentes.

### **3.4 Idioma**

Para este estudo foram utilizados trabalhos em inglês que abordam a gestão de resíduos sólidos de forma geral, nos quais os conceitos e definições podem ser encontrados com mais frequência em diversas obras. Materiais sobre a questão brasileira foram buscados exclusivamente na língua portuguesa, uma vez que se busca compreender o contexto brasileiro.

### **3.5 Critérios de inclusão**

Foram incluídos artigos científicos que trouxeram em seu título, objetivo e conclusões estudos que contenham em seu título as palavras descritas no tópico anterior, trabalhando com o assunto em questão e que foram publicados nas bases de dados. Além disso, destaca-se que foram incluídos os artigos no tempo que foi descrito acima ou artigos ou obras clássicas publicadas anteriores a 2015.

### **3.6 Critérios de exclusão**

Serão excluídos artigos que não apresentam em seu título, objetivo e/ou conclusão, temática relacionada ao tema proposto em questão, que não estejam incluídos entre o intervalo temporal estipulado ou que já foram rastreados em outras bases de dados – em duplicata. Também excluirá materiais que não possuem cunho científico – sem ISSN ou DOI.

### **3.7 Coleta de dados**

A coleta de dados se deu da seguinte forma: realizou-se uma leitura analítica com o objetivo de organizar informações contidas nos estudos selecionados que se relacionem com os objetivos propostos na presente revisão. Em seguida, realizou-se uma leitura seletiva, a partir da qual, selecionou-se os trabalhos finais.

## CAPÍTULO IV

---

### 4 TÉCNICAS UTILIZADAS NA GESTÃO DE RESÍDUOS

#### 4.1 Principais aspectos relacionados à gestão de resíduos sólidos no Brasil

O problema dos resíduos sólidos no Brasil segue a tendência mundial que é a geração ampliada e diversificada de resíduos nos grandes centros urbanos. Na esfera interna, três características são identificadas: a) problemas socioeconômicos relacionados às condições subumanas dos separadores e à precariedade de seu trabalho; b) poluição ambiental gerada pelo lançamento descontrolado de grande parte dos resíduos gerados; e c) deficiências na prestação de serviços de resíduos, segundo OLIVEIRA *et al.*, 2016).

Deficiências nos serviços de limpeza e coleta de lixo nas cidades brasileiras geraram cerca de 10 milhões de toneladas de resíduos em 2009, ou 16,4% dos resíduos gerados, deixando de ser coletados naquele ano. A precária situação sanitária e ambiental dos aterros não controlados torna esses locais insustentáveis do ponto de vista ambiental. Também é inaceitável do ponto de vista social, devido a existência de separadores, que em condições desumanas, tornam a recolha de recicláveis nos referidos aterros, uma fonte de rendimento (ABRELPE, 2015). Em 2010, segundo a mesma associação, o gasto público com gestão de resíduos era de R\$ 0,13 per capita, como aponta um relatório da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Esse baixo investimento é criticado pelos agentes do setor de resíduos, pois para eles impede a modernização dos serviços, que atua sem a eficiência necessária para a extensão dos serviços. 45,1% das administrações públicas gerenciam seus resíduos de forma tradicional, recolhendo e retirando os resíduos da cidade.

Um outro estudo mais recente, indica que a geração de resíduos sólidos saltou para 79 milhões de toneladas em 2018/2019, sendo cerca de 92% coletados e os outros 8% descartados de forma irregular no meio ambiente (ESTADÃO, 2019). Apesar dos dados sobre o setor serem nebulosos no Brasil, um estudo internacional indica que o País gasta cerca de 3,8% de seu Produto Interno Bruto (PIB) (ABREN, 2021), valor mais alto que o investimento em transporte, cultura, urbanismo entre outras áreas diversas, o que aponta que uma gestão eficiente reduz esse gasto possibilitando investimento em outras áreas.

Como alternativa à mudança na gestão de resíduos no Brasil, Barros e Silveira (2019) propõem uma gestão integrada para mudar a situação do setor de resíduos no país. Os autores destacam que a falta de capacitação técnica e de recursos financeiros, exigida por esse modelo de gestão, retarda a mudança da gestão tradicional para integrá-la a um modelo mais eficiente.

Proposta semelhante à anterior é feita por Mol (2020), e acrescenta que uma gestão integrada que vise ser ambientalmente adequada, economicamente viável e socialmente inclusiva deve ser conduzida por associações e/ou cooperativas de separadores. Ao mesmo tempo, o Estado deve desenvolver políticas públicas que subsidiem os municípios para a aquisição de equipamentos tecnológicos para tratamento de resíduos.

Recentemente, as administrações públicas brasileiras têm colocado a gestão de resíduos entre o tratamento final e a separação dos recicláveis. O discurso ecológico oficial destaca que esse modelo de gestão atende às demandas socioeconômicas e ambientais dos resíduos. Entretanto, não foram realizadas ações de gestão de resíduos de acordo com as disposições da Agenda 21 global, nem foi escolhido o modelo preventivo (MARCHI, 2015).

A opção oficial pelo tratamento final dos resíduos contempla a participação da iniciativa privada na gestão dos resíduos. Os contratos celebrados entre a administração pública e as empresas para a gestão de resíduos finalistas são por concessão, mais rentáveis do ponto de vista empresarial. Este fato confirma o que foi afirmado no relatório elaborado por Costa, Costa e Freitas (2017) para a Organização Internacional do Trabalho, de que no Brasil existe uma forte pressão para a privatização dos serviços de resíduos, à semelhança do que vem ocorrendo com outros serviços no Brasil, especialmente no setor de saneamento.

Nesta perspectiva, é importante destacar a criação da Lei nº 12.305/10 que se refere à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que aponta diretrizes sobre como órgãos públicos e entidades privadas devem lidar com o lixo, exigindo transparências em todas as suas respectivas atividades. A partir de 2014 até 2021, a respectiva lei busca a extinção dos lixões no Brasil, além de buscar a não geração de resíduos, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final dos resíduos, necessariamente nesta ordem, visando assim reduzir o volume de resíduos gerados (BRASIL, 2010).

Em relação à separação dos materiais recicláveis, segundo o discurso oficial, a participação das separadoras em programas de coleta seletiva e a estruturação da cadeia produtiva da reciclagem visam à inclusão socioeconômica desses sujeitos. Além disso, a separação dos resíduos gera benefícios ambientais e econômicos com o desenvolvimento da reciclagem, e vantagens econômicas para as administrações públicas. O discurso é ratificado pelo setor empresarial que agrega a perspectiva de eficiência nos gastos com resíduos (COSTA *et al.*, 2017).

No entanto, na prática, como reflexo da falta de uma política nacional de inclusão social, o separador de recicláveis é pouco incluído economicamente e socialmente excluído. Conforme aponta Zambon (2017), municípios que tentam resolver o problema dos separadores estão condenados a sofrer o efeito paradoxo. Ou seja, o sucesso dos programas de inserção social será o seu ponto de inflexão, já que os municípios vizinhos vão exportar seus separadores para outras cidades. O fluxo migratório continuará até que se esgotem as perspectivas de melhorias para os súditos emigrantes na cidade receptora.

Mudanças na gestão de resíduos sólidos no Brasil aumentaram a eficiência dos serviços. O governo federal e os municípios têm orçamento para estruturar e modernizar o setor. Tais planos e ações são um progresso, porém, nem o modelo de gestão tradicional nem o modelo atual devem ser caracterizados como preventivos. A falta de planos de minimização de resíduos restringe a gestão de resíduos ao tratamento eficiente dos serviços (SILVA *et al.*, 2019).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) destaca as demandas dos sujeitos que participam do setor de resíduos sólidos do país. A perspectiva é que por meio da política, a gestão de resíduos considere as demandas socioeconômicas e ambientais da questão dos resíduos sólidos brasileiros. Ou seja, que se rompa o paradigma da gestão tradicional, baseada na coleta do lixo no meio urbano e na retirada das cidades, e que a nova gestão do lixo adquira o status de preventiva (SILVA *et al.*, 2019).

#### **4.2 Impactos dos resíduos no meio ambiente e na sociedade**

Existem riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde, decorrentes do manuseio inadequado de resíduos sólidos. Os riscos diretos para a saúde dizem respeito principalmente aos trabalhadores desta área, que precisam ser protegidos, na medida do possível, do contato com resíduos. Há também riscos específicos no manuseio de resíduos de hospitais e clínicas. Para o público em geral, os principais riscos à saúde são indiretos e advêm da criação de vetores de doenças, principalmente moscas e ratos (DIAS, 2016).

A mistura de resíduos perigosos não controlados de indústrias com resíduos municipais cria riscos potenciais para a saúde humana. Acidentes de trânsito podem resultar de resíduos tóxicos derramados. Existe um perigo específico de concentração de metais pesados na cadeia alimentar, um problema que ilustra a relação entre os resíduos sólidos urbanos e os efluentes industriais líquidos contendo metais pesados descarregados em um sistema de drenagem/esgoto e/ou lixões a céu aberto de resíduos sólidos urbanos e a os

resíduos descarregados assim mantêm um ciclo vicioso incluindo estes alguns outros tipos de problemas são os seguintes (VALENTE *et al.*, 2016).

Entre os problemas que podem ser citados, Aguiar *et al.* (2021) destacam: intoxicação química por inalação química; os resíduos não recolhidos podem obstruir o escoamento das águas pluviais, resultando em inundações; baixo peso ao nascer; câncer; malformações congênitas; doença neurológica; náuseas e vômitos; toxicidade de mercúrio por comer peixe com altos níveis de mercúrio; plástico encontrado nos oceanos ingerido por pássaros; resultou em alta população de algas em rios e mar; bem como degrada a qualidade da água e do solo.

Em relação aos impactos dos resíduos sólidos no meio ambiente, sabe-se que a decomposição de resíduos em substâncias químicas constituintes é uma fonte comum de poluição ambiental local. Este problema é especialmente agudo em nações em desenvolvimento. Marques *et al.* (2017) sustentam que pouquíssimos aterros sanitários existentes nos países mais pobres do mundo atenderiam aos padrões ambientais aceitos nos países industrializados e, com orçamentos limitados, é provável que haja poucos locais rigorosamente avaliados antes de serem usados no futuro.

O problema é novamente agravado pelas questões associadas à rápida urbanização. Uma grande preocupação ambiental é a liberação de gás pelo lixo em decomposição. O metano é um subproduto da respiração anaeróbica das bactérias, e essas bactérias prosperam em aterros sanitários com grandes quantidades de umidade. As concentrações de metano podem atingir até 50% da composição do gás de aterro na decomposição anaeróbica máxima (ANDRADE; ALCÂNTARA, 2016).

Um segundo problema com esses gases é sua contribuição para o aumento do efeito estufa e as mudanças climáticas. A gestão de lixiviados líquidos varia ao longo dos aterros sanitários do mundo em desenvolvimento. O lixiviado representa uma ameaça para os sistemas locais de águas superficiais e subterrâneas. O uso de depósitos densos de argila no fundo dos poços de resíduos, juntamente com revestimentos do tipo lona plástica para evitar a infiltração no solo circundante, é geralmente considerado a estratégia ideal para conter o excesso de líquido. Desta forma, os resíduos são encorajados a evaporar em vez de infiltrar (OLIVEIRA; MIRANDA; SOARES, 2019).

### 4.3 Técnicas utilizadas na gestão de resíduos

De acordo com a deposição e tipo de resíduo, diferentes técnicas são utilizadas para o gerenciamento de resíduos. Eles podem variar de pessoa para pessoa, de lugar para lugar, e de país para país, uma vez que se deve considerar as tecnologias envolvidas nos processos, bem como a existências de profissionais capacitados para desempenhar as tarefas relacionadas.

#### 4.3.1 Reciclagem

Uma das alternativas para resolver o problema da poluição e contaminação do meio ambiente é através da reciclagem, que é um processo em que resíduos são coletados e transformados em novos materiais que podem ser usados ou vendidos como novos produtos ou matérias-primas, como papel, papelão, vidro e metais, entre outros (DEMAJOROVIC; LIMA, 2019).

Demajorovic e Lima (2019) relatam que a reciclagem de resíduos é um processo que consiste nas seguintes etapas:

- ✓ Separar os componentes do lixo em orgânicos e inorgânicos;
- ✓ Classificar os componentes inorgânicos em papel, papelão, vidro e metais;
- ✓ Levar todos esses materiais às respectivas indústrias que os reciclam; e
- ✓ Processar cada material residual com tratamento adequado.

A reciclagem consiste em aproveitar os resíduos sólidos gerados, e obter deles uma matéria-prima que pode ser incorporada diretamente a um ciclo de produção ou consumo. O processo de reciclagem é uma atividade que envolve o uso de energia para a obtenção de novos produtos em uma usina de reciclagem. A importância da reciclagem está em evitar o corte indiscriminado de árvores, reduzir a poluição do ar, da água, do solo e, por fim, viver em um planeta livre de poluição (ZONATTI, 2016).

É importante apontar que a proposta de considerar a reciclagem como nicho de inovação e empreendedorismo ganha mais força ao constatar que no Brasil são produzidos diariamente abundantes resíduos inorgânicos, que vão para o coletor de lixo, onde poderiam ser utilizados para a criação de novos produtos e posterior comercialização, gerando receita que pode ser investida para cobrir despesas de uma pequena indústria ou outro negócio qualquer que atue neste ramo.

### **4.3.2 Reciclagem do papel**

Um dos primeiros tipos de reciclagem a ser tratados neste estudo refere-se à reciclagem de papel, que consiste na fabricação de papel, utilizando como matéria-prima papéis usados ou não usados, tais como: sobras de papel e papelão, gerados durante os processos de fabricação desses materiais ou de sua transformação em outros itens, ou também gerados em prensas de impressão.

O papel reciclado contém fibras secundárias, ou seja, já passaram por uma máquina de fabricação de papel pelo menos uma vez. É importante observar que a maior parte do papel é reciclável, mas há exceções como papel vegetal, papel ou papelão impregnado com substâncias que são impermeáveis à umidade, papel carbono, papel sujo coberto com graxa ou contaminado com produtos químicos prejudiciais à saúde e papel para fins higiênicos utilizados, como papel higiênico, toalhas de papel, guardanapos e lenços de papel (ZONATTI, 2016).

No Brasil, as fibras recicláveis ou secundárias, vêm principalmente de atividades industriais, que podem ser recolhidos através do sistema de coleta seletiva ou através do sistema comercial, utilizado há anos, e que envolve o coletor informal de papel, o armazenador, o depositário do material e o receptor das fibras secundárias (NAGALLI, 2016). A reciclagem do papel tem duas vantagens: a primeira é a redução do lixo gerado e a segunda é a economia de recursos naturais como: matéria-prima, energia e água (DE CARVALHO; SANTOS; RIBEIRO, 2019).

### **4.3.3 Reciclagem do plástico**

Outra reciclagem fundamental na atualidade refere-se ao material plástico. As reciclagens dos plásticos podem ser classificadas de acordo com quatro tipos de tecnologias: primária, secundária, terciária e quaternária (SILVA; SOLER, 2019).

Reciclagem primária: é a recuperação desses resíduos realizada na própria indústria de geração ou por outras empresas processadoras. Consiste na transformação de resíduos plásticos, por meio de tecnologias convencionais de processamento, em produtos com características equivalentes às dos produtos feitos a partir de resinas virgens. Esses resíduos são constituídos por artefatos defeituosos, descartes de moldes ou de setores de corte e processamento (MARQUES, 2020).

A reciclagem primária é feita com materiais termoplásticos provenientes de resíduos industriais limpos e facilmente identificáveis, não contaminados por partículas estranhas. O reaproveitamento desse material é feito na própria indústria de geração de resíduos ou por outros transformadores. Pode-se afirmar que na prática 100% desses resíduos são reciclados, sendo que a qualidade dos artigos produzidos com esse material é essencialmente a mesma que a obtida com resinas virgens.

Reciclagem secundária: é a transformação de resíduos plásticos de produtos descartados. Os materiais que se enquadram nesse grupo vêm de aterros e lixões, usinas de compostagem, sistemas de coleta seletiva e sucata. São constituídos pelos mais diversos tipos de materiais e resinas, o que requer uma boa separação para que possam ser reaproveitados (CHAPARRO, 2021).

Reciclagem terciária: é a transformação de resíduos plásticos em produtos químicos e combustíveis, por meio de processos termoquímicos (pirólise, conversão catalítica). Por meio desses processos, os materiais plásticos são transformados em matérias-primas, que podem dar origem a resinas virgens ou outras substâncias de interesse da indústria, como gases e óleos combustíveis.

Reciclagem Quaternária: consiste no aquecimento do plástico para aproveitar a energia térmica liberada desse processo para a realização de outros processos, ou seja, o plástico é utilizado como combustível para reciclar energia. Possui vantagens como: muito menos espaço ocupado em aterros sanitários, recuperação de metais e manuseio de diferentes quantidades de resíduos. No entanto, algumas das desvantagens que apresenta é a geração de gases poluentes (MOSTARDEIRO; ODERICH; CIDADE, 2019).

É importante frisar que as empresas que se dedicam à recuperação e / ou reciclagem de materiais plásticos, em grande parte só trabalham com resíduos industriais, os quais, quando provêm de empresas idôneas, apresentam uma qualidade muito boa, tanto em relação à homogeneidade, quanto à contaminação por outros plásticos ou materiais. Porém, devido ao baixo custo da matéria-prima, diversas pequenas e médias empresas operam com plásticos coletados em lixões, centros de triagem, sucatas e "atacadistas de lixo", que compram materiais de catadores informais, indústria de lixo e comércio.

A dificuldade na reciclagem dos resíduos plásticos reside no fato de serem todos misturados, o que obriga a separar os diferentes tipos, pois são incompatíveis entre si e não podem ser processados nos equipamentos tradicionais. Os recicladores procuram adquirir a

matéria-prima desejada previamente separada, embora seja sempre necessário proceder a uma inspeção ocular para separar os plásticos indesejáveis, que estão invariavelmente presentes em cada lote recebido.

#### **4.3.4 Reciclagem de vidro**

O vidro é 100% reciclável e não há perda de material durante o processo de fusão. Com cada tonelada de cacos de vidro limpos, você obtém outra tonelada de vidro novo. A inclusão de cascos (vidros descartados) no processo normal de fabricação do vidro economiza significativamente os custos de produção em termos de óleo combustível e eletricidade, apenas no processamento. Para cada 10% de vidro reciclado na mistura, economiza-se 2,5% da energia necessária para a fusão em altos-fornos industriais (CHAPARRO, 2021).

Para municípios localizados nas proximidades de fábricas de vidro, a melhor forma de reciclar é quebrar os produtos de vidro e vendê-los em forma de cacos, diretamente nas fábricas. Para conseguir um melhor preço de venda desse vidro quebrado, ele deve ser entregue às indústrias após limpeza (retirada de anéis, metais e material inorgânico), lavado e melhor ainda após classificação por cor (CHAPARRO, 2021).

O município que não tem recursos para (ou não quer) investir em uma planta de tratamento de vidro, pode vender seus resíduos para empresas especializadas nesse tratamento. Municípios distantes das fábricas de vidro e cujos custos de transporte podem tornar inviável a venda de vidro para indústrias tradicionais de embalagem, podem vendê-la para outros fins. Em certas ocasiões, o valor de venda pode ser atraente, caso a indústria local esteja trazendo sua matéria-prima de longe (MOSTARDEIRO; ODERICH; CIDADE, 2019).

#### **4.3.5 Vantagens e desvantagens da reciclagem do vidro**

A reciclagem minimiza a poluição. Todas as formas de poluição no mundo moderno emanam de resíduos industriais. A reciclagem desses resíduos industriais, como plásticos, latas e produtos químicos, contribui muito para reduzir significativamente os níveis de poluição, pois esses resíduos são reutilizados em vez de descartados de forma imprudente (SILVA *et al.*, 2017).

Outro ponto positivo é que a reciclagem protege o meio ambiente. A grande vantagem da reciclagem de resíduos é que ela desempenha um papel importante na proteção da mãe natureza da maneira mais equilibrada. Embora muitas árvores sejam cortadas todos os dias, o papel reciclado feito de árvores específicas é usado continuamente para reduzir o

desmatamento. Este exemplo clássico mostra que outros recursos naturais podem ser reciclados e ser úteis para a preservação do meio ambiente (SILVA; LIMA; ALVES, 2017).

Além do que já foi exposto, a reciclagem minimiza o aquecimento global. É sabido que a reciclagem minimiza o aquecimento global e seus graves impactos. Durante o descarte de resíduos, grandes quantidades de resíduos são queimadas, causando a emissão de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono, enxofre e nitrogênio, que contribuem para as mudanças climáticas e o aquecimento global. O processo de reciclagem envolve combustão mínima e os resíduos são transformados em materiais reutilizáveis com pouco ou nenhum impacto ao meio ambiente. Todo o processo de processamento e fabricação de produtos a partir de resíduos emite poucos gases de efeito estufa porque as mesmas indústrias de reciclagem de resíduos queimam poucos combustíveis fósseis (CHAPARRO, 2021).

A reciclagem permite também conservar os recursos naturais. Se o processo de reciclagem usado e os materiais antigos não estivessem lá, isso significa que novos produtos serão feitos pela extração de matéria-prima fresca do subsolo por meio do processo de mineração e extração. A reciclagem é uma maneira segura de preservar as matérias-primas existentes e protegê-las para uso futuro. Tomar medidas para conservar os recursos naturais como minerais, água e madeira garante um uso sustentável e ideal (MOSTARDEIRO; ODERICH; CIDADE, 2019).

A reciclagem garante que os recursos existentes sejam usados com sabedoria e sustentabilidade. O processo de reciclagem alivia a possibilidade de discriminar o uso de matérias-primas quando podem ser obtidas em grandes quantidades. Hoje, os governos intervieram para incentivar a reciclagem nos níveis mais baixos, por exemplo, escolas, pequenas organizações e também no mundo todo. Isso significa que as indústrias de manufatura podem deixar os recursos naturais existentes para serem explorados por nossos filhos no futuro, sem afetar a produção atual (DO NASCIMENTO; PETARNELLA, 2017).

A reciclagem de materiais antigos e usados em produtos reutilizáveis reduz muito a chance de sufocamento em aterros sanitários. Isso é benéfico porque ajuda a minimizar a poluição do solo e da água, pois os aterros sanitários contribuem muito para a degradação ambiental (DO NASCIMENTO; PETARNELLA, 2017).

Apesar de extremamente vantajoso, a reciclagem também apresenta algumas desvantagens, de modo que nem sempre é lucrativa. A construção de uma nova unidade de reciclagem de resíduos exige muito capital. Os custos de acompanhamento incluem a compra

de diferentes tipos de veículos utilitários, a melhoria da unidade de reciclagem, descarte de resíduos e produtos químicos e a escolarização da população local por meio da implementação de programas úteis e seminários (DA SILVA; DE SOUZA 2020).

Um aspecto negativo diz respeito às instalações, que quase nunca são locais higiênicos e oferecem risco de contaminação. Além de causar contaminação maciça, todo o processo de reciclagem apresenta riscos à saúde das pessoas que reciclam esses resíduos. Além disso, se esses resíduos entrarem em contato com a água, ocorre a formação de lixiviado que acaba contaminando os corpos d'água, sem falar na água potável (DA SILVA; DE SOUZA 2020).

Além disso, a qualidade dos produtos feitos com resíduos reciclados pode não ser igual à qualidade original. Esses tipos de produtos quase sempre são feitos de resíduos coletados de montanhas de outros resíduos que foram usados em excesso e são frágeis. Isso torna os resíduos reciclados menos duráveis e baratos (CHAPARRO, 2021).

Embora a reciclagem desempenhe um papel importante na redução da taxa de poluição, o processo não foi amplamente adotado e desenvolvido. Infelizmente a reciclagem é apenas uma pequena parte do sucesso de longo prazo: é comum em escolas e residências e não atingiu um marco importante, por exemplo, não foi totalmente usada nas indústrias locais ou holisticamente em uma fase global. A conservação de árvores nas escolas é incomparável pela destruição maciça de árvores e derramamentos de óleo que ocorrem em escala industrial.

Depois de lidar com as vantagens e desvantagens da reciclagem, uma pessoa pode sabiamente realizar etapas importantes envolvidas no processo de reciclagem. Conhecer os efeitos da reciclagem é importante para que se determine a forma mais eficaz de fazê-la, tendo em vista os benefícios imensuráveis para o meio ambiente.

#### **4.3.6 Compostagem**

Compostagem é a decomposição biológica aeróbica controlada da matéria orgânica em um produto estável semelhante ao húmus chamado composto. É essencialmente o mesmo processo da decomposição natural, exceto que é aprimorado e acelerado pela mistura de resíduos orgânicos com outros ingredientes para otimizar o crescimento microbiano (SIQUEIRA; ASSAD, 2015).

Os benefícios potenciais da compostagem de esterco e outros resíduos orgânicos são o manuseio aprimorado do esterco; odor reduzido, moscas e outros problemas; e redução de sementes de ervas daninhas e patógenos. O composto aplicado na terra melhora a fertilidade

do solo, a lavoura e a capacidade de retenção de água. Também é isento de odores desagradáveis e pode ser armazenado por longos períodos. Essas qualidades o tornam adequado para uso na agricultura ou para venda (RODRIGUES *et al.*, 2015).

A compostagem é facilmente adaptada às operações agrícolas porque as lavouras geralmente produzem quantidades e tipos adequados de resíduos para compostagem, possuem terras adequadas, se beneficiarão da aplicação de composto no solo e já possuem os equipamentos necessários disponíveis (SIQUEIRA; ABREU, 2016).

Os principais elementos no planejamento de uma instalação de compostagem incluem a realização de investigações no local e o desenvolvimento do projeto da receita, do projeto da instalação, do plano de utilização de resíduos e de um plano de operação e manutenção. Como a compostagem é um processo relativamente flexível, é necessário decidir entre métodos, locais e materiais alternativos. A decisão depende da gestão e dos aspectos econômicos da fazenda ou do local onde ocorre as plantações, bem como das limitações físicas do local. O planejador precisa apresentar ao proprietário as diferentes alternativas para que o proprietário possa tomar a decisão final (SIQUEIRA; ABREU, 2016).

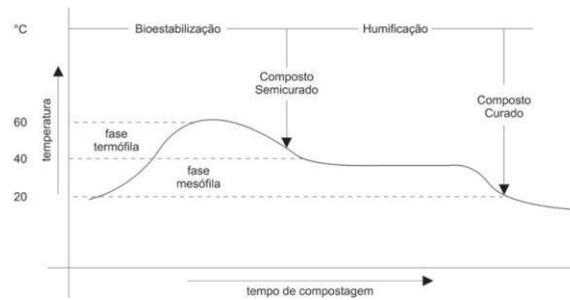
Em relação ao processo de compostagem, este é realizado por uma população diversificada de microrganismos predominantemente aeróbios que se decompõem a matéria orgânica para crescer e se reproduzir. A atividade desses microrganismos é estimulada por meio do manejo da relação carbono-nitrogênio (C:N), suprimento de oxigênio, teor de umidade, temperatura e pH da pilha de composto formado. A compostagem gerida de maneira adequada aumenta a taxa de decomposição natural e gera calor suficiente para destruir sementes de ervas daninhas, patógenos e larvas de moscas (MONTEIRO, 2016).

O processo de compostagem pode ser dividido em dois períodos principais: (1) compostagem ativa e (2) cura. Compostagem ativa é o período de atividade microbiana vigorosa durante o qual o material prontamente degradável é decomposto, bem como alguns dos materiais mais resistentes à decomposição, como a celulose. A cura segue a compostagem ativa e é caracterizada por um nível mais baixo de atividade microbiana e a posterior decomposição dos produtos da fase de compostagem ativa. Quando a cura atinge seu estágio final, diz-se que o composto está estabilizado (COSTA *et al.*, 2015).

A pilha de composto passa por uma ampla gama de temperaturas durante o período de compostagem ativa. Na medida que a temperatura varia, as condições tornam-se inadequadas para alguns microrganismos e, ao mesmo tempo, tornam-se ideais para outros (SIQUEIRA;

ABREU, 2016). O período de compostagem ativa tem três faixas de temperatura. Esses intervalos são definidos pelos tipos de microrganismos que dominam a pilha durante essas temperaturas, como mostra a Figura 2, e são chamados de fase mesófila e termófila. As temperaturas mesófilas estão entre 20 e 40°C graus Celsius e termófila acima de 40°C (DE OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2017).

**Figura 2** - Faixa de temperatura da compostagem.



**Fonte:** De Oliveira Filho *et al.*, (2017).

Definir essas faixas de temperatura não significa que os microrganismos encontrados na pilha durante o estágio mesófilo não sejam encontrados durante o estágio termófilo. Em vez disso, essas faixas são definidas para fazer um delineamento aproximado entre as temperaturas nas quais certas classes de microrganismos têm taxas de crescimento de pico e eficiências. Por exemplo, organismos mesófilos podem habitar a pilha de compostagem nas faixas de temperatura termófila, mas não dominarão a população microbiana porque não estão funcionando em níveis ideais (DE OLIVEIRA FILHO *et al.*, 2017).

O estágio inicial da compostagem é marcado por temperaturas abaixo da fase mesófila, dependendo da temperatura ambiente e das temperaturas do material da mistura do composto. Um curto período de atraso é típico no início do processo de compostagem, antes que a temperatura comece a subir rapidamente. Este período de latência é o tempo necessário para o desenvolvimento da população microbiana (SOUZA, 2019).

Na medida que a população microbiana começa a degradar o material mais facilmente degradável e a população aumenta, o calor gerado pela atividade microbiana é aprisionado pelo material composto auto-isolante. Conforme o calor dentro da pilha se acumula, a temperatura da pilha de composto começa a subir. A temperatura continua a aumentar de forma constante através das faixas de temperatura mesófila ou abaixo conforme a população microbiana aumenta e se diversifica. Dependendo da operação, a pilha de composto

normalmente leva de 2 a 3 dias para aumentar além das temperaturas mesófila e atingir o estágio termófilo de compostagem (SOUZA, 2019).

Conforme as temperaturas da pilha aumentam para a faixa termófila, a pilha torna-se habitada por uma população diversa de micro-organismos operando em pico de crescimento e eficiência. Essa intensa atividade microbiana sustenta o aquecimento vigoroso necessário para a destruição de patógenos, larvas de mosca e sementes de ervas daninhas. A diversidade da população microbiana também permite a decomposição de uma ampla gama de materiais, desde materiais simples e facilmente degradáveis até materiais mais complexos e resistentes à decomposição, como a celulose (SOUZA; CARMO; SILVA, 2020).

As temperaturas continuam a subir e atingir o pico em cerca de 55 a 70 graus Celsius. Uma vez que esse pico é atingido, a atividade microbiana começa a diminuir em resposta ao esgotamento de material prontamente degradável e oxigênio ou à temperatura excessivamente alta que é prejudicial para sua função. Os microrganismos degradam o material movendo componentes solúveis através das paredes do corpo como é feito para compostos simples ou usando enzimas extracelulares para quebrar o material antes de ser levado para o corpo celular. Se a temperatura ficar muito alta, as enzimas responsáveis pela degradação se desnaturam e se tornam não funcionais, de modo que os microrganismos não podem obter a nutrição de que precisam para sobreviver (ARAÚJO; CERQUEIRA; CARNEIRO, 2020).

A temperatura elevada pode não ser letal para todos os microrganismos, mas pode afetar sua eficiência e contribuir ainda mais para a diminuição da atividade microbiana. Ainda outros microrganismos formam esporos em resposta ao aquecimento excessivo. Os esporos são a forma inativa que alguns microrganismos assumem para se proteger de condições adversas à sobrevivência, como calor e falta de umidade. Esses esporos germinam quando mais condições favoráveis retornam (SOUZA; CARMO; SILVA, 2020).

Vale ressaltar que várias reações químicas ocorrem ao longo de todo processo, o que exige monitoramento adequado do equipamento que atua na compostagem. Os tipos de equipamentos de monitoramento usados dependem do grau de gerenciamento que o operador deseja fornecer. Todas as operações requerem um termômetro para estabelecer perfis normais de temperatura, horários de viragem ou atividade microbiana.

A sofisticação do equipamento varia. O mais simples e menos caro é um termômetro com mostrador com uma sonda pontiaguda de 1 metro de comprimento (LACERDA *et al.*, 2020). A principal desvantagem desse termômetro é que leva tempo para as leituras se

estabilizarem. Isso se torna demorado quando o monitoramento da temperatura exige que várias leituras sejam feitas. Para essas situações, pode valer a pena o gasto adicional para comprar um termômetro de resposta rápida. Outras características que variam entre os termômetros são se a leitura é analógica ou digital. Os termômetros geralmente variam de preço desde os termômetros de discagem (analógicos) mais baratos e termômetros digitais de resposta rápida de preço médio até os termômetros de termopar computadorizados mais caros.

#### **4.3.7 Vantagens e desvantagens da compostagem**

Do ponto de vista ecológico e industrial, a principal vantagem do uso da compostagem é que nos permite eliminar e reciclar com segurança muitos tipos de resíduos orgânicos biodegradáveis em insumos para a produção agrícola, evitando problemas de poluição ambiental que desencadeariam o seu abandono ou despejo.

Outras vantagens referem-se ao fato de permitir um segundo aproveitamento da matéria orgânica, recuperando-a e reciclando-a. Além disso, a quantidade de resíduos sólidos urbanos (RSU) que vai para aterros e estações de tratamento é reduzida, evitando problemas de contaminação do solo ou emissão de gases nocivos para a atmosfera (PEIXOTO; FERNANDES, 2016).

Com a sua utilização, a produtividade da terra é favorecida sem a necessidade de aplicação de outros produtos químicos sintéticos, razão pela qual produz uma série de efeitos com repercussões agro-biológicas muito favoráveis. Também tem o fator da matéria orgânica fornecida contribui favoravelmente para melhorar a estabilidade da estrutura dos agregados do solo agrícola, aumenta a permeabilidade à água e aos gases e contribui para aumentar a capacidade de retenção de água do solo por meio da formação de agregados (SENA *et al.*, 2019).

Por ser um fertilizante 100% natural, livre de aditivos, contribui para melhorar a estrutura do solo, protege contra a erosão e serve de substrato para lavouras, jardins, parques, etc., podendo-se dizer que o composto melhora as propriedades físico-químicas do solo, pois, no sentido químico, fornece macronutrientes como N, P e K, além de micronutrientes, e melhora a capacidade de troca catiônica do solo (SENA *et al.*, 2019).

Foi possível notar que a utilização do composto contribui para melhorar a atividade biológica do solo, visto que a matéria orgânica fornecida é fonte de energia e nutrição para os microrganismos presentes no solo. Não só pode ser usado como fertilizante parcial ou total, mas também pode ser usado como cobertura morta em praças municipais, parques, etc.

Em relação às desvantagens deste processo, Jacaranda, Costa e Borges (2015), relatam que uma das desvantagens da compostagem é que se trata de um processo para o qual é necessário um certo investimento, uma vez que são necessários uma série de equipamentos e, em alguns casos, certos tipos de instalações adequadas ao seu processo.

Por outro lado, outra das desvantagens associadas a este processo é a disponibilidade de terras, uma vez que a compostagem requer uma série de campos diferentes para realizar cada uma das diferentes fases do processo. Existem também as desvantagens associadas ao clima, pois, se o tempo estiver muito frio, o processo demora mais devido às baixas temperaturas e às vezes até para. As chuvas também podem afetar o processo de compostagem, causando alagamento e condições anaeróbicas se não houver uma boa drenagem, etc. (JACARANDA; COSTA; BORGES, 2015).

Da mesma forma, tem uma desvantagem em relação ao valor do fertilizante que não é totalmente verdadeira, que é que tem a fama de ter baixo teor de nitrogênio e isso só ocorre caso tenha havido perdas ao longo do processo como consequência de má prática.

Finalmente, maiores quantidades de composto são necessárias para serem aplicadas nas lavouras do que aquelas que teriam que ser aplicadas ao usar fertilizantes químicos, uma vez que os nutrientes presentes no composto são encontrados em formas muito complexas e demoram mais para serem assimilados pelas plantas.

#### **4.3.8 Incineração**

Incineração significa o ato de queimar algo até que não haja mais nada além das cinzas. Um incinerador é uma unidade ou instalação usada para queimar resíduos usados e algum outro tipo diferente de resíduo até que seja finalmente reduzido a apenas cinzas. Um incinerador é construído com material resistente e bem isolado para que, durante a combustão, o calor extremo não seja perdido, mas contido. O calor é deixado dentro do forno para que todos os resíduos dentro da planta do incinerador possam ser queimados de forma muito rápida e eficiente. Mas quando o calor não é bem contido, os resíduos não são queimados completamente com o nível de eficiência esperado (CARDOZO; MANNARINO; FERREIRA, 2021).

A incineração refere-se a um processo de queima direta controlada de resíduos na presença de oxigênio a temperaturas de cerca de 8000 °C e superiores, liberando energia térmica, gases e cinzas inertes. O rendimento líquido de energia depende da densidade e composição dos resíduos. Porcentagem relativa de umidade e materiais inertes, que aumentam

a perda de calor; Temperatura de ignição; tamanho e forma dos constituintes; projeto do sistema de combustão, etc. Na prática, cerca de 65 a 80% do conteúdo de energia da matéria orgânica pode ser recuperado como energia térmica, que pode ser utilizada para aplicações térmicas diretas ou para produção de energia com a ajuda de vapor turbina-geradores (OLIVEIRA, 2018).

A temperatura de combustão de incineradores convencionais alimentados apenas por resíduos é de cerca de 7600 °C no forno e acima de 8700 °C na câmara de combustão secundária. Essas temperaturas são necessárias para evitar odores devido à combustão incompleta, mas são insuficientes para queimar ou mesmo derreter parte do conteúdo inorgânico, como o vidro. Para evitar as deficiências dos incineradores convencionais, alguns incineradores modernos utilizam temperaturas mais altas de até 16.500 °C usando combustível auxiliar. Isso reduz o volume de resíduos em quase 97% e converte alguns conteúdos inorgânicos, como metal e vidro, em cinzas inertes (ZANIN; MANCINI, 2015).

Resíduos queimados apenas para redução de volume podem não precisar de combustível suplementar, exceto para a inicialização. Quando o objetivo é a produção de vapor, pode ser necessário utilizar combustível auxiliar com o refugo pulverizado, devido ao teor de energia variável do resíduo ou caso a quantidade de resíduo disponível seja insuficiente (ZANIN; MANCINI, 2015).

Embora a incineração seja amplamente utilizada como um importante método de eliminação de resíduos, ela está associada a algumas descargas poluentes que são de preocupação ambiental, embora em vários graus de severidade. Felizmente, estes podem ser controlados de forma eficaz com a instalação de dispositivos de controle de poluição adequados e por meio de construção de forno adequado e controle do processo de combustão.

As etapas operacionais básicas de uma planta de incineração de resíduos podem incluir as seguintes etapas, como apontam Silva *et al.*, (2019):

- ✓ Recepção de resíduos recebidos;
- ✓ Armazenamento de resíduos e matérias-primas;
- ✓ Pré-tratamento de resíduos;
- ✓ Carregamento de resíduos no processo;
- ✓ Tratamento térmico dos resíduos;
- ✓ Recuperação e conversão de energia;
- ✓ Limpeza de gases de combustão;

- ✓ Gerenciamento de resíduos de limpeza de gases de combustão;
- ✓ Descarga de gás de combustão;
- ✓ Monitoramento e controle de emissões;
- ✓ Controle e tratamento de águas residuais (por exemplo, drenagem do local, tratamento de gases de combustão, armazenamento);
- ✓ Gestão e tratamento de cinzas / cinzas de fundo (decorrentes da fase de combustão); e
- ✓ Descarte / disposição de resíduos sólidos.

Aqui estão muitas opções para a tecnologia de usinas de incineração de Resíduos Sólidos Municipais (RSM). A gama de equipamentos varia de experimental a comprovada, embora apenas os comprovados sejam recomendados. Os problemas de desenvolvimento com novas tecnologias são complicados e caros de resolver, uma vez que os países em desenvolvimento carecem de conhecimento técnico interno para superá-los. Esses problemas podem causar o fracasso de todo o projeto. Com base na aplicação pretendida, o equipamento da planta de incineração pode ser agrupado em quatro categorias principais (MANNARINO; FERREIRA; GANDOLLA, 2016):

- A. Pré-tratamento;
- B. Sistema de combustão;
- C. Recuperação de energia; e
- D. Limpeza de gases de combustão.

O principal resíduo da incineração de RSM é a escória. A quantidade gerada depende do teor de cinzas dos resíduos. No processo de combustão, o volume de resíduos de cidades de alta renda será, por experiência, reduzido em aproximadamente 90% e o peso em 70 a 75%. Para áreas de baixa renda, a quantidade de cinzas nos resíduos pode ser alta - por exemplo, em áreas que usam carvão, madeira ou similar para aquecimento. Além da escória, a planta gera resíduos de processos mais ou menos avançados de limpeza de gases de combustão a seco, semi-seco ou úmido. A quantidade e suas características ambientais dependerão da tecnologia aplicada (LEITE, 2016).

A escória de um incinerador de resíduos bem operado será bem queimada, com apenas um pequeno conteúdo de matéria orgânica. Além disso, os metais pesados na escória, que normalmente são lixiviáveis, em certa medida se tornam vitrificados e, portanto, insolúveis.

Grande parte da escória pode, portanto, ser usada como material de construção de estradas ou algo semelhante após a triagem (MORAES, 2015).

Os demais resíduos devem, entretanto, ser descartados. Portanto, um aterro sanitário bem projetado e operado, de preferência localizado em poços de minas abandonados ou outros locais onde a lixiviação com água da chuva pode ser evitada, deve estar disponível (MOREIRA, 2015).

O descarte adequado de cinzas volantes e outros resíduos de limpeza de gases de combustão é o assunto para outro estudo. No entanto, em geral, deve ser tratado como resíduo perigoso e descartado de acordo com as propriedades do lixiviado. O fino tamanho das partículas dos resíduos exige cuidados especiais durante o manuseio na fábrica e no aterro (MOREIRA, 2015).

Em relação ao uso ou eliminação de cinzas, as instalações de incineração de resíduos modernos diferem em soluções técnicas, mas pode-se presumir que as emissões são mantidas dentro dos limites das restrições legais, independentemente da composição dos resíduos incinerados. Isso sugere que, apesar de uma abordagem específica para o local, o modelo é bastante geral em relação às emissões para a atmosfera e a água, para plantas que trabalham sob as mesmas restrições legais. Produtos residuais, consumo de aditivos e recuperação de energia são mais específicos do local (SCHRAMM; BAZZO, 2016).

Empresas e pesquisadores têm investigado maneiras de tratar resíduos de cinzas de instalações. A cinza consiste em resíduos deixados na câmara de combustão (cinza inferior) e em seus dispositivos de tratamento de poluição (cinza volante). O pós-tratamento das cinzas produzidas pelas câmaras de combustão de baixa temperatura, como leitos fluidizados, geralmente envolve vitrificação em altas temperaturas para imobilizar os metais (NEIVERTH *et al.*, 2020).

O principal objetivo do tratamento de cinzas é evitar que os constituintes tóxicos das cinzas, especialmente dioxinas, furanos e metais pesados, escapem para o meio ambiente após o descarte. A solidificação por meio de vitrificação ou aplicação de vários produtos químicos é outro meio de diminuir as chances de lixiviação de metais. Foi demonstrado que o fosfato estabiliza metais pesados em poeiras que resultam da vitrificação das cinzas do incinerador. O tratamento das cinzas é uma tecnologia muito mais madura do que a reutilização (LEITÃO, 2018).

A cinza inferior produzida na planta se assemelha a cinza de clínquer e, após a separação mecânica de metais ferrosos e não ferrosos, tem uma densidade relativa relativamente alta (normalmente 2,25) e de acordo com relatórios contém menos de 2% de carbono e menos de 1% de finos. O teste de lixiviação de características de toxicidade com base no padrão EPA mostrou que os metais nas cinzas de fundo não são lixiviáveis (SCHRAMM; BAZZO, 2016).

#### **4.3.9 Vantagens e desvantagens da Incineração**

Em relação às vantagens que podem ser citadas considerando o exposto anteriormente, sabe-se que a incineração é uma forma eficiente de reduzir o volume de resíduos e a demanda por espaço em aterro. As usinas de incineração podem ser localizadas próximas ao centro de gravidade de geração de resíduos, reduzindo o custo do transporte de resíduos. Usar as cinzas de incineradores de RSM para uma construção ambientalmente adequada não apenas fornece um agregado de baixo custo, mas reduz ainda mais a necessidade de capacidade de aterro sanitário. Em particular, a incineração de resíduos contendo metais pesados e assim por diante deve ser evitada para manter uma qualidade de escória adequada. A qualidade da escória deve ser verificada antes de ser usada. A energia pode ser recuperada para aquecimento ou consumo de energia.

Todas as alternativas de eliminação de resíduos eventualmente decompõem os materiais orgânicos em moléculas de carbono mais simples, como CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) e CH<sub>4</sub> (metano). O equilíbrio entre esses dois gases e o período de tempo para as reações variam de acordo com a alternativa. A incineração fornece a melhor maneira de eliminar as emissões de gás metano dos processos de gerenciamento de resíduos. Além disso, a energia de projetos de resíduos fornece um substituto para a combustão de combustível fóssil. Essas são duas maneiras pelas quais a incineração ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (MOREIRA, 2015).

Uma das características mais atraentes do processo de incineração é que ele pode ser usado para reduzir o volume original de combustíveis em 80 a 95%. O controle da poluição do ar continua sendo um grande problema na implementação da incineração da disposição de resíduos sólidos. No Brasil o custo da melhor tecnologia disponível para a instalação de incineração pode chegar a 35% do custo do projeto. O custo do equipamento de controle, entretanto, dependerá dos regulamentos de poluição do ar existentes em um determinado país em menor desenvolvimento (MOREIRA, 2015).

No que diz respeito às desvantagens, uma planta de incineração envolve pesados investimentos e altos custos operacionais e requer moeda local e estrangeira em toda a sua operação. O aumento resultante nos custos de tratamento de resíduos motivará os geradores de resíduos a buscar alternativas. Além disso, a incineração de resíduos só é aplicável se determinados requisitos forem atendidos. A composição dos resíduos em países em desenvolvimento é frequentemente questionável em termos de sua adequação para combustão automática. A complexidade de uma planta de incineração requer pessoal qualificado. Além disso, os resíduos da limpeza dos gases de combustão podem contaminar o meio ambiente, se não forem tratados de forma adequada, e devem ser descartados em aterros controlados e bem operados para evitar a poluição do solo e da superfície.

#### **4.4 Aterros Sanitários**

Os aterros são uma parte importante de qualquer sistema de gestão de resíduos urbanos, independentemente de outras soluções de eliminação de resíduos utilizadas. Mesmo as cidades que reciclam grande parte de seus resíduos ou dependem fortemente da incineração precisam depositar cinzas residuais em aterros, resíduos que não podem ser reciclados ou queimados e resíduos de outras instalações de resíduos quando outros sistemas de descarte não estão operando.

Em todo o mundo, quase 40% de todos os resíduos descartados vão para algum tipo de aterro sanitário. A taxa é ainda maior em países de renda média alta, 54%. Juntamente com os aterros a céu aberto com 33%, os aterros constituem a forma mais comum de disposição de resíduos. Os aterros requerem um projeto projetado (em oposição a lixões abertos) e devem ser construídos e operados com cuidado para garantir que não criem problemas que ameacem a saúde humana ou do ecossistema (NUNES; SILVA, 2015).

Os aterros sanitários são uma técnica de gestão de resíduos madura e comprovada. No entanto, eles ainda são bastante incomuns em alguns países de renda baixa e média devido aos custos envolvidos na infraestrutura e operação e supervisão regulatória inadequada. Nessas áreas, é mais comum encontrar lixões não controlados ou a céu aberto, sem controles ambientais básicos, colocando em risco a saúde e a segurança públicas (GOMES, 2015).

Um aterro sanitário adequadamente projetado inclui uma área de terra com um revestimento impermeável no fundo. O revestimento evita que contaminantes líquidos (lixiviados) entrem em contato com as águas subterrâneas (aquíferos) e se infiltrem no solo. O chorume se forma a partir da umidade do lixo ou da água da chuva que flui para o aterro e

deve ser coletado e tratado. Em um aterro bem gerenciado, os resíduos são compactados para economizar espaço; um material de cobertura é aplicado sobre os resíduos regularmente para controlar o odor, espalhar lixo e outros incômodos; e os sistemas de controle de gás são usados para capturar gás de aterro inflamável que se forma à medida que o material orgânico se decompõe dentro do aterro (GOES, 2016).

Diversos aspectos devem ser considerados e um deles é a capacidade do aterro. Os aterros são geralmente construídos para durar aproximadamente 30 anos; no entanto, eles devem ser dimensionados para levar em conta as mudanças previstas nos níveis de geração de resíduos locais à medida que a população cresce ou os níveis de renda familiar aumentam. Idealmente, o plano deve criar e encher uma célula a cada 18 meses - 2 anos antes de ser fechada e utilizada como gás de aterro para energia (GOES, 2016).

A localização de um aterro é geograficamente isolada de áreas residenciais, aeroportos e aquíferos de água potável. Dependendo da área servida pelo aterro, a proximidade de linhas férreas ou estradas capazes de lidar com cargas ou volumes de caminhões pesados pode ser necessária. O local selecionado deve ser avaliado por engenheiros e geólogos para garantir baixo risco de inundações, terremotos e deslizamentos de terra. O acesso a um suprimento regular de material de cobertura também é crítico. As comunidades próximas ao local selecionado devem ser consultadas para compreender e abordar suas preocupações antes que a instalação comece a operar. Algumas comunidades podem precisar ser reassentadas assim que um local for selecionado e devem ser indenizadas por qualquer perda de terra, meios de subsistência ou identidade cultural causada pela instalação (SILVA; TAGLIAFERRO, 2021).

A vida útil do aterro pode ser estendida se os materiais recicláveis e orgânicos forem removidos ou recuperados antes que os resíduos cheguem ao aterro, e provavelmente resultará em custos mais baixos. Isso pode ser feito no nível da comunidade, em uma instalação de recuperação de materiais ou no próprio aterro sanitário. Os operadores do aterro sanitário poderiam se beneficiar da parceria com os catadores no local do aterro para garantir que esses materiais possam ser desviados, e devem garantir que os meios de subsistência não sejam deslocados sem fazer provisões alternativas para eles (PIÑAS, 2016).

Para que um aterro possa funcionar de forma adequada, é necessária mão de obra especializada. No aterro sanitário manual, como o próprio nome indica, todas as operações são baseadas no trabalho realizado por trabalhadores do município ou da comunidade. O número de trabalhadores necessários depende da quantidade de resíduos sólidos a serem

enterrados, das condições climáticas e da forma de construção do aterro, entre outros. Também é necessário ter um gerente ou supervisor de limpeza que tenha os conhecimentos necessários para direcionar este trabalho em constante funcionamento (PIÑAS, 2016).

Para o funcionamento do aterro sanitário manual, os equipamentos necessários se reduzem ao uso de ferramentas ou utensílios de alvenaria, tais como: carrinhos de mão pneumáticos, pás, picaretas, enxadas, barras, compactadores de madeira, além de garfos ou ancinhos e rolo-compactador.

A quantidade dessas ferramentas é função do número de trabalhadores, que por sua vez dependem da quantidade de resíduos sólidos a serem enterrados no aterro. No transporte do material de cobertura ou resíduo, nas células já construídas, recomenda-se colocar algumas tábuas na superfície do aterro de forma linear para facilitar a movimentação das empilhadeiras, principalmente no período chuvoso, melhorando assim o desempenho na operação (NASCIMENTO, 2015).

Ao contrário dos aterros manuais, os aterros de compactação mecanizada são a tecnologia adequada para municípios de médio e grande porte, que produzem uma quantidade diária de lixo que não seria viável de ser manuseada totalmente à mão. Esses municípios geralmente têm recursos mais adequados e também pessoal técnico treinado. Geralmente, um ou dois tratores compactadores trabalham no aterro sanitário mecanizado para realizar os trabalhos de colocação, compactação e recobrimento dos resíduos; e as escavações e transportes necessários para o fornecimento de novo material de cobertura (FERREIRA; JUCÁ, 2017).

Os trabalhos de manutenção podem ser feitos manualmente ou com o apoio de máquinas, dependendo da disponibilidade e necessidade dessas máquinas (por exemplo, escavação de valas manualmente ou com retroescavadeira), objetivando assim obter a maior eficiência do respectivo aterro (SANTOS, 2017).

#### **4.4.1 Vantagens e desvantagens do Aterro**

Primeiramente destacam-se as vantagens de um aterro, de modo que o aterro sanitário é a alternativa mais conveniente para o Brasil. No entanto, é imprescindível a alocação de recursos financeiros e técnicos adequados para o seu planejamento, projeto, construção, operação e manutenção, dentre as vantagens oferecidas por este tipo de instalação, Siqueira e Assad (2015) citam:

- ✓ Investimento inicial de capital menor do que o necessário para implementar qualquer um dos métodos de tratamento: incineração ou compostagem;
- ✓ Baixo custo de operação e manutenção;
- ✓ Vantagens econômicas para o município, pois com o manejo adequado do aterro sanitário o terreno pode ser aproveitado ao máximo. A compactação de resíduo e a construção planejada aumentam a vida útil do aterro e permitem um uso mais longo do terreno;
- ✓ Melhor proteção do meio ambiente (drenagem e tratamento de água lixiviada, drenagem de gás através de chaminés, cobertura de resíduos) evita os problemas de cinzas de incineração e de matérias não susceptíveis de decomposição na compostagem;
- ✓ Menos incômodo e poluição para os cidadãos: o manejo adequado começa com a seleção do terreno para o aterro, que não deve ser próximo a locais habitados, no entanto, quando um aterro é bem administrado, pode ficar próximo à área urbana, reduzindo assim os custos de transporte. E facilitando supervisão da comunidade;
- ✓ Maior segurança para os trabalhadores (declives definidos, compactação do lixo, menor risco de queda do corpo do lixo, menor contaminação no ambiente de trabalho);
- ✓ Permite recuperar o gás metano, que constitui uma fonte alternativa de energia;
- ✓ Permite recuperar terrenos considerados improdutivos ou marginais, tornando-os úteis para a construção de parque, área de lazer, campo desportivo, etc;
- ✓ Pode começar a trabalhar em pouco tempo, como método de eliminação; e
- ✓ É flexível por não necessitar de instalações permanentes e fixas, e também por receber maiores quantidades adicionais de resíduos com pouco acréscimo de pessoal.

Apesar de muitas vantagens, o aterro também traz consigo diversas desvantagens que faz com que sua implementação demande um alto nível de especialização e cuidados. A primeira desvantagem a ser citada refere-se à aquisição do terreno constitui a primeira barreira à construção de um aterro sanitário, devido à oposição que surge do público, causada em geral, segundo Lima *et al.* (2018) por fatores como:

- ✓ Falta de conhecimento sobre a técnica de aterro sanitário;
- ✓ O termo "aterro sanitário" é associado ao de "lixão a céu aberto";

- ✓ A evidente desconfiança das administrações locais; e
- ✓ O rápido processo de urbanização que aumenta o custo dos poucos terrenos disponíveis, tendo que localizar o aterro sanitário em locais distantes das rotas de coleta, o que aumenta os custos de transporte.

Outro ponto negativo diz respeito à geração de gases de aterro e líquidos lixiviados, como aponta Cadiani e Moreira (2015), causados pela decomposição biológica da matéria orgânica degradável, oxidação química, decomposição e transporte de materiais orgânicos e inorgânicos devido à ação da água infiltrada e percolação existente, movimento do material por difusão molecular, assentamentos diferenciais, etc. Se não for bem administrado, as pessoas que moram no entorno do aterro sanitário, sofrem as consequências de maus cheiros, aves, líquidos percolados, aumento do tráfego de caminhões de coleta e assim por diante.

Por fim, por meio das informações apresentadas, pode-se dizer que a implantação do aterro sanitário é altamente conflituosa tanto na aprovação por parte da autoridade quanto na percepção dos cidadãos. Há um grande risco de transformá-lo em lixão a céu aberto devido a falta de vontade política das administrações municipais. Se estes estão relutantes em investir os fundos necessários para sua operação e manutenção corretas, e a possível contaminação das águas subterrâneas e superficiais próximas pode ocorrer se as devidas precauções não forem tomadas.

Os assentamentos mais fortes ocorrem nos primeiros dois anos após a conclusão do aterro, portanto, o uso do terreno é difícil. O tempo de assentamento dependerá da profundidade do aterro, tipo de resíduo sólido, grau de compactação e pluviosidade na área.

#### **4.5 Biorremediação**

O termo de biorremediação é dividido em duas partes: "bios" significa vida e se refere a organismos vivos e "remediar" significa resolver um problema. "Biorremediação" significa usar organismos biológicos para resolver um problema ambiental, como solo contaminado ou água subterrânea. Biorremediação é o uso de microrganismos vivos para degradar poluentes ambientais ou para prevenir a poluição. Em outras palavras, é uma tecnologia para remover poluentes do meio ambiente, restaurando assim o ambiente natural original e evitando mais poluição (HERNÁNDEZ-RUIZ; ÁLVAREZ-OROZCO; RÍOS-OSORIO, 2017).

A biorremediação poderia ser definida simplesmente como um processo biológico de descontaminação de meio ambiente contaminado. O ambiente pode ser terrestre, aquoso ou ambos. No entanto, uma definição mais abrangente é apresentada a seguir: Biorremediação é

um meio de limpar ambientes contaminados, explorando as diversas habilidades metabólicas dos microrganismos para converter contaminantes em produtos inofensivos por mineralização, geração de óxido de carbono (IV) e água ou por conversão em biomassa microbiana (LEONEL, 2018).

Um ponto a ser enfatizado aqui é que biorremediação e biodegradação não devem ser confundidas. A biorremediação como técnica pode incluir a biodegradação como apenas um dos mecanismos envolvidos ou aplicados no processo de biorremediação. Apenas alguns dos contaminantes são biodegradáveis e apenas alguns dos microrganismos podem degradar uma fração dos contaminantes. Portanto, valeria a pena estudar o potencial de biodegradação dos microrganismos (LEONEL, 2018).

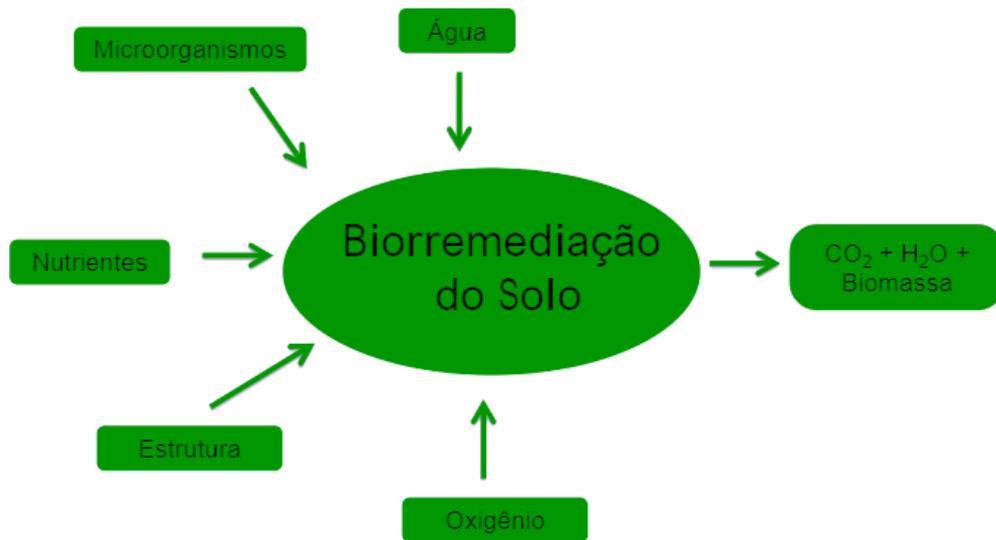
Apesar de microrganismos serem utilizados para o tratamento e transformação de resíduos há pelo menos um século, a biorremediação é considerada uma nova tecnologia para a descontaminação ecologicamente correta de ambientes poluídos. Como um caso popular de aplicação desta tecnologia, as águas residuais municipais são descontaminadas microbiologicamente sob condições controladas de modo que, dependendo das atividades metabólicas dos microrganismos, diferentes sistemas de lodo ativado e filmes fixos são aplicados em instalações de tratamento de águas residuais. Resíduos e poluições podem ser eliminados permanentemente (MORAIS FILHO; CORIOLANO, 2016).

Além disso, responsabilidades duradouras são eliminadas aproveitando-se de sistemas biológicos menos caros, mas, no meio do tempo, mais antigos. Além disso, os métodos de biorremediação podem ser aplicados de forma integrada em conjunto e acoplados a outras abordagens de tratamento. A biorremediação é um processo natural e, portanto, percebida pelo público como um processo de tratamento de resíduos aceitável para materiais contaminados como esse. Micróbios capazes de degradar o contaminante aumentam em número quando o contaminante está presente; quando o contaminante é degradado, a população biodegradativa diminui. Os resíduos do tratamento geralmente são produtos inofensivos e incluem dióxido de carbono, água e biomassa celular (COUTINHO *et al.*, 2015).

Na biorremediação, organismos vivos, como microrganismos (bactérias, fungos e algas) ou plantas, são usados para degradar e desintoxicar os poluentes perigosos presentes no ambiente e convertê-los em CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, biomassa microbiana e metabólitos (subprodutos que

são menos tóxico do que o composto original) (BERTICELLI *et al.*, 2016), como mostrado abaixo.

**Figura 3** – Princípio da biorremediação.



**Fonte:** Berticelli *et al.* (2016).

Esses microrganismos podem ser nativos desse local contaminado ou podem ser isolados e trazidos de fora para esse local contaminado para biorremediação. Os microrganismos degradam e transformam esses poluentes por meio de suas reações metabólicas e os utilizam para o seu crescimento. A degradação completa de um poluente requer a ação de vários micróbios, portanto, às vezes, micróbios potenciais podem ser adicionados ao local contaminado para o processo de degradação efetivo e este processo é chamado de bioaugmentação (MALLMANN, 2019)

O processo de biodegradação depende de condições ambientais favoráveis, do tipo e solubilidade do poluente e da biodisponibilidade do poluente para os microbios, portanto, as condições ambientais são controladas ou manipuladas para permitir o crescimento microbiano suficiente e, portanto, uma biodegradação rápida e eficaz (MALLMANN, 2019).

Na biorremediação, micróbios habitam ambientes variados, como fontes termais, desertos, geleiras, lagos salinos e oceanos. Micróbios com potencial de degradação podem ser isolados de ambientes contaminados, como locais poluídos por metais pesados, aterros sanitários, locais contaminados com petróleo, locais contaminados com pesticidas devido a atividades agrícolas e estação de tratamento de águas residuais, para a degradação de vários poluentes. Os micróbios usam o poluente perigoso como sua fonte de energia e carbono em

condições aeróbicas e anaeróbicas e, portanto, por meio da atividade metabólica, podem degradar ou converter o poluente em metabólitos menos ou não tóxico. Micróbios e poluentes do solo não se distribuem uniformemente no solo, portanto o poluente deve estar disponível ou em contato com os micróbios para a efetiva degradação do poluente e isso pode ser feito pela aplicação de tensoativos (SOUZA; ARRUDA, 2021).

Espécies de bactérias aeróbicas, como *Mycobacterium*, *Alcaligenes*, *Sphingomonas* e *Pseudomonas* são conhecidas por sua degradação aeróbia de hidrocarbonetos (alcanos e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos) e pesticidas. Junto com isso, alguns dos metiltrafos aeróbicos também são reconhecidos por degradação de dicloroetano e tricloroetano (alifáticos clorados). Algumas das espécies bacterianas anaeróbicas são conhecidas pela degradação de PCBs e tricloroetileno (solvente clorado). Ao lado das espécies bacterianas, algumas espécies de fungos, como *Phanerochaete chrysosporium*, também foram relatadas como eficazes na remediação de uma variedade de poluentes tóxicos e persistentes (SOUZA; ARRUDA, 2021).

Do ponto de vista das perspectivas futuras de biorremediação, parece que o desenvolvimento do conhecimento das populações microbianas, suas interações com o ambiente natural e contaminantes, o aumento de suas capacidades genéticas para degradar contaminantes, os estudos de campo de longo prazo de novas biorremediações econômicas técnicas podem aumentar o potencial para avanços significativos. Não há dúvidas de que a biorremediação é uma necessidade do mundo atual e pode levar à proteção e preservação dos recursos naturais que navegamos nas próximas gerações. À frente destacam-se alguns tipos de biorremediação mais utilizados.

#### **4.5.1 Biorremediação *In Situ***

Na maioria das vezes, a biorremediação *in situ* é aplicada para eliminar os poluentes dos solos contaminados e das águas subterrâneas. É um método superior para a limpeza de ambientes contaminados, pois economiza custos de transporte e utiliza microrganismos inofensivos para eliminar as contaminações químicas. Esses microrganismos são mais propensos a ter afinidade quimiotática positiva para com os contaminantes. Esse recurso aumenta a probabilidade de biorremediação em pontos próximos onde os biorremediadores não foram distribuídos. Além disso, o método é preferido porque causa o mínimo de perturbação da área contaminada. Isso seria de grande relevância quando se privilegia o mínimo de investimento e poluição (por exemplo, em fábricas) ou em áreas contaminadas

com contaminantes perigosos (por exemplo, em áreas contaminadas com materiais químicos ou radioativos), Descesaro (2015).

Outra vantagem da biorremediação *in situ* é a viabilidade do tratamento sincronizado do solo e da água subterrânea. No entanto, a biorremediação *in situ* possui algumas desvantagens: o método é mais demorado em comparação com outros métodos de correção e leva a uma variação sazonal na atividade microbiana devido à exposição direta às variações em fatores ambientais incontroláveis, e o uso de aditivos pode levar para problemas adicionais. O rendimento da biorremediação é determinado pelo tipo de resíduos, ou seja, se os resíduos pudessem fornecer os nutrientes e energia necessários, então os microorganismos seriam capazes de fazer a correção intermediária. No entanto, na ausência de resíduos favoráveis, a perda de bioatividade pode ser compensada por meio da estimulação de microrganismos nativos. Outra opção de menor preferência é a aplicação de microrganismos geneticamente modificados. Dois tipos de biorremediação *in situ* são diferenciados com base na origem dos microrganismos aplicados como biorremediadores (DA SILVEIRA, 2016):

- (i) Biorremediação intrínseca - Este tipo de biorremediação *in situ* é realizada sem correção microbiana direta e por meio da intermediação em condições ecológicas da região contaminada e fortificação das populações naturais e as atividades metabólicas da microfauna nativa ou naturalmente existente, melhorando as condições nutricionais e de ventilação.
- (ii) Biorremediação *in situ* projetada - Este tipo de biorremediação é realizado através da introdução de certos microrganismos em um local de contaminação. Como as condições dos locais de contaminação são mais frequentemente desfavoráveis para o estabelecimento e bioatividade dos microrganismos exogenamente alterados, portanto, aqui como a biorremediação intrínseca, o ambiente é modificado para que as condições físico-químicas melhoradas sejam fornecidas. Oxigênio, aceptores de elétrons e nutrientes (por exemplo, nitrogênio e fósforo) são necessários para aumentar o crescimento microbiano.

#### **4.5.2 Biorremediação *Ex Situ***

O processo de biorremediação aqui ocorre em algum lugar fora do local de contaminação e, portanto, requer transporte de solo contaminado ou bombeamento de água subterrânea para o local de biorremediação. Esta técnica tem mais desvantagens do que

vantagens. Dependendo do estado do contaminante na etapa de biorremediação, *ex situ* biorremediação é classificada como (THODE FILHO *et al.*, 2015):

- I. Sistema de fase sólida (incluindo tratamento de solo e pilhas de solo) - O sistema é usado para biorremediação de resíduos orgânicos e resíduos domésticos e industriais problemáticos, lodo de esgoto e resíduos sólidos municipais. A biorremediação de solo em fase sólida inclui três processos, incluindo cultivo de terras, biopilagem do solo e compostagem.
- II. Sistemas de fase de lama (incluindo suspensões sólido-líquido em biorreatores) - A biorremediação de fase de lama é um processo relativamente mais rápido em comparação com outros processos de tratamento.

O solo contaminado é misturado com água e outros aditivos em um grande tanque, conhecido como biorreator, e misturado para trazer os microorganismos indígenas em contato próximo com os contaminantes do solo. Nutrientes e oxigênio são corrigidos, e as condições no biorreator são ajustadas de modo que um ambiente ideal para a biorremediação microbiana seja fornecido. Após a conclusão do processo, a água é removida e os resíduos sólidos são descartados ou processados para descontaminar os poluentes remanescentes.

É importante apontar que diferentes técnicas são empregadas dependendo do grau de saturação e aeração de uma área. As técnicas *in situ* são definidas como aquelas que são aplicadas ao solo e às águas subterrâneas do local com o mínimo de perturbação. As técnicas *ex situ* são aquelas aplicadas ao solo e à água subterrânea do local que foram removidas do local por meio de escavação (solo) ou bombeamento (água). A biorremediação *in situ* pela população microbiana indígena é uma opção cada vez mais popular e ecologicamente correta para a limpeza de locais contaminados e, atualmente, um esforço considerável está sendo gasto para projetar estratégias baratas e viáveis usando esta tecnologia, que se mostra promissora como uma alternativa relativamente boa. As bactérias resistentes ao mercúrio foram consideradas como uma abordagem potencial para a remediação biológica (THODE FILHO *et al.*, 2015).

#### **4.5.3 Vantagens e desvantagens da Biorremediação**

Tomando o posto como base, a biorremediação oferece muitas vantagens sobre os tratamentos físicos e químicos usados para tratar água e solo contaminados. A biorremediação tende a ter custos mais baixos do que outros tratamentos, como a incineração, usados para remover substâncias tóxicas do solo. Outra vantagem é que a biorremediação visa degradar e

desintoxicar poluentes perigosos, enquanto outras tecnologias simplesmente transferem os poluentes para um local diferente. Portanto, é uma tecnologia simples em relação às demais.

Uma das desvantagens da biorremediação é a dificuldade em prever a realização desse tratamento. O sucesso de tal projeto depende da habilidade dos operadores do processo em criar e manter as condições ambientais necessárias para o crescimento microbiano. Os microrganismos são sensíveis às temperaturas, pH, toxicidade do poluente e sua concentração, teor de umidade, concentração de nutrientes e concentração de oxigênio. Uma diminuição na atividade microbiana diminuirá a degradação e prolongará o período de tratamento. Se a atividade microbiana parar, seria muito difícil reiniciar o tratamento.

Às vezes, a biorremediação não será útil quando os contaminantes não são degradáveis, ou parcialmente biodegradáveis, ou porque os níveis de contaminantes são tão altos que a atividade microbiana é afetada. Conforme os níveis de poluentes diminuem, a degradação biológica diminui e os microorganismos precisam mudar as fontes de energia ou parar de crescer juntos. Nesse caso, a biorremediação não é suficiente para tratar um local e, portanto, outro tratamento terá que ser utilizado, portanto, é demorado, ou seja, o tempo necessário para remediar um local geralmente depende da proporção em que o poluente é degradado.

## CAPÍTULO V

---

### 5 CONCLUSÃO

Com mais de 200 milhões de habitantes, o Brasil é um dos países que mais gera resíduos sólidos. E em relação aos aspectos relacionados à gestão desses resíduos, observou-se que esta tem sido um desafio para todas as nações do mundo, pois a geração de lixo tem aumentada de forma generalizada.

Nas cidades brasileiras, conforme aumenta a produção de resíduos, mais investimentos são necessários para que o tratamento adequado seja realizado, evitando que danos ambientais possam ampliar-se devido ao manejo incorreto dos diferentes tipos de resíduos.

Na revisão feita no presente estudo, levando-se em conta a elevada produção de lixo e as técnicas de tratamento e destinação final disponíveis no Brasil, constata-se que a “reciclagem” e a “compostagem” são as mais recomendadas para a reversão desse quadro. A primeira porque reduz o lixo, a utilização de recursos naturais e o consumo de energia elétrica para produção de novos materiais. Em relação à compostagem – uma atitude simples e muito positiva é a destinação ambientalmente adequada dos resíduos orgânicos. Trata-se de transformá-los em fertilizantes, pela razão de que no Brasil 50% dos resíduos sólidos gerados em domicílios são orgânicos, que é característico da grande produção agrícola e desperdícios de alimentos, favorecendo em muito a fabricação de adubos e potencializado o setor agrícola. Por outro lado, essas duas alternativas de destinação final de resíduos sólidos contribuem para a projeção de um modelo circular da economia, tanto de energia quanto de fertilização do solo, processos fundamentais para a realidade atual do país.

Em vista disso, há diversas vantagens e desvantagens em relação as alternativas que podem ser aplicadas na gestão dos resíduos sólidos. Muito embora, no caso brasileiro, em face da sua extensão territorial, um estudo elaborado é necessário para apontar qual preferência melhor se adequa às necessidades das regiões do território nacional.

Por fim, para um alcance maior da disseminação das informações da investigação, foi elaborada e distribuída uma “cartilha educativa” para crianças e adolescentes de escolas de ensino fundamental, com objetivo de reforçar a mentalização e a disseminação do conteúdo científico, enraizando em sua formação como sujeito crítico, com capacidade de pensar e argumentar sobre o assunto, atuando na promoção do desenvolvimento sustentável frente ao desafio da gestão de resíduos sólidos tanto no Brasil quanto no mundo.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos sólidos no Brasil**, 2015.
- ABREN. **Levantamento inédito mostra que o Brasil perde 2,4 bi por ano com a falta de tratamento do seu lixo urbano (Direito & Negócios)**, 2021. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2014-08/municipios-brasileiros-gastam-cinco-vezes-menos-em-gestao-de-residuos>>. Acesso em 05, ago, 2021.
- AGUIAR, Enilde Santos de *et al.* **Panorama da disposição de resíduos sólidos urbanos e sua relação com os impactos socioambientais em estados da Amazônia brasileira**. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 13, 2021.
- ALELUIA, João; FERRÃO, Paulo. **Characterization of urban waste management practices in developing Asian countries: A new analytical framework based on waste characteristics and urban dimension**. Waste management, v. 58, p. 415-429, 2016.
- AMRITHA, P. K.; ANILKUMAR, P. P. **Development of landscaped landfills using organic waste for sustainable urban waste management**. Procedia Environmental Sciences, v. 35, p. 368-376, 2016.
- ANDRADE, Ayslann Todayochy Siqueira; ALCÂNTARA, Roselene Lucena. **Resíduos Sólidos Urbanos e Impactos Socioambientais no Bairro “Lagoa do Ferreiro”, Assu/RN**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 20, n. 1, p. 16-31, 2016.
- ANTHRAPER, Dhanya *et al.* **Hydrothermal deconstruction of municipal solid waste for solid reduction and value production**. Journal of Cleaner Production, v. 201, p. 812-819, 2018.
- ARAÚJO, Camila Cruz De Oliveira; CERQUEIRA, Gabriela Silva; CARNEIRO, Cristine Elizabeth Alvarenga. **Prospecção Tecnológica para Processos de Compostagem de Resíduos Orgânicos**. Cadernos de Prospecção, v. 13, n. 4, p. 1177, 2020.
- BANERJEE, Priyabrata *et al.* **Solid waste management in India: a brief review. Waste management and resource efficiency**, p. 1027-1049, 2019.
- BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos; SILVEIRA, Áurea Viviane Fagundes. **Uso de indicadores de sustentabilidade para avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos na Região Metropolitana de Belo Horizonte**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 24, n. 2, p. 411-423, 2019.
- BERTICELLI, Ritielli; DECESARO, Andressa; MAGRO, Francisco; COLLA, Luciane Maria.. **Compostagem como alternativa de biorremediação de áreas contaminadas**. Revista CIATEC-UPF, v. 8, n. 1, 2016.
- BRASIL. Lei n. 12.305, 2010. **Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Poder Legislativo, Brasília, DF, 2010. Seção 1, p. 3. Disponível em: <<https://bit.ly/2HVJNdW>>. Acesso em: 15 junho 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR +)**, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/mma-lanca-sinir-com-informacoes-detalhadas-sobre-a-gestao-dos-residuos-solidos-em-todo-o-pais>. Acesso em: 17/09/2022.

CAMPITELLI, Alessio; SCHEBEK, Liselotte. How is the performance of waste management systems assessed globally? A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 272, p. 122986, 2020.

CARDOZO, Bárbara Cristina; MANNARINO, Camille Ferreira; FERREIRA, João Alberto. **Análise do monitoramento ambiental da incineração de resíduos sólidos urbanos na Europa e a necessidade de alterações na legislação brasileira**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 26, p. 123-131, 2021.

CHAPARRO, Marcia Aparecida Campos *et al.* A importância da reciclagem do vidro para a natureza. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 50239-50246, 2021.

CHEN, David Meng-Chuen *et al.* The world's growing municipal solid waste: Trends and impacts. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 7, p. 074021, 2020.

COSTA, Amanda Rodrigues Santos; XIMENES, Tiana Cibele Fagundes; XIMENES, Amanda Fagundes; BELTRAME, Leocádia Terezinha Cordeiro. **O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos**. The process of composting and its potential in the recycling of organic waste. Revista Geama, p. 246-260, 2015.

COSTA, Pedro Moura; COSTA, Mauricio Moura; FREITAS, Luciana. **Créditos de Logística Reversa para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: estudo de caso da BVRIO no Brasil**. Política nacional de resíduos sólidos: implementação e, p. 91, 2017.

COUTINHO, Pablo Wenderson Ribeiro; CANDORIN, Danielle Acco; NORETO, Lorena Maia; GONÇALVES, Affonso Celso. **Alternativas de remediação e descontaminação de solos: biorremediação e fitorremediação**. Nucleus, v. 12, n. 1, p. 59-68, 2015.

DA SILVA, Pedro Henrique Borhrer; DE SOUZA, Armando Cirilo. **Caracterização da reciclagem do pó de vidro blindex® para obtenção de um novo compósito a base de celulose, que será aplicado na indústria da construção civil**. ANAIS DO ENIC, 2020.

DA SILVEIRA, Leonardo Ramos. **Biorremediação: considerações gerais e características do processo**. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 13, n. 2, 2016.

DE CARVALHO, Júlia Trindade Alves; SANTOS, Gervásio Ferreira dos; RIBEIRO, Carlos Santana; MATA, Henrique Tomé da Costa. **Sustentabilidade e rotas tecnológicas de reciclagem para a cidade de salvador, no âmbito da política nacional de resíduos sólidos**. Planejamento e Políticas Públicas, n. 52, 2019.

DE OLIVEIRA FILHO, Josemar Gonçalves; CAMARA, Carlito Pereira da; SOUSA, Terezinha Cristina Farias; CRUZ, Ítalo de Almeida; EGEA, Mariana Buranelo; FALCÃO, Heloísa Alves de Sousa; SILVA, Edilsa Roda. **Caracterização microbiológica do processo**

- de compostagem de resíduos orgânicos em pequena escala.** In: Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215. p. 130-136. 2017.
- DECESARO, Andressa. **Biossurfactantes em Processos de Biorremediação.** Revista Ciências Exatas e Naturais, v. 17, n. 1, p. 119-143, 2015.
- DEMAJOROVIC, Jacques; LIMA, Márcia. **Cadeia de reciclagem: um olhar para os catadores.** Editora Senac São Paulo, 2019.
- DIAS, Sonia Maria. Lixo e Cidadania: os impactos da política de resíduos sólidos de Belo Horizonte no mundo do trabalho do catador da ASMARE. **Anais**, p. 1-25, 2016.
- DO NASCIMENTO, Helton Rafael Ferreira; PETARNELLA, Leandro. **A reciclagem de vidros e o impacto socioambiental: O caso da Corporação de Apoio à Criança Queimada (Coaniquem).** Simpósio Nacional de Projetos, Inovação e Sustentabilidade, 2017.
- EHELIYAGODA, Disna. SWOT analysis of urban waste management: **A case study of Balangoda Suburb.** J. Glob. Ecol. Environ, v. 5, n. 1, p. 73-82, 2016.
- FERREIRA, Cynthia Fantoni Alves; JUCÁ, José Fernando Thomé. **Metodologia para avaliação dos consórcios de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22, p. 513-521, 2017.
- FREITAS, Luciana Costa; BESEN, Gina Rizpah; JACOBI, Pedro Roberto. **Panorama da implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos: resíduos urbanos.** Política nacional de resíduos sólidos: implementação e, p. 11. 2017.
- GODECKE, Marcos Vinicius; WALERKO, Vandressa Siqueira. **Gestão de resíduos sólidos urbanos: Estudo do caso da reciclagem em Pelotas, RS.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 4, n. 1, p. 104-128, 2015.
- GOES, Dalvan. **A contribuição do aterro sanitário na gestão de resíduos sólidos.** Revista Científica da FASETE, p. 90, 2016.
- GOMES, Luciana Paulo *et al.* **Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 20, p. 449-462, 2015.
- GONÇALVES, Marcelino de Andrade. **Um estudo comparado entre a realidade brasileira e portuguesa sobre a gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Sociedade & Natureza, v. 28, n. 1, p. 9-20, 2016.
- GRI. **Panorama da produção de resíduos sólidos no Brasil e no mundo. 2020.** Disponível em: < <https://www.gri-solvi.com/post/panorama-da-producao-de-residuos-solidos-no-brasil-e-no-mundo>>. Acesso em 04 ago. 2021.
- HERNÁNDEZ-RUIZ, Gina María; ÁLVAREZ-OROZCO, Natalia Andrea; RÍOS-OSORIO, Leonardo Alberto. **Biorremediação de organofosforados por fungos e bactérias em solos agrícolas: revisão sistemática.** Ciencia y Tecnología Agropecuaria, v. 18, n. 1, p. 138-159, 2017.

JACARANDA, Daniel; COSTA, JS de S.; BORGES, Wardsson Lustrino. **Compostagem de resíduos orgânicos: avaliação de resíduos disponíveis no Amapá.** In: Embrapa Amapá- Artigo em anais de congresso (ALICE). Cadernos de Agroecologia, v. 10, n. 3, out. 2015. Resumo apresentado no IX Congresso Brasileiro de Agroecologia, 2015, Belém, PA., 2015.

KLEIN, Flávio Bordino; GONÇALVES-DIAS, Sylmara Lopes Francelino; JAYO, Martin. **Gestão de resíduos sólidos urbanos nos municípios da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê: uma análise sobre o uso de TIC no acesso à informação governamental.** Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 10, n. 1, p. 140-153, 2018.

LACERDA, Kênia Alves Pereira; MORAES, João Vitor de Queiroz; SILVA, Yasmin Gomes; OLIVEIRA, Silvio Lacerda. **Compostagem: alternativa de aproveitamento dos resíduos sólidos utilizando diferentes modelos de composteiras.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 6, p. 40753-40763, 2020.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos da metodologia científica.** In: Fundamentos da metodologia científica. p. 320-320. 2010.

LEITÃO, Joel Ricardo Cavaco - **Misturas binárias de betão auto-compactável com incorporação de cinzas de fundo resultantes da incineração de resíduos sólidos.** 2018. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018.

LEITE, Clauber Barão. **Tratamento de resíduos sólidos urbanos com aproveitamento energético: avaliação econômica entre as tecnologias de digestão anaeróbia e incineração.** 2016. Dissertação (Mestrado em Energia) - Instituto de Energia e Ambiente, University of São Paulo, São Paulo, 2016.

LEONEL, Lillian Vieira *et al.* Biorremediação do solo. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 26, n. 51, p. 37-52, 2018.

LIMA, P. G.; DESTRO, G. E.; BRAGA JUNIOR, S. S.; FORTI, J. C. **Análise gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de um aterro sanitário.** Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, Tupã, São Paulo, Brazil, v. 12, n. 4, p. 410-426, 2018.

MAIELLO, Antonella; BRITTO, Ana Lucia Nogueira de Paiva; VALLE, Tatiana Freitas. **Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Revista de Administração Pública, v. 52, p. 24-51, 2018.

MALLMANN, Viviane. **As Vantagens da Biorremediação na Qualidade Ambiental.** Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde, v. 23, n. 1, p. 12-15, 2019.

MANNARINO, Camille Ferreira; FERREIRA, João Alberto; GANDOLLA, Mauro. **Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, p. 379-385, 2016.

MARCHI, Cristina Maria Dacach Fernandez. **Novas perspectivas na gestão do saneamento: apresentação de um modelo de destinação final de resíduos sólidos urbanos.** *urbe*. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 7, n. 1, p. 91-105, 2015.

MARQUES, Henrique Fernandes. **Reaproveitamento de resíduos da construção civil: a prática de uma usina de reciclagem no estado do Paraná.** *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4, p. 21912-21930, 2020.

MARQUES, Eliane Aparecida Ferreira *et al.* **Gestão da coleta seletiva de resíduos sólidos no campus Pampulha da UFMG: desafios e impactos sociais.** *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 6, n. 3, p. 131-149, 2017.

MESQUITA, João Lara. **Lixo no Brasil, um problema ainda longe da solução.** 2019. Disponível em: < <https://marsemfim.com.br/lixo-no-brasil-um-problema-ainda-longo-da-solucao/>>. Acesso em 04 ago. 2021.

MOL, Marcos Paulo Gomes *et al.* **Gestão adequada de resíduos sólidos como fator de proteção na ocorrência da dengue.** *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 44, p. e22, 2020.

MONTEIRO, José André Verneck. **Benefícios da compostagem doméstica de resíduos orgânicos.** *Revista Educação Ambiental em Ação*, n. 56, 2016.

MORAES, José Laécio. **Dificuldades para o aproveitamento energético de resíduos sólidos através da incineração no Brasil.** *GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeducacionais*, v. 6, n. 3, p. 173-180, 2015.

MORAIS FILHO, MC de; CORIOLANO, Ana Catarina Fernandes. **Biorremediação, uma alternativa na utilização em áreas degradadas pela indústria petrolífera.** *HOLOS*, v. 7, p. 133-150, 2016.

MOREIRA, Catarina. **Incineração.** *Revista de Ciência Elementar*, v. 3, n. 3, 2015.

MOSTARDEIRO, Maria Eduarda Simon; ODERICH, Ana Lúcia; CIDADE, Mariana Kuhl. **Desenvolvimento de joia mediante a reciclagem de vidros e processos de fabricação multidisciplinares.** *Plural Design*, v. 2, n. 1, p. 69-79, 2019.

NAGALLI, André. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil.** *Oficina de Textos*, 2016.

NARETHONG, Horaphat. **Environmental Governance: Urban Waste Management Model.** *Journal La Lifesci*, v. 1, n. 2, p. 32-36, 2020.

NASCIMENTO, Victor Fernandez *et al.* **Evolução e desafios no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.** *Revista Ambiente & Água*, v. 10, p. 889-902, 2015.

NEIVERTH, Cristhiane; SANTOS; Luis Fernando Almeida Santos; OLIVEIRA, José Carlos de Oliveira; PEDROSO, Christian Patrick Pereira. **Análise do potencial de geração de energia elétrica a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos.** *Anais do EVINCI-UniBrasil*, v. 6, n. 1, p. 138-138, 2020.

NUNES, Rodrigo Rodrigues; SILVA, RAP da. **Transbordo de resíduos sólidos**. Revista Pensar Engenharia, v. 3, n. 1, p. 1-18, 2015.

OLIVEIRA, Douglas Eldo Pereira. **Análise do potencial da produção de energia a partir da incineração de resíduos sólidos urbanos na cidade de São Paulo**. Interciencia, v. 43, n. 11, p. 778-783, 2018.

OLIVEIRA, Thais Brito de; GALVÃO JUNIOR, Alceu de Castro. **Planejamento municipal na gestão dos resíduos sólidos urbanos e na organização da coleta seletiva**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 1, p. 55-64, 2016.

OLIVEIRA, Ananda Ferreira; MIRANDA, Rafael Abreu; SOARES, Laís Alves. **Impactos ambientais em áreas de disposição de resíduos sólidos em Santa Helena de Goiás**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 8, n. 3, p. 688-706, 2019.

OS DESCAMINHOS DO LIXO. Estadão, São Paulo, 27, novembro de 2019. Disponível em: < <https://opinioao.estadao.com.br/noticias/notas-e-informacoes,os-descaminhos-do-lixo,70003103935> >. Acesso em 05/08/2021.

PEIXOTO, Alan Amorim; FERNANDES, Juliana Gonçalves. **Utilização da Técnica de Compostagem: uma proposta para destinação final dos resíduos orgânicos gerados em um restaurante universitário**. XIII SEGeT–Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, v. 7, 2016.

PEREIRA, Suellen Silva; CURI, Rosires Catão. **Aplicação do índice de qualidade de aterros de resíduos sólidos urbanos no Aterro Sanitário de Puxinanã/PB**. Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação, v. 8, n. 1, p. 108-124, 2017.

PEREIRA, Suellen Silva; CURI, Rosires Catão; CURI, Wilson Fadlo. Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma proposta metodológica de construção e análise para municípios e regiões. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 471-483, 2018.

PEREIRA, Suellen Silva; CURI, Rosires Catão; CURI, Wilson Fadlo. Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma proposta metodológica de construção e análise para municípios e regiões. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 471-483, 2018.

PIÑAS, Jean Agustin Velásquez. **Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb)**. Revista Brasileira de Estudos de População, v. 33, p. 175-188, 2016.

RAMOS, Silma Pacheco; SANTOS, Sérgio Luiz Silva; DE OLIVEIRA, Fabiane Araujo. **Lei da política nacional de resíduos sólidos: análise conceitual de destinação e disposição adequadas de resíduos sólidos**. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, v. 14, n. 1, p. 1-14, 2020.

RECICLAGEM, **Anuário da**, 2021. Disponível em: [https://ancat.org.br/wp-content/uploads/2022/07/61cc5f12957d186a623aebc9\\_Anuar%CC%81rio-da-Reciclagem-2021-1.pdf](https://ancat.org.br/wp-content/uploads/2022/07/61cc5f12957d186a623aebc9_Anuar%CC%81rio-da-Reciclagem-2021-1.pdf). Acesso em: 17/09/2022.

REIS, Paula Thaise Bermudez; MATTOS, Ubirajara Aluizio De Oliveira; SILVA, Elmo Rodrigues. **Gestão municipal de resíduos sólidos urbanos à luz da Política Nacional de Resíduos: estudo de caso no município de Japeri, RJ, Brasil.** *Sistemas & Gestão*, v. 13, n. 3, p. 321-333, 2018.

RODRIGUES, Alexandre; FRANÇA, Jacson Rodrigues; SILVEIRA, Rafael Borth; SILVA, Rodrigo Ferreira da; ROS, Clovis Orlando da; CUNHA, Pedro Daniel. **Compostagem de resíduos orgânicos: eficiência do processo e qualidade do composto.** *Enciclopédia biosfera*, v. 11, n. 22, 2015.

SANTOS, Catarina Pontes dos. **Gestão de resíduos urbanos e projetos de recolha seletiva: uma abordagem para o Município de Gondomar no âmbito do PERSU 2020.** 2015. 152f. Dissertação de mestrado integrado em Engenharia Biológica (área de especialização em Tecnologias Ambientais), Minho, 2015.

SANTOS, Tabatha; ROVARIS, Nicole Regina Souza. **Cenário brasileiro da gestão dos resíduos sólidos urbanos e coleta seletiva.** *Anais do VI SINGEP–São Paulo–SP–Brasil–13 e*, v. 14, n. 11, 2017.

SCHRAMM, Júlia Santos; BAZZO, Edson. **Análise do potencial energético e do processo de incineração como alternativa na gestão de resíduos sólidos urbanos em Florianópolis.** *Anais dos Encontros Nacionais de Engenharia e Desenvolvimento Social- ISSN 2594-7060*, v. 13, n. 1, 2016.

SCHUELER, Adriana Soares de; KZURE, Humberto; RACCA, Gustavo Badolati. **Como estão os resíduos urbanos nas favelas cariocas?.** *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 10, n. 1, p. 213-230, 2018.

SENA, Larissa Moraes; ARRUDA, Julyanne Fonteles; COSTA, Francisca Raíssa da Silva; ALMEIDA, Fabiana Barbosa Bráz; Brito, Paulo Ovídio de; GONDIM, Franklin Aragão. **Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e de destinação de resíduos orgânicos.** *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 2, p. 266-272, 2019.

SILVA, Carlos Roberto Vieira; SOLER, Fabricio Dorado. **Gestão de resíduos sólidos: o que diz a lei.** Editora Trevisan, 2019

SILVA, Elissando Rocha da; TONELI, Juliana Tófano de Campos Leite; PALACIOS-BERECHE, Reynaldo. **Estimativa do potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos usando modelos matemáticos de biodigestão anaeróbia e incineração.** *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 24, p. 347-357, 2019.

SILVA, Fabiane Amaral De Albuquerque; LIMA, Marcelo Oliveira; ALVES, Claudio Nahum. **Análise do processo de descarte e reciclagem de vidro em uma distribuidora de bebidas da cidade de Manaus, estado do Amazonas.** *ITEGAM-JETIA*, v. 3, n. 11, p. 119-124, 2017.

SILVA, Washington Kennedy Araújo Sousa; TAGLIAFERRO, Evandro Roberto. **Aterro sanitário-a engenharia na disposição final de resíduos sólidos.** *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 2, p. 12216-12236, 2021.

SIQUEIRA, Thais Menina Oliveira de; ABREU, Marcos José de. **Fechando o ciclo dos resíduos orgânicos: compostagem inserida na vida urbana**. *Ciência e Cultura*, v. 68, n. 4, p. 38-43, 2016.

SIQUEIRA, Thais Menina Oliveira; ASSAD, Maria Leonor Ribeiro Casimiro Lopes. **Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo (Brasil)**. *Ambiente & Sociedade*, v. 18, p. 243-264, 2015.

SOUZA, HA de. **Características físicas e microbiológicas de compostagem de resíduos animais**. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 71, p. 291-302, 2019.

SOUZA, Luan Alves; CARMO, Dirlane de Fátima; SILVA, Flavio Castro. **Uso de microrganismos eficazes em compostagem de resíduos sólidos orgânicos de feira e restaurante**. *Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula*, v. 2, n. 2, p. 42-54, 2020.

SOUZA, Luís Henrique Nunes; ARRUDA, Regina de Oliveira Moraes. **Revitalização de corpos d'água com o uso da biorremediação**. *Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada-UNG-Ser*, v. 4, n. 1, p. 37-45, 2021.

TARFASA, Solomon; BROUWER, Roy. Public preferences for improved urban waste management: a choice experiment. **Environment and Development Economics**, v. 23, n. 2, p. 184, 2018.

THODE FILHO, Sérgio; ALMEIDA, Thuany Moraes de; PAIXÃO, Cíntia Patrícia Santos; MARQUES, Monica Regina da Costa. **Biorremediação passiva: um estudo preliminar sobre o óleo vegetal de soja**. *Ciência e Natura*, v. 37, n. 2, p. 401-404, 2015.

VALENTE, Beatriz Simões *et al.* Impactos ambientais dos resíduos sólidos no município de Pelotas/RS: Um olhar fotográfico. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, v. 20, n. 1, p. 97-104, 2016.

VANSETTO, Carla Cristina; GHISI, Tatiana. **Resíduos sólidos e cooperativas de reciclagem: a Arquitetura como promotora social e ambiental**. *Labor E Engenharia*, v. 13, p. e019019-e019019, 2019.

VASCONCELOS, Carolina Larissa. **Reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD): um estudo de caso na usina de beneficiamento de resíduos de Petrolina-PE/**. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 10, n. 1, p. 93, 2016.

VIANA, Leandro Gomes; CRUZ, Patrícia Silva. **Reaproveitamento de resíduos agroindustriais**. In: Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental–IV COBESA. 2016.

YADAV, Vinay; KARMAKAR, Subhankar. Sustainable collection and transportation of municipal solid waste in urban centers. **Sustainable Cities and Society**, v. 53, p. 101937, 2020.

ZAGO, Valéria Cristina Palmeira; BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. **Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 24, p. 219-228, 2019.

ZAMBON, Matheus Moraes. **Alternativas para a gestão dos resíduos orgânicos urbanos: Um estudo de caso na cidade de Florianópolis**. Dissertação (mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2017.

ZANIN, Maria; MANCINI, Sandro Donnini. **Resíduos plásticos e reciclagem: aspectos gerais e tecnologia**. SciELO-EdUFSCar, 2015.

ZONATTI, Welton Fernando. **Geração de resíduos sólidos da indústria brasileira têxtil e de confecção: materiais e processos para reuso e reciclagem**. 2016. Tese (Doutorado em Sustentabilidade) - Escola de Artes, Ciências e Humanidades, University of São Paulo, São Paulo, 2016.