

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE - UNICENTRO-PR**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM**  
**ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**CARLOS CASTURINO BUENO DA SILVA CRUZ**

**EFEITO DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE MALTE DA**  
**INDÚSTRIA CERVEJEIRA NO PROCESSO DE**  
**COMPOSTAGEM**

**IRATI-PR**

**2023**

**CARLOS CASTURINO BUENO DA SILVA CRUZ**

**EFEITO DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE MALTE DA  
INDÚSTRIA CERVEJEIRA NO PROCESSO DE  
COMPOSTAGEM**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Tatiane Bonametti Veiga

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Kelly Geronazzo Martins

**IRATI-PR**

**2023**

Catálogo na Publicação  
Rede de Bibliotecas da UNICENTRO

C957e

Cruz, Carlos Casturino Bueno da Silva

Efeito da adição de resíduo de malte da indústria cervejeira no processo de compostagem / Carlos Casturino Bueno da Silva Cruz. -- Irati, 2023.  
xvi, 104 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Gerenciamento de Resíduos Sólidos, 2023.

Orientadora: Tatiane Bonametti Veiga

Coorientadora: Kelly Geronazzo Martins

Banca examinadora: Érica Pugliesi, Ana Carolina Barbosa Kummer,  
Tatiane Bonametti Veiga

Bibliografia

1. Compostagem. 2. Gestão Integrada de Resíduos. 3. Resíduos de Indústria Cervejeira. 4. Resíduos Sólidos. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

| CDD 628.4



## TERMO DE APROVAÇÃO

Carlos Casturino da Silva Cruz

### Efeito da adição de resíduo de malte da indústria cervejeira no processo de compostagem

Dissertação aprovada em 19 de dezembro de 2023, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Sanitária e Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:

Banca Examinadora:

Dra. Tatiane Bonametti Veiga - UNICENTRO

Presidente/Orientadora

Participação via remota

Dra. Érica Pugliesi - UFSCar

Primeira examinadora

Participação via remota

Dra. Ana Carolina Barbosa Kummer - UNICENTRO

Segunda Examinadora

Participação via remota

Irati-PR, 19 de dezembro de 2023.

[www3.unicentro.br/ppgesa](http://www3.unicentro.br/ppgesa)

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Sanitária e Ambiental – PPGESA/UNICENTRO – Câmpus de Irati - PR  
Rua Profª Maria Rosa Zanon de Almeida, Bairro Engenheiro Gutierrez - CEP: 84.505-677 - Irati/PR – (42) 3421-3017



ePROTOCOLO

**Correspondência Interna 096/2023.**

Documento: **TermodeAprovacaoCarlosBueno.pdf.**

Assinatura Avançada realizada por: **Ana Carolina Barbosa Kummer (XXX.828.759-XX)** em 26/01/2024 09:11 Local: UNICE/PPGESA.

Assinatura Simples realizada por: **Erica Pugliesi (XXX.219.638-XX)** em 20/12/2023 11:43, **Tatiane Bonametti Veiga (XXX.517.799-XX)** em 26/01/2024 10:09 Local: CIDADAO.

Inserido ao documento **716.220** por: **Joelma Fedalto Vitor Ferreira** em: 20/12/2023 10:03.



Documento assinado nos termos do Art. 38 do Decreto Estadual nº 7304/2021.

A autenticidade deste documento pode ser validada no endereço:

**<https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/validarDocumento>** com o código:  
**3183ed22a525f6f7013fa427f51bd531.**

Dedico esse trabalho a minha família, em especial minha mãe Rosilda (*in memoriam*) e minha tia Marli (*in memoriam*), que com certeza devem estar conversando e rindo juntas; aos meus amigos e pessoas importantes para mim.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por tudo até aqui e até onde Ele permitir.

Agradeço ao meu pai Antônio Carlos, minha madrastra Elza Margarida, meu irmão Wesley Danilo, minha cunhada Andressa Puretz, meus tios e tias, por todo o apoio e incentivo, apesar das dificuldades, sempre buscam me motivar de alguma forma.

Agradeço aos meus amigos, principalmente os que fizeram parte de todo o processo e viram de perto tudo o que aconteceu. Agradeço especialmente ao Elison Borges por todos os momentos de apoio, compreensão e motivação para a conclusão do estudo; a Jéssica Chiafitela por toda a ajuda na execução dos trabalhos, também pelas conversas, pelas risadas e por compartilhar o mesmo sentimento no decorrer tanto da graduação quanto da pós-graduação, a Elaine Golinski e a Amanda Tayara pelas conversas e risadas nos intervalos entre as análises; ao Marcos Vinícius por toda a ajuda em todos os processos do trabalho, desde conseguir e ajudar a cortar material durante os sábados, também a montagem do experimento, as análises e o monitoramento das composteiras; a Maiza Barcia pelo auxílio na montagem das composteiras; a Natasha Horevitch e a Bruna Barendrechte pelo auxílio nas análises dos experimentos.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental por todo o conhecimento repassado em sala de aula, em especial as professoras Tatiane Bonametti Veiga por ter aceitado orientar esse trabalho e também a Kelly Geronazzo por todo o auxílio nas questões estatísticas.

Agradeço a Joelma Fedalto por toda a ajuda no decorrer do curso, as documentações, os avisos, a motivação e o incentivo a concluir.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001

"A vida é simples, é tomar decisões e não se arrepender"

Filme: Velozes e Furiosos: Desafio em Tóquio (2006)



## RESUMO

Os resíduos sólidos originados na produção de cerveja são subprodutos provenientes da utilização dos grãos maltados, compostos principalmente por cascas de cevada maltada. Esses resíduos representam o principal subproduto da indústria cervejeira. A compostagem surge como um método simplificado e economicamente vantajoso para o tratamento desses resíduos, destacando-se por seu baixo custo e pela dispensa de mão de obra altamente especializada. O presente estudo teve como objetivo analisar a eficiência da biodegradabilidade de resíduos de malte de indústria cervejeira e material processado de amido no processo de compostagem. O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), *Campus* de Irati, utilizando nove composteiras, de 36 litros cada. A preparação do composto incluiu 70% de resíduos secos, constituídos por capim, e 30% de resíduos orgânicos, onde desses, 10% eram material alvo e 20% resíduos de frutas e legumes. O comportamento observado durante os experimentos destacou a notável influência da variação de temperatura externa sobre o processo de compostagem, acentuada devido às características específicas do ambiente de estudo. O pH mostrou oscilações, indicando autocontrole pelos microrganismos, permanecendo em uma faixa, entre 6,5 e 9,6, considerada adequada para uma compostagem bem-sucedida. A umidade foi monitorada para garantir a sobrevivência dos microrganismos, com destaque para as composteiras 2 e 3 e a capacidade de retenção de líquidos por meio do amido que contribuiu para maior umidade nesses dispositivos, prejudicando a difusão de oxigênio, reduzindo a temperatura e propiciando condições anaeróbias. Em relação a matéria orgânica foi observado, ao longo do experimento, a mitigação em todas as composteiras, sendo apresentados níveis acima de 30% de redução do composto, indicando eficiência do processo. A Análise de Componentes Principais - ACP indicou relação inversamente proporcional sobre os parâmetros temperatura e matéria orgânica, corroborando com a literatura. A Respiração Basal do Composto - RBC expressou maior atividade microbiana na composteira controle, indicando maior liberação de CO<sub>2</sub> em relação às demais, contribuindo para a potencialização do efeito estufa. A Biomassa Microbiana - C-BMC também mostrou a composteira controle como mais instável frente às demais. Para o Quociente metabólico - qCO<sub>2</sub>, responsável pela razão entre a RBC e C-BMC, as composteiras demonstraram valores abaixo da composteira controle. Conclui-se que a adição dos resíduos de amido e bagaço de malte promoveram maior eficiência ao processo de compostagem, resultando em compostos mais estáveis e menor liberação de CO<sub>2</sub> em comparação a composteira sem adição de material de estudo. Diante disso, foi evidenciado o potencial de degradabilidade do material, apesar das condições térmicas desfavoráveis no local de estudo, os valores obtidos denotaram eficiência no processo, com resultados em conformidade com os parâmetros descritos na literatura, e impossibilidade de identificar o material de origem utilizado para a compostagem após determinado período. Logo, considerando o volume de resíduos de bagaço de malte de indústria cervejeira e o tempo de degradação, o processo de compostagem configura uma alternativa eficiente ao tratamento desses resíduos, bem como uma técnica viável para promover uma maior sustentabilidade nos processos de produção nesse setor produtivo.

Palavras-chave: Compostagem; Gestão Integrada de Resíduos; Resíduos de Indústria Cervejeira; Resíduos Sólidos.

## ABSTRACT

Solid waste originating in beer production is by-products resulting from the use of malt grains, mainly composed of malted barley husks. These residues represent the main by-product of the brewing industry. Composting appears as a simplified and economically advantageous method for treating this waste, standing out for its low cost and the need for highly specialized labor. The present study aimed to analyze the efficiency of biodegradability of processed starch and malt waste material from the brewing industry in the composting process. The experiments were conducted at the Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), Irati Campus, using nine compost bins, 36 liters each. The preparation of the compost included dry pruning branches and leaves as waste, with a proportion of 70% and 30% organic waste, of which 10% was target material and 20% fruit and vegetable waste. The behavior observed during the experiments highlighted the notable influence of external temperature variation on the composting process, accentuated due to the specific characteristics of the study environment. The pH showed fluctuations, indicating self-control by microorganisms, remaining in a range, between 6.5 and 9.6, suitable for successful composting. Humidity was monitored to ensure the survival of microorganisms, with emphasis on composters 2 and 3 and the capacity to retain liquids through starch, which contributed to greater humidity in these devices, impairing the diffusion of oxygen, reducing the temperature and providing conditions anaerobic. In relation to organic matter, throughout the experiment, mitigation was observed in all composters, with levels above 30% compost reduction, indicating process efficiency. The Principal Component Analysis - PCA indicated an inversely proportional relationship on the parameters temperature and organic matter, corroborating the literature, Basal Compost Respiration - BCR expressed greater microbial activity in the control compost bin, indicating greater release of CO<sub>2</sub> in relation to the others, contributing to enhance the greenhouse effect. The Microbial Biomass - CBM also showed the control composter as more unstable compared to the others. For the Metabolic Quotient - qCO<sub>2</sub>, responsible for the ratio between RBC and C-BMC, the composters demonstrated values below the control composter. It is concluded that the addition of starch and malt bagasse residues promoted greater efficiency in the composting process, resulting in more stable compounds and less release of CO<sub>2</sub> compared to the compost bin without addition of study material. Therefore, the degradability potential of the material was highlighted, despite the unfavorable thermal conditions at the study site, the values obtained denoted efficiency in the process, with results in accordance with the parameters described in the literature, and the impossibility of identifying the source material used. for composting after a certain period. Therefore, considering the volume of malt bagasse waste from the brewing industry and the degradation time, the composting process represents an efficient alternative to the treatment of this waste, as well as a viable technique to promote greater sustainability in production processes in this productive sector.

Keywords: Composting; Integrated Waste Management; Waste from the Brewing Industry; Solid Waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Definições de ordem de prioridade da Política Nacional de Resíduos Sólidos .....	39
Figura 2 - Ranking de produção nacional de cerveja por região .....	45
Figura 3 - Materiais utilizados para montagem do experimento .....	60
Figura 4 - Evolução dos valores de temperatura no período de 100 dias .....	64
Figura 5 – Diagrama de caixa sobre o comportamento da temperatura nas composteiras ...	66
Figura 6 – Evolução dos valores de pH no período de 100 dias .....	68
Figura 7 – Diagrama de caixa sobre o comportamento do pH nas composteiras .....	71
Figura 8 - Evolução dos valores da Umidade no período de 75 dias .....	73
Figura 9 - Diagrama de caixa sobre o comportamento da umidade nas composteiras .....	75
Figura 10 - Evolução dos valores da Matéria Orgânica no período de 15 dias .....	77
Figura 11 - Diagrama de caixa sobre o comportamento da matéria orgânica nas composteiras .....	79
Figura 12 - Correlação dos parâmetros principais com as composteiras – <i>software P.A.S.T.</i>	80
Figura 13 - Dendrograma de similaridade de grupos sobre a Respiração Basal do Composto. ....	81
Figura 14 - Dendrograma de similaridade de grupos sobre a Biomassa Microbiana. ....	83
Figura 15 - Dendrograma de similaridade de grupos sobre o Quociente Metabólico. ....	84

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições da PNMA .....	27
Quadro 2 – Definições da PNSB .....	28
Quadro 3 – Definições da PNRS .....	31
Quadro 4 – Alteração dos prazos de adequação para destinação de rejeitos .....	31
Quadro 5 - Classificação de resíduos quanto a periculosidade – NBR 10.004 .....	32
Quadro 6 - Classificação dos resíduos quanto a origem, segundo a PNRS.....	33
Quadro 7 - Logística reversa: definição e constituintes .....	34
Quadro 8 – Resolução SEDEST inclui medicamentos à logística reversa.....	35
Quadro 9 – Definições de Gerenciamento e Gestão Integrada da PNRS .....	37
Quadro 10 – Considerações sobre processos de compostagem.....	50
Quadro 11 – Tipos de materiais no processo de compostagem.....	50
Quadro 12 – Temperaturas ideais para higienização do composto .....	51
Quadro 13 – Disposição dos materiais de estudo conforme as composteiras .....	54
Quadro 14 – Parâmetros de controle e frequência de monitoramento da compostagem .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores mínimos, máximos, médias e medianas de temperatura das composteiras .....	63
Tabela 2 - Valores mínimos, máximos, médias e medianas de pH das composteiras .....	67
Tabela 3 - Valores mínimos, máximos, médias e medianas de umidade das composteiras ....	71
Tabela 4 - Valores mínimos, máximos, médias, medianas e redução da matéria orgânica das composteiras .....	76
Tabela 5 - Valores obtidos no ensaio de respiração basal do composto nas composteiras ....	81
Tabela 6 - Valores obtidos no ensaio de biomassa microbiana nas composteiras .....	83
Tabela 7 - Valores obtidos através do quociente metabólico .....	85

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ABRELPE</b>	Associação Brasileira de Empresa de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
<b>C-BMC</b>	Biomassa Microbiana do Composto
<b>COVID-19</b>	Coronavirus disease 2019
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional de Meio Ambiente
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>IAT</b>	Instituto Água e Terra
<b>ISWA</b>	International Solid Waste Association
<b>MAPA</b>	Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<b>MO</b>	Matéria Orgânica
<b>OMS</b>	Organização Mundial da Saúde
<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>pH</b>	Potencial Hidrogeniônico
<b>PNMA</b>	Política Nacional do Meio Ambiente
<b>PNSB</b>	Política Nacional de Saneamento Básico
<b>PNRS</b>	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<b>qCO<sub>2</sub></b>	Quociente Metabólico
<b>RBC</b>	Respiração Basal do Composto
<b>RSU</b>	Resíduos Sólidos Urbanos
<b>SEDEST</b>	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	21
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO .....	21
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>23</b>
3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS.....	23
3.2. RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNDO .....	24
3.3. RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL .....	25
3.4. POLÍTICA NACIONAL DE MEIO AMBIENTE .....	27
3.5. POLÍTICA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO .....	28
3.6. POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	30
3.7. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	32
3.8. GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	36
3.9. O PRINCÍPIO DOS 3 R's .....	39
4.0. RESÍDUOS ORGÂNICOS .....	41
4.1. RESÍDUOS DE INDÚSTRIA CERVEJEIRA .....	43
4.2. COMPOSTAGEM.....	46
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>53</b>
<b>5.1. DELINEAMENTO DO ESTUDO.....</b>	<b>53</b>
<b>5.2. CARACTERIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS .....</b>	<b>53</b>
5.2.1. TEMPERATURA.....	56
5.2.2. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO .....	56
5.2.3. UMIDADE .....	56
5.2.4. MATÉRIA ORGÂNICA .....	57
5.2.5. RESPIRAÇÃO BASAL DO COMPOSTO – RBC .....	57
5.2.6. BIOMASSA MICROBIANA DO COMPOSTO – C-BMC .....	58
5.2.7. QUOCIENTE METABÓLICO – $qCO_2$ .....	59
<b>5.3. PREPARAÇÃO DAS COMPOSTEIRAS .....</b>	<b>59</b>
5.3.1 MATERIAIS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS .....	60
<b>5.4. ANÁLISE DE DADOS.....</b>	<b>60</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>6.1 TEMPERATURA .....</b>	<b>63</b>

<b>6.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO .....</b>	<b>67</b>
<b>6.3 UMIDADE.....</b>	<b>71</b>
<b>6.4 MATÉRIA ORGÂNICA.....</b>	<b>76</b>
<b>6.5 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS .....</b>	<b>79</b>
<b>6.6 RESPIRAÇÃO BASAL DO COMPOSTO .....</b>	<b>80</b>
<b>6.7 BIOMASSA MICROBIANA .....</b>	<b>82</b>
<b>6.8 QUOCIENTE METABÓLICO.....</b>	<b>84</b>
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>87</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>91</b>



# INTRODUÇÃO

## 1 INTRODUÇÃO

O serviço público de saneamento básico, conforme descrito no art. 3º, inciso I da Lei 14.026 de 15 de julho de 2020 que atualiza o marco legal do saneamento básico compreende quatro componentes fundamentais: o abastecimento de água potável, o esgotamento sanitário, a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. É de extrema importância assegurar o acesso da população a esses serviços, uma vez que, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), cada unidade monetária investida em saneamento resulta em economias de quatro unidades monetárias em despesas com saúde. Portanto, existe uma relação direta entre o saneamento básico e a saúde e qualidade de vida das pessoas (Santos, Berticelli e Fritsch, 2018). Dentro desses quatro pilares, a gestão de resíduos tem sido um tópico amplamente debatido nas agendas nacionais e internacionais.

As técnicas de gerenciamento de resíduos e a disposição final ambientalmente apropriada dos rejeitos constituem algumas das orientações contempladas na Lei nº 12.305, promulgada em 2010, que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS foi regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, recentemente atualizado pelo Decreto nº 10.936/2022. No entanto, o prazo original para a conformidade com essas diretrizes era estipulado até 2 de agosto de 2014, sendo prorrogado em várias ocasiões nos anos subsequentes (Brasil, 2010a, 2010b, 2022a).

No cenário atual do Brasil em relação ao novo marco, está em vigor a Lei nº 14.026, datada de 15 de julho de 2020, a qual promove a atualização do arcabouço legal relacionado ao saneamento básico. No seu Artigo 54, foram estabelecidos prazos para que os municípios se ajustem à correta destinação dos resíduos, sendo que capitais e regiões metropolitanas tinham como data limite o dia 2 de agosto de 2021 para eliminar os lixões; cidades com população superior a 100 mil habitantes deveriam realizar suas adaptações até agosto de 2022, municípios com população entre 50 mil e 100 mil habitantes teriam até final do ano de 2023 para resolver essa problemática e por fim, os municípios com menos de 50 mil habitantes dispõem do prazo mais amplo, estendendo-se até 2024 (Brasil, 2020).

A destinação inadequada de resíduos sólidos tem sido uma questão crônica, e o crescimento populacional contribui significativamente para essa problemática, uma vez que existe uma relação direta entre a população e a geração de resíduos, que é diretamente proporcional. David Newman, presidente da Associação Internacional de Resíduos Sólidos

(ISWA), enfatiza que o aumento da população está vinculado ao aumento do acesso à renda, o que, por sua vez, estimula o aumento do consumo e da geração de resíduos (Brasil, 2014b).

Portanto, países mais densamente povoados, quando não implementam práticas integradas na gestão dos resíduos, tendem a apresentar níveis mais elevados de destinação incorreta, resultando em diversas consequências adversas. Isso inclui impactos ambientais negativos, como obstruções em corpos d'água que causam inundações e promovem o surgimento de doenças, bem como a contaminação do solo e da água devido à lixiviação, arrastamento e percolação, além da poluição do ar devido à emissão de gases e partículas (Gouveia, 2012). Além disso, a gestão inadequada de resíduos pode agravar a problemática relacionada aos vetores que encontram condições propícias para sua sobrevivência nos resíduos, o que, por sua vez, tem um impacto direto na saúde da população (Siqueira; Moraes, 2008).

A produção excessiva de resíduos, em contraste com uma crença comum, origina-se, na verdade, de nações mais economicamente desenvolvidas, destacando que, da mesma forma que há uma relação direta entre população e geração de resíduos, também existe uma relação direta entre geração de resíduos e poder aquisitivo. Nesse contexto, torna-se imperativo estabelecer uma gestão eficaz para lidar com as quantidades substanciais de resíduos gerados de forma integrada (Alsamawi, 2009; Jacobi, Besen, 2011).

Em 2022, a população global atingiu a marca de 8 bilhões de pessoas (United Nations, 2022). Isso resultou na produção anual de aproximadamente 1,4 bilhão de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), com cerca de 50% desse volume proveniente de nações economicamente desenvolvidas (Brasil, 2014<sup>a</sup>). De acordo com o Banco Mundial, mantendo-se os hábitos atuais, os índices de geração podem aumentar em até 350% até 2050 (Kaza *et al.*, 2018). Isso levanta uma série de questões, incluindo a preocupação sobre onde acomodar essa quantidade significativa de resíduos.

A necessidade de uma gestão integrada e mais sustentável de resíduos é evidente e necessária. No contexto do Brasil, os aterros sanitários ainda são amplamente utilizados como a principal opção para a disposição ambientalmente adequada, em grande parte devido à vasta extensão territorial do país. No entanto, existem tecnologias mais eficazes que podem ser utilizadas para o mesmo propósito, para a fração orgânica dos resíduos sólidos, a alternativa mais aceita e difundida consiste na compostagem, um processo que envolve a degradação da matéria orgânica em composto (húmus) por meio da ação de microrganismos, fungos e bactérias

em um ambiente aeróbico e com a presença de água (Teixeira; Germano; Oliveira; Júnior, 2002).

A produção de itens alimentícios e bebidas desempenha um papel central na geração de resíduos orgânicos, demandando a aplicação de métodos apropriados de gestão visando à prevenção do acúmulo e descarte inadequado, logo, a compostagem destaca-se como uma técnica altamente eficaz para a conversão dos resíduos orgânicos em substrato valioso, por meio da decomposição aeróbia, um processo ambientalmente responsável e sustentável que contribui para a conservação ambiental e a minimização do impacto ecológico (Marchi; Gonçalves, 2020).

No contexto da indústria cervejeira, observa-se um significativo volume de resíduos, principalmente a cevada utilizada na produção de cervejas *Pilsen* e *Weiss*, na fase pós-malteação, conhecido como bagaço de malte. Dada a escala de produção dessas bebidas, torna-se imperativo conduzir experimentos abrangentes para avaliar a biodegradabilidade dos resíduos gerados nesses processos. Tais experimentos não apenas sustentam a viabilidade ambiental da indústria cervejeira, mas também impulsionam o avanço das práticas sustentáveis no setor de alimentos e bebidas, promovendo uma abordagem mais abrangente e ecologicamente consciente em relação à fabricação desses produtos (Hasan *et al.*, 2018), sendo esse setor industrial um grande potencial de estudo para implantação de novas tecnologias que viabilizem o desenvolvimento integrado e mais sustentável, como é o caso desse trabalho que se propõe a aprofundar o estudo na área da compostagem desse material para avaliar sua biodegradabilidade, atestando a eficiência do processo, com uma visão ampliada nesse contexto.

**OBJETIVOS**

## 2 OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar o comportamento da adição de resíduos de malte de indústria cervejeira e material processado de amido no processo de compostagem

### 2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Acompanhar a evolução da decomposição do material biodegradável.
- Avaliar os parâmetros físico-químicos de controle do processo de compostagem a partir de percentual definido de resíduo de indústria cervejeira em relação ao resíduo orgânico.
- Analisar os valores obtidos das medidas e alterações na degradabilidade no contexto do processo de compostagem.
- Comparar a eficiência das diferentes composições empregadas no processo de compostagem.



## **REFERENCIAL TEÓRICO**

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 – RESÍDUOS SÓLIDOS

Com relação aos resíduos sólidos, o termo amplamente conhecido pela população é “lixo”, diante disso, a ABNT define resíduos sólidos como os restos provenientes das atividades humanas, que os geradores consideram inúteis, indesejáveis ou passíveis de descarte, podendo se apresentar em formas sólida, semissólida ou líquida, desde que não sejam passíveis de tratamento convencional (ABNT, 2004).

Ademais, a PNRS define resíduos sólidos como:

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (Brasil, 2010a, cap. II, art. 3º, inc. XVI)

Conforme a definição de Lerípio (2005, *apud* Costa, 2018), resíduos sólidos são materiais gerados, independentemente de sua origem ou características, que resultam das atividades humanas, abrangendo os âmbitos doméstico, social e industrial, podendo ser descartados,

já para Rajendran *et al.* (2021), os resíduos são tipicamente definidos como substâncias ou objetos que são considerados indesejados ou sem utilidade. Esses resíduos englobam uma ampla gama de substâncias, variando de pequenos itens a grandes volumes, como resíduos domésticos, resíduos industriais e resíduos radioativos, além desses, também são incluídos os resíduos biomédicos, resíduos agrícolas, resíduos de pesca e lixo eletrônico.

De acordo com Swain e Mishra (2019), os resíduos podem ser categorizados em diferentes estados, tais como líquidos, sólidos, ou em termos de sua natureza, como orgânicos, recicláveis e perigosos, respectivamente eles compartilham uma característica comum que os distingue: são biodegradáveis, recicláveis, inertes ou pertencem a outras categorias. É importante destacar que os resíduos não podem ser eliminados da vida cotidiana e configuram grandes problemáticas a respeito de sua geração e disposição ao redor do mundo.



### 3.2 – RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNDO

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) constituem um desafio global significativo, dado que volumes substanciais de resíduos que são gerados diariamente em todo o mundo. Hoornweg e Bhada-Tata (2012), estimaram que até 2025 a produção de resíduos sólidos no mundo poderá atingir 2,3 bilhões de toneladas, para Kaza *et. al* (2018) a estimativa fica em torno de 2,59 bilhões de toneladas até 2030. Tal aumento dispendioso tende a resultar na falta de disposição adequada, acarretando problemas ambientais e sociais. Notavelmente, em países com níveis superiores de desenvolvimento, essa problemática é ampliada. As quantidades elevadas de resíduos refletem a cultura geradora, associada a alta geração, a disposição inadequada tem um impacto adverso tanto na saúde humana, devido ao surgimento de vetores de doenças, quanto no meio ambiente, devido à contaminação de recursos hídricos, solo e atmosfera (Jacobi, Besen, 2011; Gouveia, 2012).

Acentuando a disparidade entre a geração de resíduos, está a categorização, a nível global, a fração orgânica representa até 46% do total de RSU, entretanto, em países com renda menor, a fração orgânica tende a ser maior, atingindo até 64% dos RSU gerados (Assad, 2016). Explicitando ainda a questão de disparidade, em âmbito global, cerca de 40% dos RSU são dispostos em aterros sanitários, destes, apenas 19% passam por processos de recuperação, os quais incluem reciclagem e compostagem. Apesar de mais oneroso, o processo de incineração moderna é adotado para o tratamento de 11% dos RSU, especialmente em países que não usufruam de grandes áreas disponíveis e/ou que busquem processos de tratamento mais eficientes. Por fim, ainda existe uma fração de resíduos gerenciada inadequadamente por meio de práticas como despejo a céu aberto (lixão) ou mesmo queima sem critérios de segurança e controle de poluição (Kaza *et. al*, 2018).

Ainda em perspectiva global, a quantidade crescente de resíduos descartados e a complexidade de seu conteúdo estão tornando o tratamento desses resíduos cada vez mais desafiador (Shamshad *et al.*, 2022). A gestão de RSU pode ser dividida em, principalmente, nas seguintes situações principais: deposição em aterro, compostagem, reciclagem, reutilização e incineração. Considerando a diversidade de dimensões e relevos existentes nos mais diversos países, a disposição de área adequada para a implantação de aterro sanitário encontra-se escassa, contribuindo para alternativas mais eficientes para o tratamento e disposição dos resíduos sólidos, logo, não apresentar alternativas à utilização exclusiva de aterro sanitário configura insustentabilidade (Kulkarni, 2020).

Apesar de a utilização de aterros sanitários ainda configurar avanço na disposição final de rejeitos em alguns países, como o Brasil, essa prática possui uma série de riscos se não houver planejamento nas fases de construção e principalmente na operação, como, poluição do ar devido a geração de gases, do solo devido a problemas de impermeabilização e, conseqüentemente, das águas subterrâneas a partir da percolação dos líquidos gerados dos materiais enclausurados, ademais, aterros sanitários apresentam grandes riscos de incêndio e explosão. Odores com características desagradáveis ou mesmo nocivas e a poluição ocasionada por metais pesados presentes nos rejeitos combinados com o alto grau de bioacumulação traz riscos sérios à saúde, além disso, danos à vegetação é outra questão presente nas discussões de implantação de aterros sanitários, onde, devido a alteração química local, há potencial de perturbação de espécies de vegetação nativa (Nannoni *et al.*, 2015; Adamcova *et al.*, 2017; Vaverková *et al.*, 2019).

A geração de resíduos global sofreu mudanças drásticas no período de 2019 a 2021, decorrente da pandemia de COVID-19, o qual levou à implementação de medidas de segurança e distanciamento social. Isso resultou em um aumento na compra de alimentos e produtos de estocagem, levando, por exemplo, a um crescimento de mais de 20% nas vendas em um único supermercado (Reconomy, 2020). Além disso, houve um aumento na aquisição de produtos como papel higiênico, máscaras faciais, luvas, produtos de limpeza e desinfetantes para as mãos à base de álcool 70% (Sarkodie; Owusu, 2021), bem como equipamentos de proteção individual. As compras realizadas em excesso com o intuito de estocagem resultaram em um aumento na geração de resíduos perecíveis e sobras e, principalmente, resíduos de serviço de saúde (RSS) gerados em domicílios, contribuindo para a produção de toneladas de resíduos, expondo a urgente necessidade de melhoria nos sistemas de gerenciamento de RSS (OPAS, 2022).

### 3.3 RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

De acordo com a Constituição Federal de 1988, especificamente no Artigo 225, todos os indivíduos possuem o direito de universalização ao acesso a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, que é considerado um bem de uso comum e essencial para uma qualidade de vida saudável. Isso impõe ao Poder Público e à sociedade em geral a responsabilidade de proteger e preservar o meio ambiente para as atuais e futuras gerações (Brasil, 1988).

Conforme dados fornecidos pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no período de 2010 a 2021, apresentou uma previsão de um provável aumento na geração de RSU no país, de 60,8 milhões de toneladas por ano para 81,8 milhões de toneladas no mesmo intervalo de tempo. Além disso, também apresentou o indicador de geração *per capita*, com uma previsão de aumento de 378,4 kg/hab/ano para 381 kg/hab/ano. Dessa forma, a geração total de RSU em território nacional expandiu-se em 25,6 milhões de toneladas, segundo essa associação (ABRELPE, 2010; 2021).

Contudo, é importante ressaltar que esse período coincidiu com o surgimento da pandemia de COVID-19, causada pelo vírus Sars-COV-2, pertencente à família Coronaviridae. Essa doença, oficialmente denominada COVID-19, anteriormente conhecida como 2019-nCoV (Mcintosh, 2020), provocou mudanças significativas nas rotinas das pessoas e, conseqüentemente, influenciou a geração de resíduos.

No Brasil, no ano de 2019, a geração de resíduos sólidos totalizou mais de 79 milhões de toneladas (79.069.585 t/ano), com uma média de 379,2 kg por habitante ao longo do ano (ABRELPE, 2020). Entretanto, as dinâmicas sociais sofreram alterações significativas no período de 2019 a 2020, em decorrência da pandemia de COVID-19, impactando consideravelmente os serviços de limpeza urbana e gestão de resíduos sólidos. Essa mudança se refletiu em uma maior centralização das atividades relacionadas ao descarte de materiais nos domicílios.

Durante o período de distanciamento social, a produção total de resíduos, no ano de 2020, alcançou, aproximadamente, 82,5 milhões de toneladas, com uma média de cerca de 390 kg/hab/ano. Isso significa que cada brasileiro passou a gerar, em média, 1,07 kg de resíduos por dia. Uma das possíveis hipóteses para esse aumento significativo pode residir nas novas práticas sociais, que migraram quase exclusivamente para o ambiente doméstico. Isso inclui a substituição do consumo em restaurantes por serviços de *delivery* e a realização do descarte de resíduos no próprio lar (ABRELPE, 2019; 2020).

Ao comparar os dados de 2019 e 2020, disponibilizados nos relatórios anuais da ABRELPE, pode-se observar o impacto da pandemia na geração de resíduos, sendo informado, pela associação, que a quantidade de resíduos gerados anualmente aumentou de 79 milhões de toneladas para 82,5 milhões de toneladas, representando um acréscimo de 4,25 milhões de toneladas no total de resíduos gerados no país. O aumento por habitante ao ano foi de aproximadamente 11 kg de resíduos (ABRELPE, 2020; 2021). O aumento na geração de

resíduos, associado à disposição inadequada dos mesmos, resulta em repercussões diretas e indiretas na sociedade, fauna e flora, causando impactos significativos no meio ambiente. Essas situações violam as políticas estabelecidas para a proteção do meio ambiente e da vida.

### 3.4 POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, possui algumas definições (Quadro 1), que remetem à preservação, melhoria e recuperação do meio ambiente, a fim de garantir meios adequados para a vida.

Quadro 1 – Definições da Política Nacional do Meio Ambiente

Lei 6.938/81	Definições
Art 3º, incisos I a V	<p><b>I</b> - Meio ambiente, o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas;</p> <p><b>II</b> - Degradação da qualidade ambiental, a alteração adversa das características do meio ambiente;</p> <p><b>III</b> - Poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;</li> <li>• criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;</li> <li>• afetem desfavoravelmente a biota;</li> <li>• afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;</li> <li>• lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;</li> </ul> <p><b>IV</b> - Poluidor, a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental;</p> <p><b>V</b> - Recursos ambientais: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora.</p>

Fonte: Adaptado de Brasil (1981)

As referidas definições desempenham um papel fundamental na garantia da conservação de um ambiente adequado. Elas estão diretamente relacionadas à preocupação com a poluição resultante do descarte irregular de resíduos sólidos, um problema ambiental de grande relevância. A poluição decorrente desse descarte inadequado tem efeitos diretos sobre a biodiversidade, afetando a biota local e, dependendo da natureza dos resíduos descartados de maneira imprópria, pode ter sérias consequências para a saúde humana (Gouveia, 2012).

A poluição do meio ambiente por resíduos sólidos, muitas vezes, provenientes de atividades industriais e domésticas, é uma questão crítica em termos de qualidade ambiental. O acúmulo de resíduos pode resultar na contaminação do solo e na contaminação dos corpos hídricos, representando uma ameaça tanto para a vida aquática quanto para a saúde humana, assim como a contaminação do solo, onde afeta negativamente a qualidade e a fertilidade do mesmo, tornando-o inadequado para usos futuros, como agricultura e construção, os poluentes provenientes dos resíduos sólidos podem infiltrar-se nas águas subterrâneas, comprometendo uma fonte vital de água potável (Gouveia, 2012).

A disposição incorreta desses resíduos pode acarretar a lixiviação de contaminantes no solo, contribuindo negativamente para a biota existente no local, além de comprometer a água com diversos componentes tóxicos, trazendo risco à saúde populacional (Rocha; Azevedo, 2015). Logo, o descarte ambientalmente correto contribui com a mitigação das problemáticas da ausência de saneamento básico, o qual compreende tanto o abastecimento de água, bem como a coleta e tratamento de esgotos, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (Capanema; Pimentel, 2018).

### 3.5 POLÍTICA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO

A Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007, que estabeleceu diretrizes nacionais para o Saneamento Básico, criou o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, atualmente, atualizada pela Lei 14.026, de 15 de julho de 2020, do Marco Legal do Saneamento Básico, apresenta algumas definições na temática de resíduos sólidos (Quadro 2), incluindo a questão do manejo de resíduos sólidos.

Quadro 2 – Definições da Política Nacional de Saneamento Básico

Lei 11.445	Definições
Art 3º, inciso I, alínea C	c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: constituídos pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana

Continua

Quadro 2 – Definições da Política Nacional de Saneamento Básico (Continuação)

Lei 11.445	Definições
Art. 3º-C	<p>Consideram-se serviços públicos especializados de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos as atividades operacionais de coleta, transbordo, transporte, triagem para fins de reutilização ou reciclagem, tratamento, inclusive por compostagem, e destinação final dos:</p> <p>I - Resíduos domésticos;</p> <p>II - Resíduos originários de atividades comerciais, industriais e de serviços, em quantidade e qualidade similares às dos resíduos domésticos, que, por decisão do titular, sejam considerados resíduos sólidos urbanos, desde que tais resíduos não sejam de responsabilidade de seu gerador nos termos da norma legal ou administrativa, de decisão judicial ou de termo de ajustamento de conduta; e</p> <p>III - resíduos originários dos serviços públicos de limpeza urbana, tais como:</p> <p>a) serviços de varrição, capina, roçada, poda e atividades correlatas em vias e logradouros públicos;</p> <p>b) asseio de túneis, escadarias, monumentos, abrigos e sanitários públicos;</p> <p>c) raspagem e remoção de terra, areia e quaisquer materiais depositados pelas águas pluviais em logradouros públicos;</p> <p>d) desobstrução e limpeza de bueiros, bocas de lobo e correlatos;</p> <p>e) limpeza de logradouros públicos onde se realizem feiras públicas e outros eventos de acesso aberto ao público; e</p> <p>f) outros eventuais serviços de limpeza urbana.</p>

Fonte: Adaptado de Brasil (2007)

Conforme estabelecido nos termos técnicos, o manejo de resíduos sólidos é um processo complexo que envolve várias etapas fundamentais. Inicialmente, é realizada a coleta de materiais, uma atividade que é amplamente executada na configuração porta-a-porta, na maioria das cidades brasileiras. No entanto, é importante observar que existem exceções em locais onde essa abordagem não é viável devido a fatores geográficos, como distância, relevo desafiador ou o tamanho restrito das vias. Nessas situações, recorre-se à estratégia do transbordo, que se caracteriza pelo armazenamento controlado e temporário dos resíduos em áreas designadas. Esse procedimento visa facilitar a coleta posterior, que ocorre em intervalos de tempo predefinidos (Brasil, 2022b).

Uma etapa subsequente no processo do gerenciamento de resíduos sólidos é o transporte dos materiais coletados para instalações especializadas em separação e triagem. A triagem é uma fase crítica, na qual os materiais são meticulosamente segregados de acordo com suas características e categorias. O objetivo consiste em permitir a reutilização ou a reciclagem eficiente desses materiais, contribuindo para a redução do desperdício e a conservação de recursos (Cunha e Filho, 2002).

O tratamento de resíduos sólidos, por sua vez, abrange uma série de processos e técnicas aplicadas a esses materiais. Esses processos visam principalmente à redução do volume

de resíduos, à minimização do impacto ambiental e à transformação dos resíduos em formas menos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde pública. Entre essas técnicas, a compostagem desempenha um papel significativo, promovendo a decomposição controlada de resíduos orgânicos em composto orgânico, material com relativo valor econômico para a agricultura (Cunha e Filho, 2002).

Por fim, quando os materiais não podem mais ser reaproveitados ou torna-se inviável realizar seu reaproveitamento ou reciclagem, deve ocorrer a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil, 2010a). No contexto brasileiro, o método amplamente aceito e difundido como adequado para essa finalidade é a disposição em aterros sanitários. Esses locais são projetados e operados de acordo com rígidos padrões ambientais, visando a minimização dos impactos negativos sobre o meio ambiente, incluindo a contaminação do solo e da água subterrânea (Lopes *et al.*, 2006).

Todas as etapas no processo de gerenciamento de resíduos sólidos são essenciais para promover a sustentabilidade, reduzir a poluição e proteger a saúde pública. É uma área em constante evolução, à medida que a conscientização ambiental cresce e novas tecnologias e práticas são desenvolvidas para otimizar o ciclo de vida dos materiais e minimizar o desperdício (Lopes *et al.*, 2006).

### 3.6 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Além da Lei nº 11.445, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, abrangendo atividades como abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem e manejo de águas pluviais, limpeza urbana e gestão dos resíduos sólidos (Brasil, 2007), foi publicada, em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sendo esta última regulamentada pelo Decreto nº 7.404, no mesmo ano e atualizada, em 2022, pelo decreto nº 10.936 (Brasil, 2010a, 2010b, 2022a).

Seguindo a definição estabelecida na PNRS, conforme ilustrado no Quadro 3, todos os materiais que se enquadram nessa definição requerem técnicas adequadas de tratamento e destinação, visando priorizar a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida da população. Além disso, é essencial distinguir resíduos de rejeitos, uma vez que os resíduos têm potencial para tratamento.

Quadro 3 – Definições da Política Nacional de Resíduos Sólidos

<b>Lei nº 12.305</b>	<b>Definições</b>
<b>Art. 3º, inciso XV</b>	<b>REJEITOS</b> Resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (Brasil, 2010a, p. 11).
<b>Art. 3º, inciso XVI</b>	<b>RESÍDUOS SÓLIDOS</b> Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. (Brasil, 2010a, p. 11).

Fonte: Adaptado de Brasil (2010)

A PNRS estabelece claramente a necessidade de eliminar a disposição inadequada de rejeitos. Essa responsabilidade é atribuída aos municípios, que devem se adequar aos prazos definidos no Artigo nº 54 da PNRS, que, inicialmente, estipulava um período de quatro anos após a publicação da lei em 2010 para essa adequação (Brasil, 2010a).

Entretanto, houve uma prorrogação no prazo estabelecido, conforme alterações no artigo mencionado anteriormente, estendendo o critério de adequação até 31 de dezembro de 2020. No entanto, dados da ABRELPE revelaram que, em 2020, ainda persistiam aproximadamente 39,8% de casos de disposição inadequada de rejeitos. Isso levou a uma terceira prorrogação do prazo para adequação dos municípios, conforme estabelecido na Lei nº 14.026 (Brasil, 2020), que atualizou o marco legal do saneamento básico e introduziu novos prazos, conforme detalhado no Quadro 4.

Quadro 4 – Alteração dos prazos de adequação para destinação de rejeitos

<b>Lei Nº 14.026 de 15 de julho de 2020</b>	I - Até 2 de agosto de 2021, para capitais de Estados e Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;
	II - Até 2 de agosto de 2022, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com países limítrofes;

Continua



Quadro 4 – Alteração dos prazos de adequação para destinação de rejeitos (Continuação)

<b>Lei Nº 14.026 de 15 de julho de 2020</b>	III - Até 2 de agosto de 2023, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010; e
	IV - Até 2 de agosto de 2024, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010

Fonte: Adaptado de Brasil (2020)

Ao término do prazo estipulado, os municípios que, devido às limitações financeiras, não tenham implementado sistemas de disposição adequada de rejeitos em conformidade com a Lei nº 14.026 têm a possibilidade de buscar soluções alternativas. No entanto, tais soluções devem estritamente obedecer às normas técnicas e operacionais estabelecidas por uma autoridade competente. O objetivo é mitigar os impactos ambientais e os riscos para a saúde pública e segurança associados à disposição inadequada de resíduos. Portanto, é imperativo a formulação de políticas públicas que abordem a reestruturação dos métodos de destinação de resíduos sólidos e disposição de rejeitos, incorporando os princípios de gestão e gerenciamento (Brasil, 2020).

### 3.7 – CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS

Segundo a Norma Brasileira ABNT NBR 10.004, de 2004, os resíduos recebem diferentes classificações correspondentes às suas características e composições (Quadro 5), propiciando a segregação adequada dos mesmos, favorecendo a segurança, a saúde e o meio ambiente.

Quadro 5 – Classificação quanto a periculosidade, segundo NBR 10.004

<b>Quanto a periculosidade</b>	<b>Classe I</b>	<b>PERIGOSOS</b>
	<b>Classe II</b>	<b>NÃO PERIGOSOS</b> Classe II – A – Não inertes
		Classe II – B - Inertes

Fonte: Adaptado de ABNT (2004)

Conforme estabelecido na Norma Brasileira da ABNT NBR 10.004, os resíduos classificados como Classe I, que são considerados perigosos quando possuem uma ou mais características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade. Enquanto isso, os resíduos pertencentes à Classe II são designados como não perigosos, embora alguns deles possam possuir propriedades como biodegradabilidade,

combustibilidade ou solubilidade em água, classificados como Classe II A. Por último, os resíduos Classe II B, são classificados como inertes quando expostos à água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, sem apresentar qualquer reação prejudicial e sem a solubilização de seus constituintes, desde que as concentrações resultantes não excedam os padrões de potabilidade da água, exceto em relação a aspectos de cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004).

A PNRS também apresenta classificação dos resíduos, quanto a periculosidade, são determinadas cinco características em comum entre a NBR 10.004 e a PNRS, sendo elas, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, entretanto, a PNRS adiciona à classificação mais três características aos resíduos perigosos, a carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade. Além da classificação quanto a periculosidade, a PNRS apresenta a classificação quanto a origem dos resíduos (Quadro 6).

Quadro 6 – Classificação dos resíduos quanto a origem, segundo a PNRS

a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios. (Brasil, 2010a, p. 11).

Fonte: Adaptado de Brasil (2010)

A PNRS ainda apresenta os resíduos amparados pela logística reversa. Vale ressaltar a inclusão da logística reversa, conforme ilustrado no quadro 7, como uma ferramenta da PNRS

com o propósito de facilitar o retorno de categorias específicas de resíduos ao ambiente empresarial, visa sua reintegração ao ciclo produtivo ou o encaminhamento adequado para disposição final.

Quadro 7 – Logística reversa: definição e constituintes

<p><b>Art 3º, inciso XII</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>LOGÍSTICA REVERSA</b></p> <p>Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada. (Brasil, 2010a, p. 11).</p>
<p><b>Art 33, inciso s I a VI</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>RESÍDUOS PASSÍVEIS DE LOGÍSTICA REVERSA</b></p> <p>I - Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;</p> <p>II - Pilhas e baterias;</p> <p>III - Pneus;</p> <p>IV - Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;</p> <p>V - Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;</p> <p>VI -Produtos eletroeletrônicos e seus componentes</p>
<p><b>Decreto nº 10.936/2022 Art. 20</b></p>	<p>Os sistemas de logística reversa serão estendidos, por meio da utilização dos instrumentos previstos no art. 18, aos:</p> <p>I - produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro; e</p> <p>II - demais produtos e embalagens, considerados prioritariamente o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados.</p>

Fonte: Adaptado de Brasil (2010a; 2022)

Com a globalização em curso e a dinâmica incessante do ambiente empresarial, os consumidores estão tornando-se mais exigentes e bem-informados. As empresas, por sua vez, estão aderindo a regulamentações ambientais que demandam que os fabricantes assumam pleno controle sobre seus produtos. Nesse cenário, torna-se imperativo para todas as partes buscar aprimoramentos contínuos e implementar novos sistemas que operem em harmonia com o ambiente. A logística reversa emerge como uma das estratégias para atender a essa necessidade (Brandão; Sobral, 2012 *apud* Windham-Bellord; Souza, 2011).

A execução da logística reversa é de primordial importância, dado que a falta dessa prática quando há potencial de reutilização pode aumentar o risco de formação de passivos

ambientais, acarretando em consequências como a extensão do tempo de degradação e/ou a modificação de características ambientais. Isso pode ocorrer por meio da contaminação química do local ou da alteração de sua estrutura física (Neves; Zago, 2023).

Com o objetivo de assegurar a preservação da saúde pública e do meio ambiente, suscita preocupações, uma vez que a interação desses compostos pode acarretar implicações tanto para a biodiversidade quanto para a saúde humana, especialmente quando se utilizam recursos contaminados. Portanto, o descarte inadequado de resíduos, especialmente os perigosos, representa uma questão de grande magnitude. Nesse contexto, o Decreto Federal nº 10.388, de 5 de junho de 2020, incluiu medicamentos no âmbito da logística reversa. Além disso, o Estado do Paraná, por meio da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST) e do Instituto Água e Terra (IAT), implementou uma resolução mais abrangente em relação à logística reversa, conforme detalhado no Quadro 8.

Quadro 8 – Resolução SEDEST inclui medicamentos à logística reversa

<b>Resolução Conjunta SEDEST Nº 22 de 27 de julho de 2021, Art. 5º.</b>	<p>São obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:</p> <p>I – Agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como, outros produtos cuja embalagem após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA, do SNVS e do SUASA e/ou em normas técnicas. Estende-se a obrigatoriedade aos agrotóxicos vencidos, em desuso, fora de fabricação e/ou proibidos recentemente pela legislação, dentro do prazo de devolução* previsto no Art. 53 do Decreto Federal nº 4074/2002;</p>
	II – Pilhas e baterias;
	III – Pneus;
	IV – Óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;
	V – Lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;
	VI – Produtos eletrônicos, seus acessórios e componentes;
	VII – Medicamentos domiciliares vencidos ou não utilizados, de uso humano e veterinário, industrializados e manipulados e de suas bulas e embalagens, conforme Decreto Federal nº 10.388/2020, Lei Estadual nº 17.211/2012 e Decreto Estadual nº 9.213/2012. Estende-se a obrigatoriedade aos perfurocortantes, agulhas descartáveis, seringas, ampolas, canetas injetoras, dentre outros dispositivos utilizados na aplicação de medicamentos injetáveis.

Continua

Quadro 8 – Resolução SEDEST inclui medicamentos à logística reversa (Continuação)

<b>Resolução Conjunta SEDEST N° 22 de 27 de julho de 2021, Art. 5°.</b>	VIII – Produtos saneantes desinfetantes domissanitários vencidos ou não utilizados, seus resíduos e embalagens, assim como, outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do SISNAMA, do SNVS e do SUASA e/ou em normas técnicas.
	IX – Produtos comercializados em embalagens (a) papel, papelão e embalagem cartonada longa vida, (b) plástico, (c) metal, (d) vidro.
	Parágrafo único. Fica estendida a obrigatoriedade de logística reversa aos demais produtos e embalagens, considerando, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados, conforme § 1º do artigo 33 da Lei Federal nº 12.305/2010 e artigo 4º da Lei Estadual 20.607/2021.

Fonte: Adaptado de PARANÁ (2021)

No Estado do Paraná, a implementação da logística reversa para medicamentos contribui de maneira significativa para a atenuação dos problemas mencionados anteriormente, especialmente no que se refere à diminuição das adversidades resultantes do descarte inadequado desses produtos a partir da gestão de resíduos sólidos, caracterizada pela implementação de práticas e ações com o propósito contínuo de preservar o meio ambiente através da destinação e disposição adequada dos resíduos e, conseqüentemente, melhorar a qualidade de vida da população (Soliani; Kumschlies; Schalch, 2019)

De acordo com Souto e Lopes (2019), a gestão envolve aspectos políticos, sociais, econômicos, ambientais e de saúde, e, portanto, os resultados do processo podem ser determinados com base nesses aspectos. Para alcançar esse objetivo, são desenvolvidos indicadores que servem como uma metodologia para avaliar a gestão. Além disso, a sustentabilidade é um dos principais objetivos da gestão urbana, o que inclui garantir o acesso da população a serviços de saneamento básico (Silva, 2015).

### 3.8 GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A gestão de resíduos sólidos ainda apresenta desafios significativos no contexto nacional, para Bastos *et al.* (2023) os sistemas de gestão de resíduos sólidos devem ser adaptados de acordo com as particularidades e desafios individuais de cada município e área geográfica. Isso envolve a utilização e aprimoramento das capacidades de todas as partes envolvidas, abrangendo não apenas famílias e comunidades, mas também empresas, trabalhadores do setor privado e agências governamentais em âmbito local, regional e nacional,

dessa forma, a PNRS traz no seu Art 3º a definição de vários itens, dentre estes, o Gerenciamento de Resíduos Sólidos, bem como a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (Quadro 9).

Quadro 9 – Definições de Gerenciamento e Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

Lei 12.305	Definições
Art 3º - inciso X	<b>Gerenciamento de resíduos sólidos:</b> conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei.
Art 3º - inciso XI	<b>Gestão integrada de resíduos sólidos:</b> conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Fonte: Adaptado de Brasil (2010)

Para Berticelli e Korf (2016), o propósito do gerenciamento de resíduos sólidos reside na prevenção de impactos adversos ou riscos para a população e o ambiente local em conformidade com as regulamentações aplicáveis relacionadas à saúde pública meio ambiente, proteção individual e coletiva e segurança. Ainda no gerenciamento de resíduos sólidos, o manejo exerce a função de organização em etapas, as quais apresentam ordem de realização e definições, sendo:

**Minimização da Geração:** É essencial exercer controle sobre a geração de resíduos, visando à redução dos volumes gerados para patamares mínimos viáveis.

**Manuseio Seguro:** Gestão de riscos potenciais de acidentes ambientais e ocupacionais, tanto para os profissionais diretamente envolvidos como para aqueles que atuam nas etapas de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos.

**Segregação:** Refere-se à separação dos resíduos no local e momento de sua geração, com base em suas características físicas, químicas, biológicas, estado físico e níveis de risco.

**Acondicionamento:** Os resíduos devem ser acondicionados em embalagens apropriadas que permitam a coleta, transporte, armazenamento e disposição final de forma segura, observando-se os tipos e limites de resíduos estabelecidos.

**Identificação:** Visa a possibilitar o reconhecimento dos resíduos contidos em sacos e recipientes, fornecendo informações relevantes para o manejo adequado. Isso inclui a utilização de símbolos, cores e frases conformes com a legislação e normas técnicas, além de outras exigências relacionadas à identificação do conteúdo e risco específico de cada grupo de resíduos.

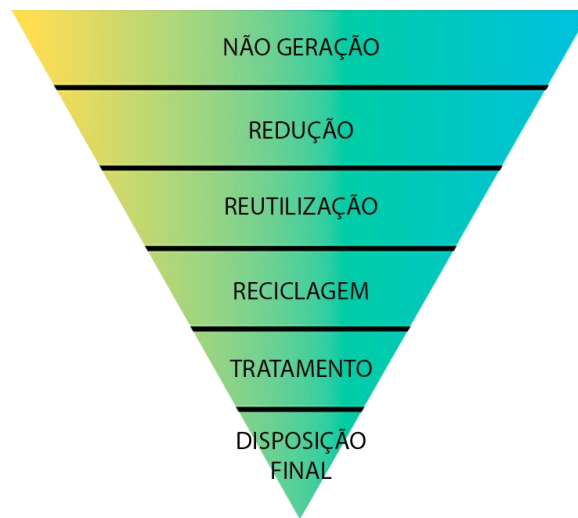
**Armazenamento:** Os resíduos devem ser armazenados de forma a preservar sua classificação e minimizar os riscos de danos ambientais. Pode-se distinguir entre Armazenamento Temporário, que ocorre nas proximidades dos pontos de geração para agilizar a coleta interna, e Armazenamento Externo, realizado em local exclusivo de fácil acesso para os veículos coletores, aguardando a coleta externa.

**Transporte:** Envolve o deslocamento dos resíduos dos pontos de geração até locais destinados ao armazenamento temporário ou ao armazenamento externo, em preparação para a coleta.

**Destinação Final Ambientalmente Adequada:** Abrange diversas alternativas, como reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação, aproveitamento energético e outras opções permitidas pelas autoridades competentes. Isso também inclui a disposição final, com a observância de normas operacionais específicas para prevenir riscos à saúde pública, segurança e minimizar impactos ambientais adversos. A escolha da destinação final deve ser feita de acordo com a natureza de cada resíduo (Bernardin, 2019).

A PNRS, em seu Artigo nº 9º, estabelece a hierarquia de prioridades a serem seguidas na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos (Figura 1). Essa hierarquia representa a abordagem mais eficaz para a atenuação das problemáticas resultantes da ausência de tratamento apropriado dos resíduos sólidos, alinhando-se com a fase inicial do manejo, cujo propósito é a redução da geração de resíduos.

Figura 1 - Definições de ordem de prioridade da Política Nacional de Resíduos Sólidos



Fonte: Adaptado de Brasil (2010)

Atrelado à ordem de prioridade, que se inicia com a não geração de resíduos e progride por meio dos elementos de "redução, reutilização e reciclagem", encontra-se o conceito amplamente reconhecido como o "princípio dos 3 Rs". Este princípio tem sido fundamental na promoção de práticas sustentáveis e na gestão responsável dos recursos naturais em âmbito global. A partir do foco na não geração de resíduos como a primeira prioridade e, conseqüentemente, na minimização do desperdício por meio da redução, reutilização e reciclagem, o princípio dos 3 Rs desempenha um papel crucial na mitigação dos impactos ambientais e na promoção da sustentabilidade em todas as esferas da sociedade.

### 3.9 O PRINCÍPIO DOS 3 R's

O processo de gestão ambiental tem início no nível individual e fundamenta-se no princípio dos "3 Rs", um conceito introduzido durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, conhecida como a Eco-92 ou Rio-92. Essa conferência tinha como principais objetivos: Avaliar a situação ambiental global desde a Conferência de Estocolmo de 1972 e suas relações com o modelo de desenvolvimento em vigor; estabelecer mecanismos para a transferência de tecnologias não poluentes para os países em desenvolvimento; analisar estratégias nacionais e internacionais para a integração de critérios ambientais no processo de desenvolvimento; criar um sistema de cooperação internacional para prever ameaças ambientais e prestar assistência em situações de emergência; e revisar o sistema



de organizações das Nações Unidas e, se necessário, propor a criação de novas entidades para implementar as decisões da conferência (Baptista; Oliveira, 2011).

A Conferência Rio-92 teve um impacto significativo, incluindo a criação da Comissão para o Desenvolvimento Sustentável, subordinada ao Conselho Econômico e Social das Nações Unidas. Essa comissão tinha a responsabilidade de apresentar relatórios e recomendações à Assembleia Geral da ONU, bem como monitorar a implementação da Agenda 21, que foi concebida como uma ferramenta para o planejamento e construção de sociedades mais sustentáveis (Baptista; Oliveira, 2011).

Visando atender às recomendações de planejamento de sociedades mais sustentáveis, a problemática dos resíduos sólidos ganharam enfoque devido ao grande volume e a necessidade de tratamento e destinação correta do material, com o propósito de impulsionar a sustentabilidade, os ciclos técnicos têm como objetivo a aplicação dos princípios dos "3Rs" - Reduzir, Reutilizar e Reciclar - para valorizar os resíduos, permitindo que eles circulassem dentro das cadeias de abastecimento como fonte de matérias-primas (Espinheira, 2020).

O conceito de redução está associado à minimização do desperdício de recursos por meio da implementação de novas tecnologias que reduzem a quantidade de matérias-primas utilizadas (Oliveira; Filho, 2018). Enquanto a reutilização envolve a criação de novas maneiras de utilizar um mesmo produto, permitindo seu retorno ao ciclo produtivo sem alterações significativas em sua composição química, segundo a PNRS, a reutilização é definida como:

Processo de aproveitamento dos resíduos sólidos sem sua transformação biológica, física ou físico-química, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa (Brasil, 2010a, cap. II, Art 3º, inc. XVIII).

A reciclagem é definida pela PNRS como:

Processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa (Brasil, 2010a, cap. II, Art 3º, inc. XIV).

Para a NBR 13.591 a reciclagem é definida como “Processo de transformação dos materiais previamente triados para posterior utilização” (ABNT, 1996, p.3). Corroborando com a PNRS, Costa (2018) define a reciclagem como uma transformação química do produto, além

de reintroduzi-lo no processo produtivo, resultando na criação de um novo produto a partir do anterior; diante da definição de reciclagem, os resíduos orgânicos também são considerados recicláveis, uma vez que existem processos de transformação do mesmo, resultando em produtos diferentes do inicial (Ismael *et al.*, 2013; Costa *et al.*, 2015).

O princípio dos 3Rs atua nos diferentes tipos de resíduos gerados, uma vez que, além dos materiais recicláveis mais difundidos (papel, plástico, metal e vidro), os resíduos orgânicos tiveram aumento em sua geração, principalmente no período pandêmico, devido ao maior consumo de alimentos em ambientes domésticos e comerciais (Amin *et al.* 2023).

#### 4.0 RESÍDUOS ORGÂNICOS

Segundo a Resolução CONAMA 481, os resíduos orgânicos “são aqueles representados pela fração orgânica dos resíduos sólidos, passível de compostagem, sejam eles de origem urbana, industrial, agrossilvipastoril ou outra” (CONAMA 481, 2017, seção I, art 2º, inc. XI).

Segundo a NBR 13.591 os resíduos orgânicos são definidos como “Substância complexa biodegradável de origem animal ou vegetal” (ABNT, 1996, p.3). Para Lana e Proença (2021), os resíduos orgânicos englobam os restos de alimentos descartados e os resíduos provenientes de atividades humanas, como cascas, caroços de frutas, ossos, alimentos impróprios para consumo, aparas de grama e resíduos de poda de jardim. Entre esses resíduos, destacam-se as hortaliças, que são altamente perecíveis e, frequentemente, representam uma parcela significativa do total de alimentos descartados por famílias e empresas.

Segundo Abu Yazid *et al.* (2017), o resíduo orgânico é essencialmente definido como qualquer material ou subproduto biodegradável, originado de organismos vegetais ou animais, que não foi aproveitado em um processo.

No contexto brasileiro, a composição dos resíduos sólidos urbanos é notavelmente diversificada. Por meio de análises gravimétricas, é possível identificar que uma parte substancial desses resíduos é composta por materiais orgânicos, que incluem restos de alimentos, resíduos de poda e outros materiais de decomposição orgânica. Segundo estudos (Zago; Barros, 2019), aproximadamente 50% do total de resíduos sólidos urbanos gerados no país são constituídos por resíduos orgânicos, em seguida, encontram-se os materiais recicláveis secos, representando cerca de 28%, enquanto os rejeitos constituem aproximadamente 22% do volume total de resíduos gerados.

O expressivo volume de resíduos orgânicos demonstra a necessidade de adotar abordagens inovadoras para o seu aproveitamento, evitando o descarte inadequado e promovendo a sua integração aos princípios da economia circular (Lana; Proença, 2021). A Economia Circular representa um modelo destinado a reavaliar as práticas econômicas da sociedade contemporânea, incentivando o funcionamento da máquina econômica de maneira mais sustentável, inspirada pela natureza e seu ciclo contínuo. Em sua essência, a economia circular baseia-se no conceito de "fechar o ciclo de vida" dos produtos, reduzindo o consumo de matérias-primas, energia e água (Leitão, 2015).

Em resumo, a economia circular busca eliminar o paradigma da sociedade do descarte, abandonando o modelo "fazer, usar e descartar" em favor da abordagem de "reutilização e reciclagem". No entanto, é importante destacar que a maneira como a reciclagem é atualmente promovida, frequentemente, não reduz significativamente a disposição de resíduos ao final das cadeias produtivas, que tradicionalmente são lineares e pouco eficientes. Isso resulta em materiais reciclados de qualidade inferior e, conseqüentemente, menor valor em comparação aos produtos originais, fenômeno conhecido como "*downcycling*" (Foster *et al.*, 2016).

Além de seu potencial como adubo, esses resíduos orgânicos podem ser aproveitados na fabricação de certos tipos de combustíveis, por meio de técnicas como a biogaseificação ou biodigestão. Adicionalmente, podem ser empregados em usinas termoelétricas para a produção de energia. Embora a PNRS não forneça uma definição explícita para "resíduos orgânicos," ela encoraja a valorização dessa fração por meio de tecnologias como a compostagem ou a utilização para geração de energia (Zago; Barros, 2019).

Os resíduos orgânicos têm como característica intrínseca o processo de decomposição natural, que permite que desapareçam do ambiente em um período de tempo mais curto em comparação aos resíduos inorgânicos. No entanto, o descarte inadequado desses resíduos em locais não autorizados pode acarretar conseqüências negativas para as comunidades vizinhas. Isso inclui a emissão de odores intensos e a criação de ambientes propícios para atração de animais, além de potencialmente facilitar a disseminação de doenças (UNIVASF, 2020).

Os resíduos orgânicos constituem a maior fração dos resíduos gerados, e mesmo com o processo de decomposição natural, as grandes quantidades de geração podem acarretar em acúmulo e disposição inadequada dos resíduos, diante disso, processos industriais que possuem grandes quantidades de resíduos orgânicos como remanescentes de produção precisam buscar alternativas para o tratamento destes materiais de forma a não comprometer o meio ambiente e

a saúde da população, como é o caso das indústrias cervejeiras que possuem grande geração de resíduos como o bagaço de malte, onde ao processar 100 kg de grãos, até 130 kg de bagaço úmido são gerados como resíduos (Fillaudeau *et al.*, 2006).

#### 4.1 RESÍDUOS DE INDÚSTRIA CERVEJEIRA

A cerveja é caracterizada como uma bebida alcoólica produzida por meio da fermentação de cereais maltados, com saborizante derivado das flores de lúpulo. Embora a exata origem do consumo de bebidas fermentadas na história da humanidade não seja precisamente conhecida, registros antigos indicam indícios de consumo de cerveja por povos sumérios, mesopotâmicos e egípcios datando pelo menos de 6000 a.C. (Gauto; Rosa, 2011).

A produção e o consumo de cerveja durante o século XIX e até o período que antecedeu a Primeira Guerra Mundial foram caracterizados por altos volumes e estabilidade. Durante o século XX, os mercados cervejeiros na Alemanha, Reino Unido e Estados Unidos eram os maiores do mundo, com volumes variando entre 5 e 7 bilhões de litros cada um. As duas Guerras Mundiais desempenharam um papel significativo na consolidação das cervejarias, especialmente na Europa continental (Poelmans; Swinnen, 2012).

Após a Primeira Guerra Mundial, muitas cervejarias que tiveram que reiniciar suas operações optaram por mecanizar suas instalações ou se fundir com cervejarias maiores. Da mesma forma, durante a Segunda Guerra Mundial, cervejarias em países ocupados sofreram danos. Após esse período turbulento, a indústria cervejeira se recuperou. Nas décadas de 1980 e 1990, um número crescente de cervejarias buscou expandir suas vendas no exterior. Tanto cervejarias europeias quanto americanas começaram a exportar mais cerveja para outros países, estabelecendo novas empresas e firmando "acordos de licenciamento" em nações que já tinham cervejarias existentes para fabricar seus produtos (Poelmans; Swinnen, 2012).

É importante destacar que para a fabricação de cerveja, quatro ingredientes são essenciais: água, cevada, lúpulo e fermento. A cevada é utilizada para a produção do malte, o lúpulo confere o sabor amargo à bebida, e o fermento é composto por leveduras do gênero *Saccharomyces* (Assis *et al.*, 2006).

A produção industrial de cerveja pode ser dividida em três etapas principais. A primeira etapa compreende a produção do mosto e inclui os seguintes processos: moagem do malte, mosturação (um cozimento do malte em temperaturas específicas para ativar enzimas, como

proteases e amilases, que quebram proteínas em aminoácidos e peptídeos, bem como amido em açúcares menores, como glicose e maltose), filtração, fervura e clarificação do mosto. A segunda etapa engloba o processo fermentativo, que inclui tanto a fermentação quanto a maturação da cerveja. Por fim, a terceira etapa refere-se ao pós-tratamento da cerveja, que abrange operações como filtração, ajustes de sabor e aroma, padronização de cor, pasteurização, entre outras (Aquarone, 2001).

Os resíduos sólidos provenientes do processo de produção de cerveja são conhecidos como "grãos utilizados" e são resultantes da utilização do conteúdo dos grãos de malte. A massa obtida a partir desses resíduos é composta por restos de cascas e polpas de grãos, que podem estar homogeneizados, em suspensão ou dissolvidos no mosto. Embora tenham uma origem comum, esses resíduos são diferenciados com base na etapa em que são retirados do processo de produção, e essas diferenciações são determinadas por suas características físicas e composições, levando à separação nos seguintes tipos: Bagaço de malte, material obtido após o processo de filtração do mosto, imediatamente antes da fervura do caldo, ademais, esse bagaço é destinado principalmente para a fabricação de ração animal; o *Trub* grosso que consiste nos resíduos resultantes do processo de filtração inicial após o cozimento da cerveja, com uma composição majoritária de gordura vegetal e proteínas coaguladas; e o *Trub* fino, obtido na segunda fase de filtração, que é caracterizado por conter gordura vegetal que se mistura uniformemente com a terra diatomácea, que é usada para remover impurezas em suspensão e proporcionar a limpidez final do produto, além de conter partes de levedura (Gauto; Rosa, 2011).

O Bagaço de malte é composto por cascas de cevada maltada e é considerado o principal subproduto da indústria cervejeira. A composição nutricional desse resíduo é significativa, com aproximadamente 70% de fibras, 20% de proteína, 1,2% de mono e diácidos fenólicos e vitaminas do complexo B (Mathias; Mello; Servulo, 2014). Os valores exatos podem variar dependendo da origem da cevada, do processo de fabricação da cerveja, do tipo de cerveja produzida e da adição de quaisquer ingredientes adicionais. De acordo com a Classificação Internacional de Alimentos, o bagaço é considerado um subproduto abundante em proteínas (Zdunczyk *et al.*, 2006; Mussatto *et al.*, 2006).

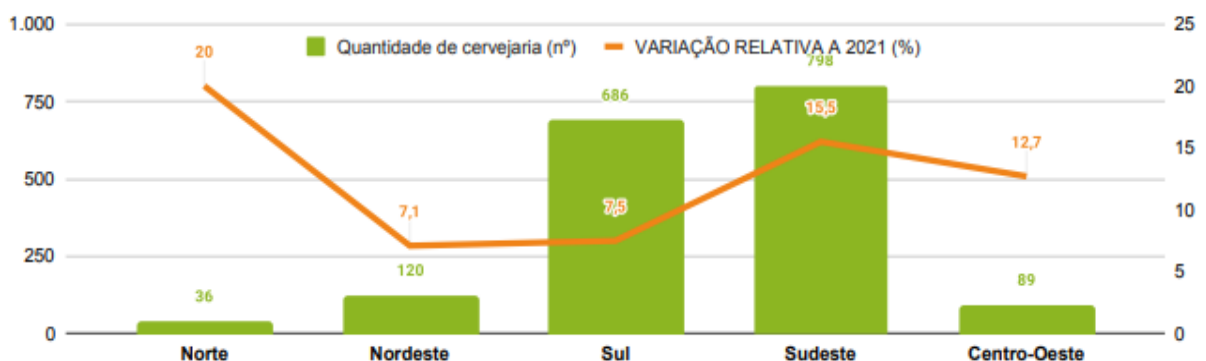
A geração de bagaço de malte ocorre após a etapa de mostura e esgotamento dos grãos, que marca o ponto em que a extração dos grãos já não é mais útil para os processos subsequentes na produção de cerveja. No entanto, o bagaço de malte ainda desempenha um papel como torta filtrante, melhorando a eficiência da filtração do mosto (Mathias; Mello; Servulo, 2014). Em

termos de quantidade, o bagaço de malte é o resíduo mais significativo gerado no processo de fabricação de cerveja, representando até 85% dos subprodutos resultantes desse processo (Brochier e Carvalho, 2009).

Normalmente, a cada 100 kg de grãos processados, são gerados aproximadamente 130 kg de bagaço úmido, que possui cerca de 85% de umidade. Isso equivale a aproximadamente 14 a 20 kg de bagaço para a produção de cada hectolitro de cerveja (Fillaudeau *et al.*, 2006). O bagaço de malte, também conhecido como resíduo úmido de cervejaria, é considerado um agente altamente poluente e pode causar desequilíbrios nos ecossistemas quando descartado de maneira inadequada no meio ambiente (Assis *et al.*, 2006; Vieira, 2006; Brochier, Carvalho 2009).

A problemática da grande quantidade de resíduos gerados no processo de fabricação de cerveja corresponde ao potencial de produção de cerveja no Brasil, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Segundo o anuário da cerveja de 2022, o país ocupa a terceira posição no ranking dos maiores produtores de cerveja no mundo, ficando atrás apenas da China e dos Estados Unidos, primeiro e segundo lugar respectivamente (Brasil, 2023). No que diz respeito a produção de cerveja no Brasil, conforme apresentado na figura 2, a região sul encontra-se como o segundo maior produtor da bebida.

Figura 2: Ranking de produção nacional de cerveja por região



Fonte: Adaptado de Brasil (2023)

A alta produção de cerveja na região sul do país revela a densidade de cervejarias, no estado do Paraná a relação incide em uma cervejaria a cada 72.034 habitantes, o que corresponde a quarta posição no ranking de densidade de cervejarias por estado, ficando atrás apenas de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Espírito Santo, respectivamente (Brasil, 2023).

Diante da grande produção de cerveja e, conseqüentemente, a geração de resíduos, a preocupação volta a ser a destinação ambientalmente adequada dos resíduos oriundos do processo que possuem, majoritariamente, composição orgânica, o que possibilita alternativas para o tratamento, como é o caso da compostagem, processo esse que propicia a decomposição do material e o transforma em substrato, podendo ser utilizado para fertilização do solo (Figueiredo, 2023).

## 4.2 COMPOSTAGEM

O procedimento de compostagem é identificado como uma das técnicas mais antigas para o gerenciamento de resíduos. Apesar de sua antiguidade, ele desempenha um papel crucial na preservação ambiental, sendo reconhecido como um método altamente sustentável. O resíduo submetido ao processo é transformado em substrato com propriedades nutritivas, podendo ser integrado ao solo para aumentar sua fertilidade. Isso resulta em benefícios econômicos, como a redução dos gastos com fertilizantes (Lunag Jr e Boado, 2021; Bhorkar *et al.*, 2023).

A compostagem é definida pela NBR 13.591 como:

Processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação (ABNT, 1996, p. 2).

A definição de compostagem segundo Resolução CONAMA 481 se constitui de:

Processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem (CONAMA, 2017, seção I, art. 2º, inc. III).

Os resíduos orgânicos constituem uma parcela significativa dos resíduos sólidos urbanos gerados em todo o mundo. A compostagem é considerada uma abordagem simplificada para o tratamento desses resíduos, destacando-se por seu baixo custo e pela dispensa da necessidade de mão de obra altamente especializada. No entanto, para garantir sua eficácia, a segregação adequada na fonte é fundamental, requerendo uma ampla participação da população (Pereira; Fiore, 2022).

Em várias regiões do mundo, tanto a nível federal quanto municipal, as autoridades governamentais trabalham no sentido de melhorar a qualidade de vida de seus cidadãos. No

entanto, é amplamente reconhecido que a implementação de serviços essenciais, especialmente em áreas carentes de infraestrutura, restrições financeiras ou devido a práticas culturais, pode ser desafiadora. Entre esses serviços essenciais, a gestão integrada de resíduos desempenha um papel fundamental, não apenas na proteção ambiental, mas também na preservação da saúde pública. Em algumas localidades, menos de 50% da população tem acesso a esse serviço essencial (Lalander *et al.*, 2018, *apud* Memon, 2010).

Juntamente com os desafios, associados ao descarte inadequado de resíduos e a ineficácia no sistema de coleta, o aumento da população urbana, o crescimento do consumo de produtos e a escassez de recursos financeiros, mão de obra e infraestrutura, incluindo estações de tratamento inoperantes e deficiências na gestão, bem como a negligência das responsabilidades governamentais, desempenham um papel significativo no aumento do descarte inadequado de resíduos. Esses fatores ampliam os problemas resultantes da ineficácia da gestão de resíduos sólidos em nível local, sendo mais pronunciados em países com baixo desenvolvimento social e econômico (Ngoc; Schnitzer, 2009).

Ao abordar a disparidade entre países mais desenvolvidos e menos desenvolvidos, torna-se evidente a diferença na composição dos resíduos gerados em ambas as situações. Nos países mais desenvolvidos economicamente, apenas cerca de 30% do total de resíduos gerados consiste em material orgânico, com a maior parcela sendo composta por materiais passíveis de reutilização e reciclagem, refletindo o alto consumo de produtos industrializados. Em contraste, países com baixo desenvolvimento econômico pode ter até 60% de resíduos orgânicos em seu total de resíduos (Hoornweg; Bhada-Tata, 2012). Portanto, é essencial a implementação de políticas que se adequem à realidade específica de cada região, a fim de abordar efetivamente os problemas decorrentes da ausência ou ineficácia na gestão de resíduos sólidos.

Considerando a expressiva quantidade de resíduos orgânicos gerados, a compostagem emerge como uma solução para o tratamento e reutilização desses materiais. Isso ocorre porque a matéria orgânica é frequentemente negligenciada pelo setor informal de reciclagem, que prioriza a coleta de materiais recicláveis em vez dos orgânicos. Isso se deve, em grande parte, à falta de incentivo econômico para lidar com os resíduos orgânicos, uma vez que os custos de tratamento superam as receitas obtidas com a venda dos produtos resultantes (Lohri *et al.*, 2017).

É importante destacar que o processo de compostagem é um método eficiente para a produção de um material estabilizado que pode ser utilizado como fonte de nutrientes e



condicionador de solo em aplicações agrícolas. No entanto, são muitos os desafios na definição de parâmetros físicos, químicos e biológicos apropriados que possam oferecer uma avaliação precisa do grau de transformação da matéria orgânica, ao longo do processo de compostagem (Sequi, 1991).

Para superar essa dificuldade, é necessário realizar estudos abrangentes das transformações pelas quais a matéria orgânica passa durante o processo de compostagem. Isso envolve a aplicação de diversas técnicas que podem fornecer um entendimento completo dos processos envolvidos (Adani *et al.*, 1999).

Ressalta-se ainda que a compostagem é um processo alternativo altamente eficiente e relativamente simples que envolve a biodegradação de resíduos orgânicos por meio da ação de microrganismos. Esse processo é realizado quando os resíduos são dispostos em proporções adequadas, sendo monitorados e controlados ao longo de sua execução. Durante a compostagem, a matéria orgânica passa por transformações devido à atividade desses microrganismos (Wang *et al.*, 2022a). O resultado é a obtenção de um substrato que atende a padrões ambientais e sanitários, seguro para diversas aplicações benéficas, sendo a principal utilização desse substrato como insumo para o cultivo de plantas, funcionando como adubo biológico. Além disso, pode ser empregado como corretivo do solo, auxiliando na remediação da poluição e melhorando suas propriedades físicas e químicas. A compostagem aeróbia é um método eficaz para recuperar recursos aproveitáveis a partir de resíduos orgânicos, contribuindo, assim, para a gestão sustentável desses materiais (Wang *et. al.*, 2022a).

Um dos principais objetivos da compostagem consiste em produzir compostos húmicos que melhoram as características físicas, físico-químicas e biológicas do solo. Isso contribui para reduzir a necessidade de adubos químicos, melhorando a qualidade do solo e do ambiente, além de mitigar a disposição inadequada de resíduos. O composto resultante da compostagem é uma fonte de nutrientes, incluindo nitrogênio, fósforo e potássio (N, P, K), que também ajuda a melhorar a estrutura física do solo e promove o crescimento de microrganismos benéficos, a partir desse processo, os resíduos orgânicos podem retornar ao sistema produtivo como substrato, promovendo um ciclo sustentável e ambientalmente limpo (Schlotfeldt, 2013).

Durante o processo de compostagem, a degradação aeróbica da matéria orgânica ocorre devido à ação de microrganismos, principalmente bactérias, fungos e actinomicetos que requerem oxigênio para sobreviver. Esses microrganismos liberam dióxido de carbono e água como produtos, resultando em um composto estável e seguro do ponto de vista sanitário

(Oliveira, 2003). Além desses microrganismos, outros organismos, como protozoários, minhocas (no processo de vermicompostagem), besouros, formigas, entre outros, também desempenham um papel importante no processo de compostagem, de acordo com Monteiro (*et al.*, 2001) a temperatura durante o processo de compostagem pode atingir até 70°C e a taxa de decomposição apresenta-se mais rápida em relação a outros métodos, ademais, o processo de aeração do composto pode ser realizado de maneira mecanizada, utilizando pás carregadeiras ou máquinas especiais, contudo, para pequenas unidades, o revolvimento tende a ser realizado manualmente (Vieira e Santos, 2023).

O oxigênio desempenha um papel crucial no processo de compostagem, mas ao longo das várias fases de maturação do composto, pode ocorrer a digestão anaeróbica, especialmente quando ocorrem alterações nos substratos envolvidos. Independentemente do tipo de matéria-prima utilizada, uma parte da matéria orgânica presente sofre decomposição, resultando na produção de biogás, o que pode levar à emissão de odores desagradáveis, grandes quantidades de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e amônia (NH<sub>3</sub>) são produzidos e emitidos durante a compostagem aeróbica tradicional (Zhao *et al.*, 2022). As emissões de gases nitrogenados e lixiviados poluem o meio ambiente e diminuem a qualidade do fertilizante orgânico produzido (Ren *et al.*, 2020).

No que diz respeito ao pH, a recomendação estabelece que o valor inicial deve estar o mais próximo possível de 7 ou levemente alcalino, cabe salientar que, o próprio processo de decomposição promove oscilação no parâmetro, dificultando o controle (Czekała, Nowak, Piechota, 2023; Peng *et. al*, 2023; Fialho *et al.*, 2005; Costa, 2005; Pereira Neto, 2007).

O parâmetro associado à umidade desempenha um papel de extrema relevância no contexto do processo de compostagem. Isso ocorre a partir da presença de umidade em excesso, acarretando comprometimento da viabilidade da atividade microbiana. Esse risco advém do fato de que o excesso de água ocupa o espaço que anteriormente estava preenchido com oxigênio, resultando na criação de um ambiente anaeróbico. Tal ambiente é desfavorável à atividade microbiana e, conseqüentemente, retarda o processo de degradação da matéria orgânica (Barreira, 2005; Lins *et al.*, 2023; Valente *et al.*, 2009). De acordo com por Kiehl (1985), a seleção do resíduo a ser utilizado na compostagem é baseada na sua disponibilidade, sendo influenciada por variáveis como a região geográfica e as práticas agrícolas específicas da localidade. Além disso, é importante ressaltar que a compostagem proporciona um processo acelerado de decomposição do material orgânico, desde que as condições ambientais sejam adequadas para a atividade dos microrganismos envolvidos nesse processo.

No Brasil, são estabelecidas legislações e normas técnicas específicas para o processo de compostagem. Um exemplo relevante é a Resolução nº 481 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), de 03 de outubro de 2017, que tem como objetivo estabelecer critérios e procedimentos para assegurar o controle e a qualidade ambiental na compostagem de resíduos orgânicos (CONAMA, 2017). No entanto, é importante destacar algumas considerações, conforme indicado no Quadro 10. Nesse contexto, a regulamentação não se aplica diretamente à compostagem de baixo impacto, como a compostagem doméstica, ou àquelas situações em que o composto é utilizado para consumo próprio ou comercializado diretamente ao consumidor final.

Quadro 10 – Considerações sobre processos de compostagem

<b>Resolução CONAMA 481 de 03 de outubro de 2017</b>	§ 1º Essa resolução não se aplica a processos de compostagem de baixo impacto ambiental, desde que o composto seja para uso próprio ou quando comercializado diretamente com o consumidor final, independentemente do cumprimento do disposto na legislação específica quanto às exigências relativas ao uso e à aplicação segura.
	§ 2º O órgão ambiental competente definirá os limites de baixo impacto ambiental, levando em consideração parâmetros mínimos como origem dos resíduos, segregação prévia, quantidade de resíduos compostados por dia (escala), tipo de processo, dentre outros
	§ 3º A excepcionalidade prevista no §1º deste artigo não se aplica aos resíduos orgânicos industriais.

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA 481 de 03 de outubro de 2017.

Além de trazer definições sobre os diferentes componentes do processo de compostagem, a Resolução nº 481 ainda apresenta especificações sobre os tipos de materiais adequados para compostagem, assim como, os tipos de resíduos não permitidos no processo (Quadro 11).

Quadro 11 – Tipos de materiais no processo de compostagem

<b>Resolução CONAMA 481 de 03 de outubro de 2017</b>	<p>Art.3º No processo de compostagem, podem ser utilizados resíduos orgânicos in natura ou após passarem por algum tratamento.</p> <p>§1º É permitida a adição de lodos de estações de tratamento de esgoto sanitário, mediante autorização prévia do órgão ambiental competente, respeitada a legislação pertinente.</p> <p>§ 2º O órgão ambiental competente estabelecerá critérios de admissão e restrição de resíduos orgânicos industriais nos processos de compostagem, respeitada a legislação pertinente.</p>
--	---

Continua

Quadro 11 – Tipos de materiais no processo de compostagem (Continuação)

<b>Resolução CONAMA 481 de 03 de outubro de 2017</b>	<p>Art. 4º É vedada a adição dos seguintes resíduos ao processo de compostagem:</p> <p>I - Resíduos perigosos, de acordo com a legislação e normas técnicas aplicáveis;</p> <p>II - Lodo de estações de tratamento de efluentes de estabelecimentos de serviços de saúde, de portos e aeroportos;</p> <p>III - Lodos de estações de tratamento de esgoto sanitário quando classificado como resíduo perigoso.</p>
--	---

Fonte: Adaptado de Resolução CONAMA 481 de 03 de outubro de 2017.

Ademais, a obrigatoriedade de parâmetros específicos como a temperatura, são necessárias medições do parâmetro ao menos uma vez por dia, além disso, as faixas de temperatura ótimas assim como o período termofílico (quadro 12) devem ser respeitados a fim de garantir a redução de agentes patógenos no composto.

Quadro 12 – Temperaturas ideais para higienização do composto

Sistema de compostagem	Temperatura (°C)	Tempo (dias)
<b>Sistemas abertos</b>	>55 °C	14
	>65 °C	3
<b>Sistemas fechados</b>	>60 °C	3

Fonte: Resolução CONAMA 481 de 03 de outubro de 2017.

Além da Resolução supracitada, o processo de compostagem também conta com a Norma Técnica NBR 13.591 de março de 1996, que traz as terminologias dos processos, equipamentos e produtos obtidos com a compostagem, como é o caso do composto, definido por esta norma como:

Produto final da compostagem. Termo genérico usado para designação do produto maturado (bioestabilizado, curado ou estabilizado), proveniente da biodigestão da fração orgânica biodegradável (ABNT, 1996, p. 2).

Também conhecido como húmus, substrato ou composto, o material resultante do processo de compostagem surge da biodegradação dos materiais orgânicos, ação realizada por microrganismos, contudo, para que o composto seja utilizado como fertilizante é necessário que este esteja maturado, de modo a possibilitar a assimilação de nutrientes pelas plantas em que o composto esteja associado (Almeida *et al.*, 2012).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1. DELINEAMENTO DO ESTUDO

O estudo apresentado, caracteriza-se como pesquisa experimental, que segundo Gil (2002), consiste em estabelecer um foco de investigação, escolher as variáveis com potencial para exercer influência sobre ele, delinear os métodos para gerenciar e observar os efeitos gerados pela variável no objeto.





Na fase inicial, foi realizado um levantamento bibliográfico que analisou estudos levantados nas bases de pesquisa *Science Direct* (Elsevier), *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e *Google Scholar*, na busca por estruturar uma base para construção da estrutura do presente estudo.

A metodologia utilizada nos experimentos consiste nas técnicas apresentadas no manual de Compostagem de Resíduos para Produção de Adubo Orgânico na Pequena Propriedade fornecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Nunes, 2009).

### 5.2. CARACTERIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram realizados em estufa de vegetação na Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), *Campus* de Irati, sendo utilizadas nove composteiras em conjuntos de 2 caixas iguais, sendo a caixa inferior de cada conjunto designada como coletora de líquidos, cada caixa contou com 36 litros de capacidade total. A proporção de material adicionado a cada composteira se estabeleceu em 70% do volume ocupado por resíduos secos (capim), os 30% restantes ficaram para os resíduos orgânicos, constituídos por 20% de resíduos de frutas e legumes e 10% de material alvo, onde foram utilizados três tipos de resíduos: Amido, utilizado como base para fabricação de biopolímeros; resíduo seco bruto caracterizado pelas cascas de grãos maltados proveniente da fabricação de cerveja *Pilsen* e da fabricação da cerveja *Weiss*. Esses materiais foram utilizados em diferentes divisões (Quadro 13).

Quadro 13 – Disposição dos materiais orgânicos de estudo conforme as composteiras

Número	Composteiras	Materiais	Proporções
1	Controle	 Resíduos orgânicos fracionados	70% resíduos secos – capim 30% Resíduos orgânicos – cascas de frutas e legumes
2	Amido 1		70% resíduos secos – capim 20% Resíduos orgânicos – cascas de frutas e legumes 10% - material processado de amido
3	Amido 2	Material processado de amido	
4	<i>Pilsen 1</i>	 Bagaço de malte da produção de cerveja <i>Pilsen</i>	70% resíduos secos – capim 20% Resíduos orgânicos – cascas de frutas e legumes 10% - resíduo seco bruto de malte para cerveja tipo <i>Pilsen</i>
5	<i>Pilsen 2</i>		
6	<i>Pilsen 3</i>		
7	<i>Weiss 1</i>	 Bagaço de malte da produção de cerveja <i>Weiss</i>	70% resíduos secos – capim 20% Resíduos orgânicos – cascas de frutas e legumes 10% - resíduo seco bruto de malte para cerveja tipo <i>Weiss</i>
8	<i>Weiss 2</i>		
9	<i>Weiss 3</i>		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Nota-se que a distribuição proporcional dos materiais seguiu o padrão de 70%, 20% e 10%, contudo, a exceção ocorre pela composteira controle, a qual, segundo a preparação das composteiras, não recebeu material de estudo e serviu como parâmetro de referência para o experimento, ficando restrita a composição apenas com material seco e orgânico.

Entre os resíduos de malte, notou-se a diferença de coloração entre os dois materiais, assim como, odores característicos. O material utilizado como amido consistia em pequenos filetes; o material comprimido resulta da extração de amido de tubérculos (batata) e apresentava grande rigidez, este aspecto apresenta a fase primordial ao beneficiamento de amido para a fabricação de biopolímero. Neste experimento utilizou-se o amido pré-processado, porém, sem a adição de componentes de bagaço de malte resultante do processo de fabricação de cerveja.

O processo de compostagem foi monitorado segundo os parâmetros descritos no Quadro 14, por um período de 100 dias, avaliando os parâmetros: Temperatura, pH, umidade e matéria orgânica. O revolvimento do material foi realizado de forma manual com frequência diária.

Quadro 14: Parâmetros de controle e frequência de monitoramento da compostagem

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Frequência</b>
Temperatura	°C	Diário
pH	-	Diário
Umidade (U)	%	Diário
Matéria Orgânica (MO)	%	Semanal

Fonte: adaptado de Teixeira *et al.*, 2017

A determinação de parâmetros de monitoramento do processo de compostagem, objetivaram o acompanhamento das mudanças ocorridas no material nas diferentes fases do processo, assim como a influência de cada parâmetro, como a temperatura, um dos principais fatores da compostagem, responsável pela sobrevivência de microrganismos essenciais para o desenvolvimento do substrato, responsável também pela sanitização do composto, reduzindo significativamente a população de microrganismos patogênicos (Nicoloso e Barros, 2019).



### 5.2.1 TEMPERATURA

Para o monitoramento da temperatura, utilizou-se um termômetro de álcool inserido em cinco pontos uniformemente distribuídos dentro de cada composteira, gerando cinco diferentes valores de temperatura em cada medição, a fim de obter uma média desses valores.

### 5.2.2. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Para a determinação do potencial Hidrogeniônico (pH) utilizaram-se nove béqueres com capacidade para 250 mL cada, a aferição consistiu na separação de amostras sólidas adicionadas em béqueres até a marca de 50 mL, sendo completado o volume do béquer até 200 mL com água destilada somado a um tempo de repouso de 1 hora, após este período foram realizadas medições em um potenciômetro com eletrodo imerso na solução (Teixeira *et al.*, 2011).

### 5.2.3. UMIDADE

Para a obtenção do percentual de umidade das amostras, foram utilizadas 9 (nove) cápsulas de porcelana, estas têm seu peso aferido ainda vazias, que, posteriormente, eram utilizadas como base para o acondicionamento de 15 gramas de amostras de cada composteira, as quais eram encaminhadas para uma estufa de secagem a 105°C por um período de 24 horas, após o tempo de secagem, as cápsulas eram novamente pesadas, sendo obtido por diferença gravimétrica, o percentual de umidade presente na amostra. Os ensaios para determinação do percentual de umidade seguiram com frequência diária, com exceção de finais de semana, sendo realizados majoritariamente 4 ensaios por semana, totalizando 75 ensaios. Para o cálculo da umidade (Equação 1), utilizou-se a diferença gravimétrica entre o peso da amostra (15g) e o peso da mesma após secagem na estufa a 105°C, durante o período de 24 horas.

#### Equação 1

$$U (\%) = ((M_i - \text{tara}) - (M_f - \text{tara})) / (M_i - \text{tara}) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

Tara = tara da cápsula de porcelana (g)

M<sub>i</sub> = massa inicial (peso da cápsula + amostra) (g)

M<sub>f</sub> = massa final após 24 horas na estufa (peso da cápsula + amostra)

#### 5.2.4. MATÉRIA ORGÂNICA

Para obtenção do percentual de matéria orgânica eram utilizadas as amostras logo após a retirada da estufa de secagem e aferição do peso seco, assim, as cápsulas de porcelana, contendo as amostras, eram encaminhadas à mufla com temperatura constante de 550°C por um período de 1 (uma) hora; em seguida retiradas da mufla e acondicionadas em dessecadores a fim de manter as amostras ausentes de interferências externas, como umidade do ar, enquanto a temperatura das amostras diminuía, na sequência, as cápsulas eram pesadas, sendo obtido, por diferença gravimétrica, o percentual de matéria orgânica presente na amostra, os ensaios para determinação do percentual de matéria orgânica seguiram com frequência semanal, sendo realizado 1 ensaio por semana, totalizando 15 ensaios. O monitoramento do percentual de matéria orgânica presente na amostra é definido a partir do cálculo da Equação 2, pela diferença do peso entre a amostra seca (após a exposição do composto a uma temperatura de 105°C, durante 24 horas) e após incineração na mufla a 550°C durante o período de 1 hora (Teixeira *et al.*, 2011).

#### Equação 2

$$M (\%) = ((M_i - \text{tara}) - (M_f - \text{tara}) / (M_i - \text{tara})) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Tara = tara da cápsula de porcelana (g)

M<sub>i</sub> = massa inicial após 24 horas na estufa (peso da cápsula + amostra) (g)

M<sub>f</sub> = massa final após 1 hora na mufla (peso da cápsula + amostra) (g)

#### 5.2.5 – RESPIRAÇÃO BASAL DO COMPOSTO - RBC

Ao final do processo de análises diárias e semanais supracitadas, foram realizados os ensaios de respiração basal do composto (RBC). Determinou-se o RBC, conforme o método indicado por Jenkinson e Powlson (1976), foram adicionados em frascos hermeticamente fechados 100g de composto úmido juntamente com dois tubos de ensaio, um deles contendo água deionizada para manter a umidade da amostra e outro tubo com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) com concentração de 0,5 mol/L. A incubação ocorreu durante um período de 7 dias, em temperatura ambiente. A fim de garantir a umidade do ambiente, todas as incubadoras receberam filtro de papel umedecidos. Após a incubação por 7 dias, realizou-se a titulação com solução de ácido clorídrico (HCl) 0,5 mol/L e o indicador fenolftaleína. O cálculo da taxa de respiração foi efetuado conforme a Equação 3.

### Equação 3

$$\text{RBC (mg C - CO}_2\text{Kg}^{-1}\text{ composto h}^{-1}\text{ )} = \frac{(\text{Vb} - \text{Va}) * \text{M} * 6 * 1000}{\text{Ps}} / \text{T} \quad (3)$$

Onde:

RBC = Carbono oriundo da respiração basal do composto

Vb = Volume de HCl gasto na titulação da solução controle (mL)

Va = Volume de HCl gasto na titulação da amostra (mL)

M = Molaridade da solução de HCl (mol/L)

Ps = Massa da amostra seca (g)

T = Tempo de incubação das amostras em horas (h)

Os valores de 6 e 1000 correspondem a fatores de correção

#### 5.2.6 - BIOMASSA MICROBIANA DO COMPOSTO – C-BMC

Em consonância à determinação do RBC, a determinação da biomassa microbiana do composto (C-BMC) se deu ao final do experimento, aos 100 dias. Por meio do método de respiração induzida proposto por Anderson e Domsch (1978), foram pesados 30 g de composto para cada amostra, aos quais foi adicionada uma solução contendo 60 mg de glicose e 25 mL de água deionizada. Essa mistura foi incubada por 4 horas em um ambiente hermeticamente fechado, junto com uma solução de NaOH 0,5 mol/L. Assim como no RBC, todas as incubadoras receberam filtro de papel umedecidos. Após o período de incubação descrito, realizou-se a titulação com HCl de 0,5 mol/L e o indicador fenolftaleína. O cálculo do C-BMC ocorreu conforme a Equação 4.

### Equação 4

$$\text{C - BMC (Kg C Kg}^{-1}\text{ composto)} = 30 * (\text{b} - \text{a}) * \left( \frac{\text{K} * 22}{1,8295 * \text{Ps} * 4} \right) \quad (4)$$

Onde:

C-BMC = Carbono da biomassa microbiana

30 = constante (mg Cmic h/mL CO<sub>2</sub>)

b = Média do volume de HCl gasto para titular as provas em branco (mL)

a = Volume HCl gastos para titular as amostras (mL)

K = Concentração da solução HCl (mol/L)

22 = Fator de conversão (1 mL HCl 1M corresponde a 22 mg de CO<sub>2</sub>)

1,8295 = Densidade do CO<sub>2</sub> a 22 °C (Kg/m<sup>3</sup>)

Ps = Peso da amostra seca (g)

4 = Fator de conversão de 4h para 1h

### 5.2.7 – QUOCIENTE METABÓLICO – $qCO_2$

O quociente metabólico foi definido pela razão entre o resultado obtido com o RBC e o resultado obtido com o C-BMC, conforme proposto por Anderson e Domsch (1993) e descrito por Silva, Azevedo e De-Polli (2007), representado pela Equação 5.

#### Equação 5

$$qCO_2(mg\ C - CO_2\ g^{-1}C - BMC\ h^{-1}) = \frac{RBC}{C-BMC} \quad (5)$$

Onde:

$qCO_2$  = Quociente metabólico do composto;

RBC = Respiração basal do composto;

C-BMC = Carbono da biomassa microbiana do composto.

Vale ressaltar que a velocidade de decomposição da matéria orgânica, a partir de microrganismos no sistema de compostagem, tem grande influência de fatores como o teor de umidade, temperatura (T), potencial Hidrogeniônico (pH) e percentagem de matéria orgânica (Kiehl, 1985; Pereira Neto, 2007), e que a umidade em excesso pode comprometer todo o processo de compostagem, diminuindo a circulação de ar e conseqüentemente a atividade microbiológica (Souza *et al.*, 2019).

### 5.3 PREPARAÇÃO DAS COMPOSTEIRAS

A preparação das composteiras foi realizada a partir da organização e fragmentação dos materiais, distribuição dos conjuntos de caixas e limpeza das composteiras, assim como, a adequação do local de realização do experimento.

Os principais componentes do processo de compostagem, resíduos secos e orgânicos passaram por fragmentação manual a fim de obter a granulometria adequada, estipulada em partículas com diâmetro entre 10 e 50 mm, segundo a Nota Técnica do Paraná para Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos (Paraná, 2023), para uniformizar o processo de degradação dos materiais. Foram utilizados resíduos oriundos do restaurante universitário, contudo, havendo grande variação de cardápio durante o processo de montagem das composteiras, apresentou-se grande variedade de alimentos, ademais, a realização de cortes em porções de capim, com o objetivo semelhante a fragmentação do material orgânico, visando

facilitar o processo de degradação durante o processo, também auxiliando na coleta do material para posterior análise em laboratório.

### 5.3.1. MATERIAIS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

Para a montagem das composteiras, conforme apresentado na figura 3, foram montados nove conjuntos de composteiras contendo duas caixas em cada unidade com capacidade para 36 litros (1), totalizando dezoito composteiras; as caixas digestoras ficaram localizadas na parte superior, enquanto que a caixa inferior ficou designada como caixa coletora de líquidos, ademais, foram utilizados os materiais de estudo, compostos pelo bagaço de malte seco (2) e o material processado de amido (3), os materiais orgânicos fragmentados (4) e os materiais secos (5).

Figura 3 – Materiais utilizados para montagem do experimento



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

### 5.4. ANÁLISE DE DADOS

A análise dos dados consistiu no emprego da estatística descritiva, uma abordagem estatística que tem como finalidade resumir conjuntos de valores de natureza similar, com o propósito em proporcionar uma visão abrangente da variação dos valores obtidos, além de

estruturar e explicar os dados por meio da apresentação em tabelas, gráficos e pela aplicação de medidas descritivas (Guedes *et al.*, 2005). Além disso, foi empregada a análise de componentes principais (*Principal Component Analysis - PCA*), sendo essa uma técnica que se destaca por sua abordagem simplificada para a organização de dados.

A característica fundamental da PCA é que as novas variáveis resultantes são mutuamente não correlacionadas. Quando as variáveis originais seguem uma distribuição normal, ou quando são transformadas ou padronizadas, conforme a Equação 6, antes da realização da análise, as novas variáveis obtidas pela PCA também adquirem uma distribuição normal. Isso atende a um dos requisitos essenciais dos testes paramétricos utilizados para avaliar hipóteses.

**.Equação 6**

$$Z = (Y_i - \bar{Y}) / s \quad (6)$$

Uma abordagem padronizada consiste em aplicar uma transformação em cada variável, na qual a média amostral é subtraída do valor de cada observação dessa variável, e em seguida, essa diferença é dividida pelo desvio-padrão amostral (Gotelli; Ellison, 2011). Para a PCA, os dados de temperatura, pH, umidade e matéria orgânica foram padronizados a partir da aplicação da equação 6 e, posteriormente, inseridos no *software P.A.S.T.*, mediante comandos *multivariate* seguido de *ordination* e *principal componentes (PCA)*. A partir disso, obteve-se a representação gráfica dos dados.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 – Temperatura

A temperatura é um parâmetro fundamental para o processo de compostagem, possuindo ação direta nos microrganismos presentes no dispositivo, podendo acentuar ou atenuar a decomposição dos resíduos presentes, além de indicar a taxa de atividade microbiana no processo de compostagem (Manu; Kumar; Garg, 2019).

A tabela 1 fornece uma descrição abrangente dos valores mínimos, máximos, médios e de medianas obtidos a partir dos ensaios de temperatura conduzidos nas nove composteiras analisadas. Esses dados são essenciais para uma compreensão detalhada do comportamento térmico dessas composteiras, assim como, faixas de temperatura observadas ao longo do processo de compostagem. A análise das métricas térmicas contribui para a avaliação da eficácia da compostagem e a identificação de padrões significativos no desempenho das composteiras, assim como, discrepâncias em virtude de interferências externas no estudo.

Tabela 1 – Valores mínimos, máximos, médias e medianas de temperatura das composteiras

	<b>Composteiras</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
<b>1</b>	<i>Controle</i>	11,50	48,00	31,30	32,50
<b>2</b>	<i>Amido 1</i>	10,00	49,00	31,26	30,75
<b>3</b>	<i>Amido 2</i>	15,00	63,00	39,20	41,75
<b>4</b>	<i>Pilsen 1</i>	10,00	47,00	31,29	32,50
<b>5</b>	<i>Pilsen 2</i>	15,00	58,00	36,66	39,00
<b>6</b>	<i>Pilsen 3</i>	15,50	61,00	39,22	42,00
<b>7</b>	<i>Weiss 1</i>	11,00	48,00	30,90	33,00
<b>8</b>	<i>Weiss 2</i>	15,00	60,00	38,57	41,00
<b>9</b>	<i>Weiss 3</i>	15,00	62,00	38,92	41,50

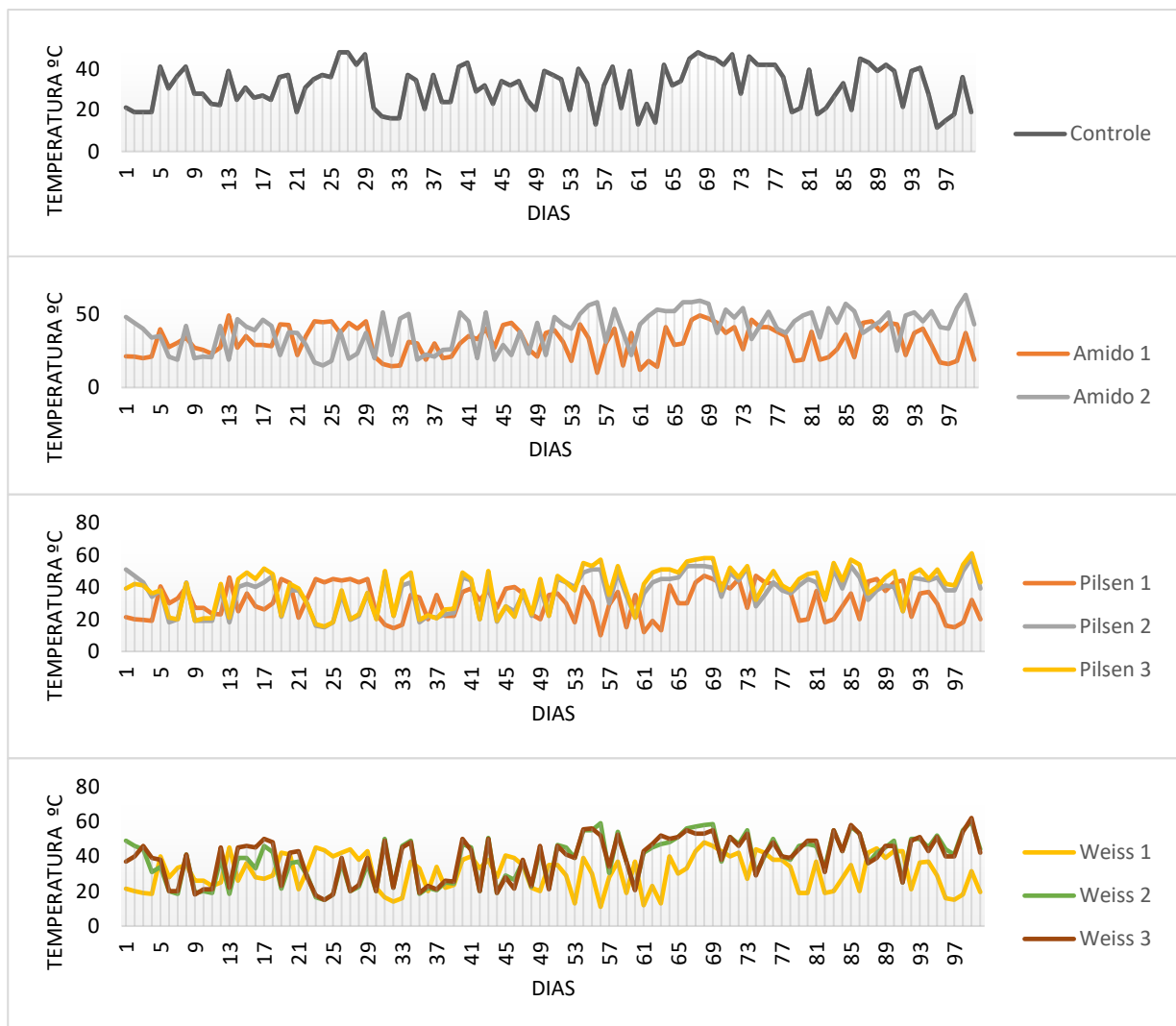
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

A composteira 1 - Controle apresentou comportamento de temperatura bastante variado, com valor mínimo observado de 11,5°C, valor máximo de 48°C e média de 32,5°C, as composteiras contendo amido apresentaram comportamento distinto entre si, com tendência a menores temperaturas pela composteira 2 - Amido 1, tendo como mínimo 10°C, máximo de 49°C e média de 30,7°C, enquanto a composteira 3 - Amido 2 apresentou temperatura mínima de 15°C, máxima de 63°C e média de 41,7°C. Assim como as composteiras contendo material de Amido, as composteiras contendo resíduos de malte, neste caso, *Pilsen*, sofreram com a



mesma oscilação de temperatura, o que acabou por apresentarem comportamentos de temperatura bastante semelhantes. O bagaço de malte é caracterizado como casca de cereal, tratando-se de resíduo puramente orgânico, o mesmo é utilizado tanto na fabricação de cerveja tipo *Pilsen* quanto cerveja tipo *Weiss*. Quanto a variação de temperatura pode-se observar que os picos de temperatura da fase termofílica concentraram-se com maior frequência a partir dos 50 dias de experimento. Na figura 4 observa-se o comportamento da temperatura nos diferentes tipos de materiais em um período de 100 dias.

Figura 4 – Evolução dos valores de temperatura no período de 100 dias



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Segundo Kiehl (1985), devem ser consideradas algumas informações sobre tal parâmetro, sendo que a faixa ideal de temperatura durante a compostagem deve apresentar-se entre 40 e 60°C. No início do processo de compostagem, a fase mesófila, ocorre a elevação da temperatura, ficando entre 40 a 45°C; na fase seguinte, termófila, ocorre o processo de

bioestabilização e o efeito na temperatura alcança cerca de 65°C; na terceira fase ocorre o início do processo de humificação, assim, há o retorno à fase mesófila e a temperatura permanece em torno de 55 a 65 °C, para Monteiro (*et al.*, 2001) há possibilidade de a temperatura durante o processo de compostagem ficar acima dos valores mencionados por Kiehl, podendo atingir até 70°C; na última fase, a temperatura do substrato encontra-se em equilíbrio com a temperatura ambiente, indicando que há estabilização total e o composto encontra-se humificado (Fialho *et al.*, 2005),.

Segundo Colón *et al.* (2010), a apresentação de variação durante o processo de decomposição do material pode estar relacionada a variabilidade climática, sendo essa uma característica presente no local de estudo, uma vez que o local de armazenamento possui estrutura fechada, sem sistema de ventilação, propiciando o aumento de temperatura, entretanto, a cidade de Irati é caracterizada por temperaturas máximas na casa dos 24,2 °C e médias mínimas na casa dos 11°C (Oliveira Filho *et al.*, 2013), porém, picos de temperatura acima de 30°C já foram observados, incluindo 34,6 °C no ano de 2005 (Prefeitura Municipal De Irati, 2024). Corroborando com Lim, Lee e Wu (2016), que descrevem que temperaturas mais baixas podem estar relacionadas com as dimensões do material em decomposição, assim como, a influência da baixa temperatura ambiente, segundo Burle *et al.* (2018), há possibilidade de, nas primeiras semanas, ocorrer dissipação de calor, seja pelo tamanho das caixas ou o local do estudo.

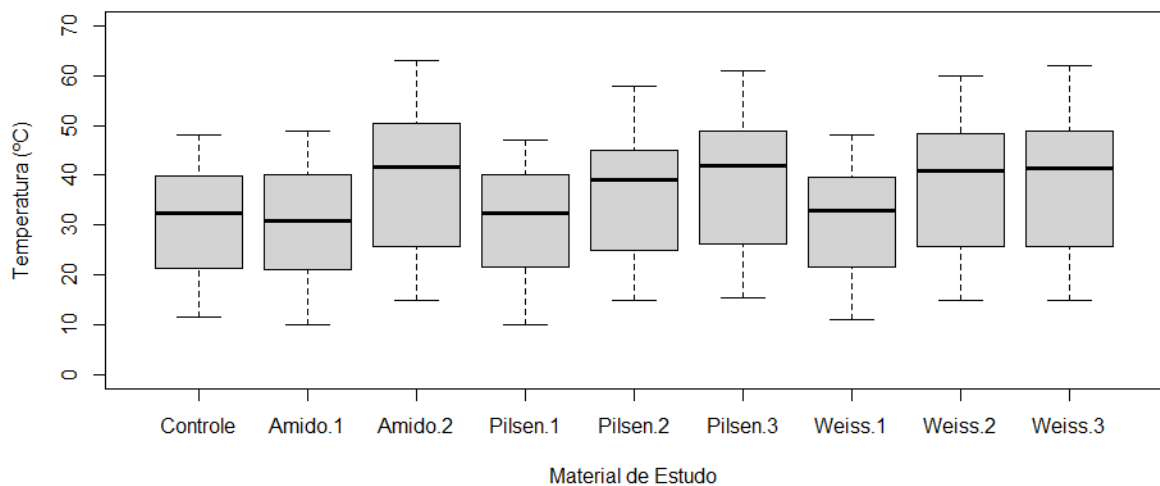
Segundo Zhang *et al.* (2015), diante da discrepância de temperatura sobre o sistema de compostagem em relação ao ambiente externo, evidencia-se a transferência biológica de calor do sistema de compostagem para o ambiente externo, de tal forma que, os microrganismos atuam com queda no metabolismo ou até mesmo não haja atuação em temperaturas menores de 15 °C. Considerando a oscilação de temperatura apresentada no decorrer do experimento, tem-se que, o processo de compostagem possui tal complexidade devido a taxa de degradação estar diretamente vinculada à atividade microbiana de população mista, o que engloba tipos variados de microrganismos com diferentes temperaturas ótimas de crescimento (Gómez *et al.*, 2005).

Com a temperatura média permanecendo na faixa de 30° C, caracteriza a compostagem em uma fase abaixo da termofílica, que é apropriada para o crescimento de alguns microrganismos envolvidos no processo de compostagem, diante disso, evidencia-se a importância de controlar e monitorar as variações de temperatura em composteiras, bem como de considerar melhorias no isolamento térmico, especialmente em composteiras de menor volume. Essas medidas podem desempenhar um papel vital na otimização do processo de

compostagem e na promoção do crescimento dos microrganismos desejados (Nicoloso e Barros, 2019; Páschoa, 2022). No entanto, é importante notar que ocorreram picos de temperatura significativos, ultrapassando a marca dos 45 °C. Esses picos indicam o início da fase termofílica do processo de compostagem, um estágio essencial, caracterizado pela máxima degradação e estabilização da matéria orgânica, conforme apontado por Arvanitoyannis *et al.* (2008).

A partir dos ensaios realizados, nota-se que os dados referentes ao comportamento da temperatura apresentam-se muito próximos entre os dispositivos estudados (Figura 5). A linha horizontal ao centro de cada *boxplot* é a representação da medida de tendência central, a mediana, a qual descreve, em caráter simétrico, que metade da amostra se encontra acima e a outra metade encontra-se abaixo da linha.

Figura 5 – Diagrama de caixa sobre o comportamento da temperatura nas composteiras



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Neste caso, a composteira 2 – Amido 1, o conjunto de dados que possui tal característica apresenta maior tendência a distribuição normal, por outro lado, um conjunto de valores que possui distribuição assimétrica apresenta a linha horizontal deslocada do centro do retângulo, podendo ser para baixo (mais próxima ao primeiro quartil) ou para cima (mais próxima ao terceiro quartil), esta última conformação evidencia a maioria das composteiras objetos do estudo, denominada conformação assimétrica, descreve que os dados podem não seguir distribuição normal. Destaca-se, ainda, que a mediana é a medida de tendência central mais adequada quando os dados apresentam uma distribuição assimétrica, isso ocorre devido a possibilidade da média aritmética ser afetada por valores extremos.

O tamanho das caudas de distribuição descreve os valores mínimos e máximos obtidos no conjunto de dados, obtendo-se a variação na amplitude diretamente proporcional ao tamanho das caudas. O gráfico apresentado evidencia a formação de dois grupos com similaridades entre si, o Grupo 1 formado pelas composteiras 1, 2, 4 e 7 - Controle, Amido 1, *Pilsen 1* e *Weiss 1*, respectivamente, demonstram similaridade no valor da amplitude de temperatura, variando de 10° C a 48°C, assim como proximidade no valor médio de temperatura em torno de 31°C.

O Grupo 2 formado pelas composteiras 3, 5, 6, 8 e 9 – Amido 2, *Pilsen 2*, *Pilsen 3*, *Weiss 2* e *Weiss 3*, respectivamente, também apresentam similaridade entre os componentes, contudo, a composteira 5 - *Pilsen 2* demonstrou menor amplitude térmica frente aos demais componentes do mesmo grupo, efeito refletido também no valor médio de temperatura, característica não observada nos demais integrantes do grupo.

## 6.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Dentro do âmbito da compostagem, o pH desempenha um papel crucial, destaca-se pela importância na atividade microbiológica de decomposição da matéria orgânica presente nos dispositivos, valores baixos (ácido) ou altos (alcalino) de pH, podem afetar a disponibilidade de nutrientes e inibir a atividade microbiana, o que resulta em um processo de compostagem mais lento (Andreoli *et al.*, 2002), sendo esse um dos parâmetros avaliados no presente estudo. Conforme apresentado na tabela 2, as amostras estudadas apresentaram valores mínimos, máximos, médios e suas respectivas medianas.

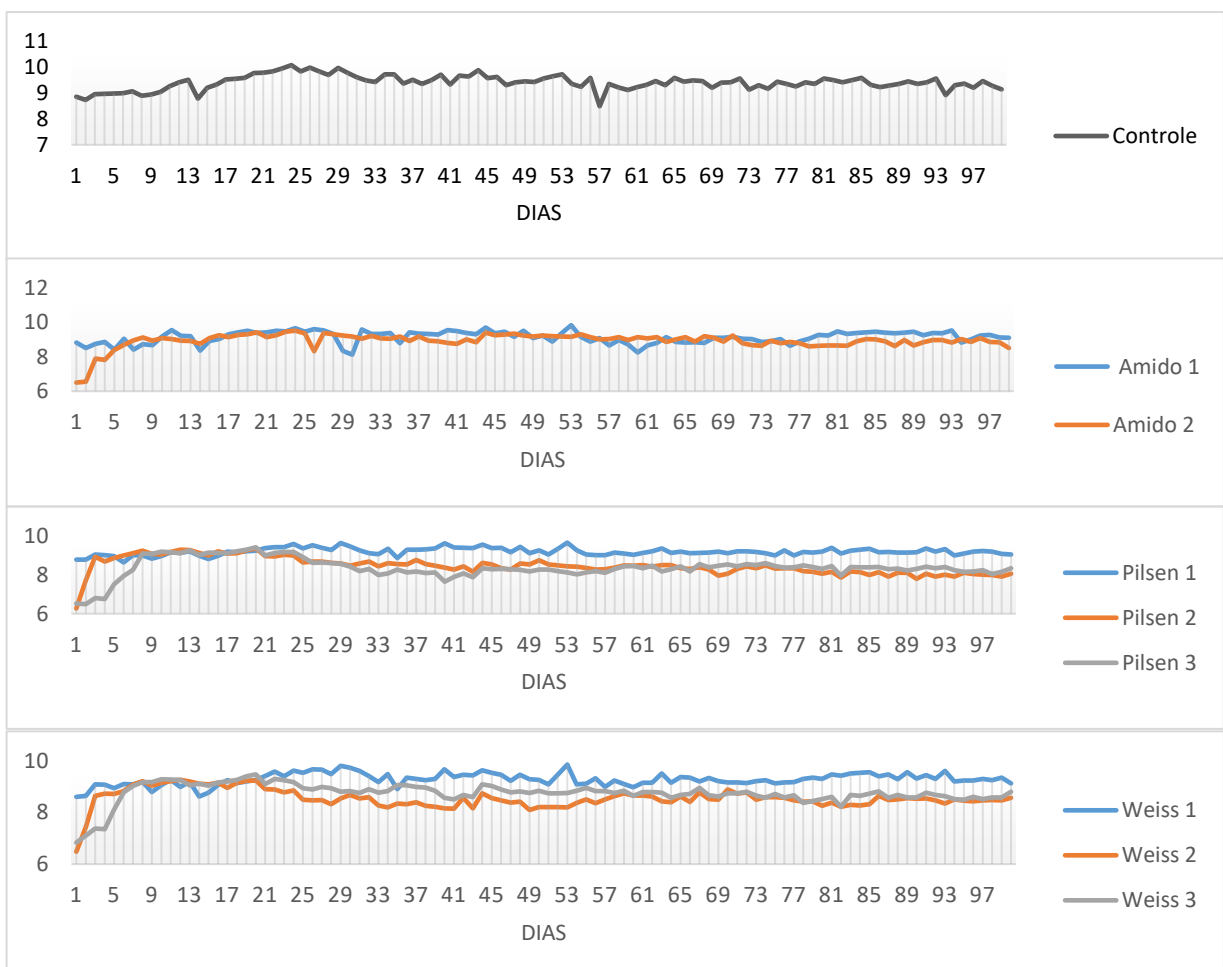
Tabela 2 – Valores mínimos, máximos, médias e medianas de pH das composteiras

<b>Composteiras</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
1 <i>Controle</i>	8,49	10,08	9,40	9,42
2 <i>Amido 1</i>	8,12	9,83	9,13	9,20
3 <i>Amido 2</i>	6,50	9,51	8,92	9,00
4 <i>Pilsen 1</i>	8,64	9,66	9,19	9,18
5 <i>Pilsen 2</i>	6,27	9,53	8,47	8,43
6 <i>Pilsen 3</i>	6,49	9,42	8,36	8,33
7 <i>Weiss 1</i>	8,60	9,85	9,27	9,27
8 <i>Weiss 2</i>	6,48	9,26	8,54	8,50
9 <i>Weiss 3</i>	6,83	9,47	8,74	8,76

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

A composteira Controle apresentou comportamento bastante variado, com valor médio em torno de 9,40. Para as composteiras 2 e 3 - Amido 1 e Amido 2, o comportamento apresentado demonstrou certa estabilidade, principalmente para a composteira 3 - Amido 2. A composteira 2 - Amido 1 apresentou valor médio em torno de 9,13. Enquanto a composteira 3 - Amido 2 resultou em 8,92 como valor médio. A composteira 4 - *Pilsen 1* apresentou média em torno de 9,19. Enquanto a composteira 5 - *Pilsen 2* resultou em 8,47 como valor médio e a composteira 6 - *Pilsen 3* obteve média de 8,36. Para as composteiras 7, 8 e 9 - *Weiss 1*, *Weiss 2* e *Weiss 3*, o comportamento demonstrou-se semelhante ao obtido nas composteiras *Pilsen*, da mesma forma, a composteira 7 - *Weiss 1* foi a que demonstrou maior estabilidade em todo o período, ademais, as outras duas também apresentaram diminuição dos valores obtidos. A composteira 7 - *Weiss 1* apresentou média em torno de 9,27. Enquanto a composteira 8 - *Weiss 2* resultou em 8,54 como valor médio e a composteira 9 - *Weiss 3* 8,74 como média. Na figura 6 observa-se o comportamento do potencial Hidrogeniônico nos diferentes tipos de materiais em um período de 100 dias.

Figura 6 – Evolução dos valores de pH no período de 100 dias



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Diante da conformação dos dados obtidos na composteira controle, observa-se um aumento do pH durante aproximadamente os primeiros 23 dias do processo de decomposição, o que está em consonância com as observações de Oliveira (2003). O aumento do valor de pH nesse estágio é atribuído à degradação de compostos ácidos, à liberação de amônia e à hidrólise de proteínas.

É relevante notar que a média dos valores de pH obtidos na composteira controle está em conformidade ainda com as informações de Pereira Neto (2007), onde relata que a compostagem pode ocorrer em uma ampla faixa de pH, variando de 4,5 a 9,5. Essa tolerância ocorre porque os microrganismos envolvidos na compostagem possuem a capacidade de autorregular o ambiente com base na degradação de compostos e na produção de subprodutos ácidos ou alcalinos, de acordo com as necessidades do processo.

Para as composteiras contendo material de amido, a discrepância inicial entre os dispositivos pode ser atribuída à natureza variada da matéria orgânica incorporada às composteiras. Como os materiais são provenientes do restaurante universitário, não há uma padronização nos tipos de resíduos gerados, fator que pode ter impactado nas condições iniciais de compostagem.

De acordo com Raza *et al.* (2017), o aumento dos valores de pH está intimamente ligado à fase de estabilização do composto, que sucede à fase de degradação, logo, à medida que o tempo avança, os valores de pH, em diferentes tratamentos de compostagem, tendem a manifestar um crescimento progressivo. Esse comportamento reflete a progressão do processo de compostagem, indicando a transição para fases mais avançadas caracterizadas pela estabilização da matéria orgânica em decomposição.

Nas composteiras contendo resíduo de malte de cerveja tipo *Pilsen*, é possível identificar uma diminuição significativa nos valores de pH para as composteiras 5 e 6 - *Pilsen 2* e *Pilsen 3* em relação a composteira 4 - *Pilsen 1*. Essa queda, de acordo com Lacerda *et al.* (2020), pode ser interpretada como um indicativo do estágio de maturação do composto, caracterizado pela redução da atividade microbiológica, sugerindo que o processo de compostagem atingiu um ponto em que a decomposição da matéria orgânica está mais completa, resultando em uma fase de maior estabilidade e menor envolvimento microbiano. Já nas composteiras contendo resíduo de malte de cerveja tipo *Weiss*, a composteira 7 - *Weiss 1* obteve maior proximidade com o comportamento observado na composteira 4 - *Pilsen 1*.

Segundo Costa (2005), o valor do pH obtido fornece indicações pertinentes ao estágio de decomposição do composto orgânico. No contexto da compostagem, é essencial que, ao término do processo, o pH final seja mantido em uma faixa alcalina. Durante a maior parte do processo, a composteira 1 – *Controle* permaneceu com os valores de pH acima das demais composteiras, enquanto a composteira 5 - *Pilsen 2* manteve o pH abaixo das demais, demonstrando maior acidez no processo; seguida pela composteira 2 - *Amido 1*.

Valores próximos a 6 visualizados no início do processo com crescimento exponencial no período de sete dias evidenciam a grande atividade microbiana e a rápida degradação dos materiais, após o período citado, observa-se, ainda, a tendência a estabilização; com amplitude entre 7,5 e 10, os valores encontram-se desde levemente alcalinos até alcalinos.

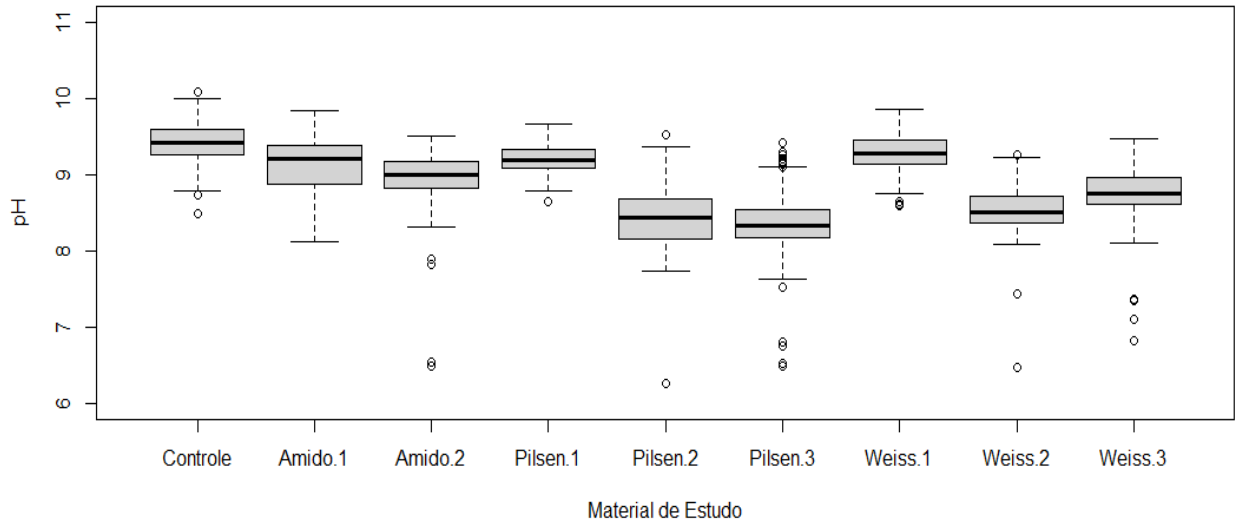
Este processo biológico envolve a decomposição de resíduos orgânicos com o propósito de gerar um composto enriquecido em nutrientes, tendo um impacto direto na qualidade final do composto produzido. Segundo Silva (2007b), o processo de compostagem caracteriza-se pela produção de ácidos orgânicos de cadeia curta, esses ácidos, em conjunto com a liberação de amônia proveniente das atividades microbianas, podem desempenhar um papel na flutuação do pH ao longo do processo, abrangendo uma faixa de pH de 4,5 a 9,0. Ademais, valores muito baixos ou altos, podem inibir a atividade microbiana, impossibilitando ou dificultando a decomposição. Ressalta-se que manter a variação do pH estável é um desafio complexo no decorrer da compostagem (Peng *et. al*, 2023). Para Raza *et al.* (2017), o pH deve ser monitorado a fim de se obter um composto de boa qualidade ao final do processo, além disso, esse parâmetro serve como indicador de maturidade do composto.

Segundo Fialho *et al.* (2005) a faixa ótima de pH para o processo de compostagem encontra-se entre 5,5 e 8,5, contudo, é comum que em alguns momentos, o valor de pH oscile entre extremos. Para Costa (2005), o pH deve-se manter em uma faixa de neutralidade a levemente alcalina, devendo ficar entre de 7 a 8,5, segundo Pereira Neto (2007), a faixa ótima de pH para o composto final deve situar-se entre 7,5 a 9,0. Entretanto, de acordo com Kiehl (2004), os compostos orgânicos podem apresentar valores de pH situados entre 6,5 e 9,6, uma amplitude que engloba os resultados observados em todas as composteiras submetidas ao estudo em questão. Essa faixa de pH é considerada adequada e indicativa de um processo de compostagem bem-sucedido.

Ao realizar a análise comparativa da medida de tendência central (Figura 7), nota-se a formação de dois grupos distintos, o primeiro com valor de pH igual ou superior a nove contempla cinco

composteiras, 1, 2, 3, 4 e 7 - Controle, Amido 1, Amido 2, *Pilsen 1* e *Weiss 1*, enquanto o segundo contempla as composteiras que resultaram em valores de pH abaixo de 9, sendo 5, 6, 8 e 9 - *Pilsen 2*, *Pilsen 3*, *Weiss 2*, e *Weiss 3*.

Figura 7 – Diagrama de caixa sobre o comportamento do pH nas composteiras



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Ainda neste diagrama é possível observar pontos além das caudas de distribuição, estes pontos, denominados *outliers*, demonstram valores muito discrepantes do restante, contudo, apesar de possuírem grande interferência na média e afetar a estimativa mais precisa, a mediana, por sua vez, pouco sofre ou não sofre interferência dos *outliers*, sendo o parâmetro mais indicado para análise na presença destes valores discrepantes.

### 6.3 - UMIDADE

Sendo um dos principais parâmetros para a eficiência do processo de compostagem, a umidade possui relação direta aos demais parâmetros estudados. O teor de umidade do processo de compostagem deve ser monitorado a fim de garantir a sobrevivência dos microrganismos (Guo *et al.*, 2012).

Tabela 3 – Valores mínimos, máximos e médios e medianas de umidade das composteiras

	<b>Composteiras</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
<b>1</b>	<i>Controle</i>	27,5	75,8	58,0	59,5
<b>2</b>	<i>Amido 1</i>	32,8	86,7	64,9	68,2
<b>3</b>	<i>Amido 2</i>	52,9	79,1	67,3	69,3
<b>4</b>	<i>Pilsen 1</i>	50,3	80,2	65,8	66,6

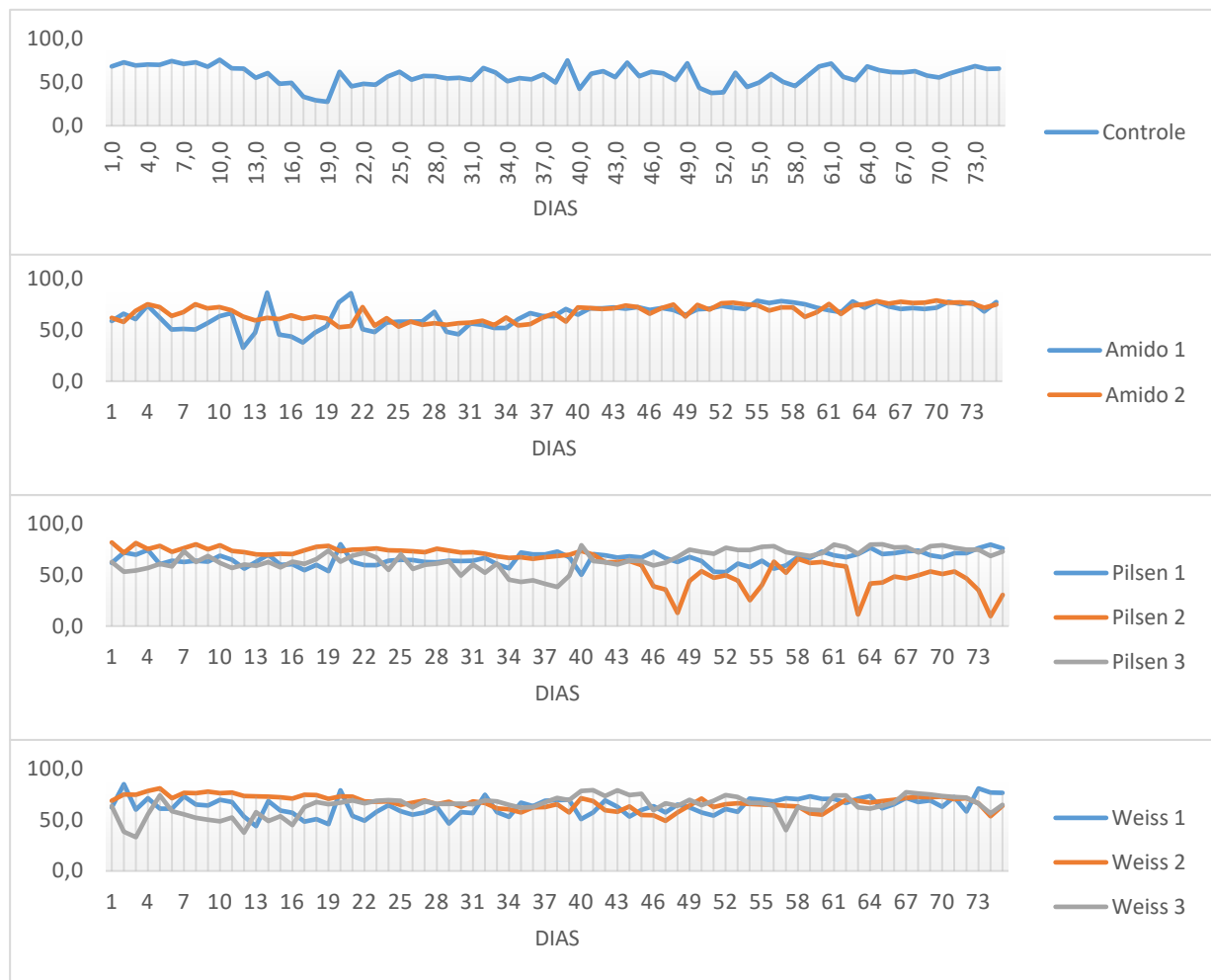


Tabela 3 – Valores mínimos, máximos e médios e medianas de umidade das composteiras – continuação

	<b>Composteiras</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>
<b>5</b>	<i>Pilsen 2</i>	9,6	81,9	61,2	67,5
<b>6</b>	<i>Pilsen 3</i>	38,3	80,1	65,4	64,0
<b>7</b>	<i>Weiss 1</i>	43,9	85,0	63,5	63,4
<b>8</b>	<i>Weiss 2</i>	49,1	81,0	67,2	68,2
<b>9</b>	<i>Weiss 3</i>	33,2	79,2	64,1	66,0

Para o parâmetro de umidade, a composteira 1 - *Controle* apresentou comportamento bastante variado no período analisado, com valor mínimo observado de 27,5%, valor máximo de 75,8%, enquanto a média ficou em torno de 58%. As composteiras Amido apresentaram comportamento distinto no período, a composteira 2 - Amido 1 apresentou como valor mínimo observado 32,8% de umidade, valor máximo de 86,7%, enquanto a média ficou em torno de 64,9%. Já a composteira 3 - Amido 2 apresentou 52,9% como valor mínimo de umidade, 79,1% como valor máximo e 67,3% como valor médio. Para as composteiras 4, 5 e 6 - *Pilsen 1*, *Pilsen 2* e *Pilsen 3*, o comportamento apresentado demonstrou significativa discrepância entre os dispositivos estudados. A composteira 4 - *Pilsen 1* apresentou maior estabilidade em todo o período, contudo, os outros dois dispositivos apresentaram distinção dos valores obtidos. A composteira 4 - *Pilsen 1* apresentou os seguintes dados, valor mínimo de 50,3% de umidade, valor máximo de 80,2%, na medida que a média ficou em torno de 65,8%. Enquanto a composteira 5 - *Pilsen 2* resultou em 9,6% como valor mínimo, sendo este o menor valor de todo o experimento, 81,9% como valor máximo e 61,2% como valor médio e a composteira 6 - *Pilsen 3* obteve como 38,3% valor mínimo, 80,1% como valor máximo e a média de 65,4% para o período analisado. Para as composteiras 7, 8 e 9 - *Weiss 1*, *Weiss 2* e *Weiss 3*, assim como nos parâmetros analisados para os dispositivos *Pilsen*, o comportamento demonstrou significativa discrepância entre os dispositivos estudados. A composteira 8 - *Weiss 2* apresentou maior estabilidade em relação aos demais, contudo, as outras duas composteiras apresentaram distinção dos valores obtidos. A composteira 7 - *Weiss 1* apresentou os seguintes dados, valor mínimo de 43,9% de umidade, valor máximo de 85%, na medida que a média ficou em torno de 63,5%. Enquanto a composteira 8 - *Weiss 2* resultou em 49,1% como valor mínimo, 81% como valor máximo e 67,2% como valor médio e composteira 9 - *Weiss 3* obteve como 33,2% valor mínimo, 79,2% como valor máximo e a média de 64,1%. Na figura 8 observa-se o comportamento da umidade nos diferentes tipos de materiais em um período de 75 dias.

Figura 8 – Evolução dos valores de umidade no período de 75 dias



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Nos estágios iniciais do processo de compostagem, evidencia-se uma acentuada diminuição no teor de umidade contido no material orgânico em decomposição. Esse declínio na umidade é fortemente influenciado pelas variações de temperatura do ambiente circundante. É importante destacar que teores de umidade na faixa de aproximadamente 55% são considerados adequados e propícios para a eficácia do processo de compostagem (Paraná, 2023; Pereira Neto, 1996; Pereira Neto, 2007).

Nas composteiras contendo material de amido, o valor médio obtido encontra-se acima do limiar geralmente considerado apropriado para ensaios de compostagem. No entanto, essa elevação do teor de umidade pode ser atribuída às características específicas do material empregado, que exibe notáveis propriedades de retenção de umidade. Isso pode ser, especialmente, relevante na configuração da composteira 2 - Amido 1.

Conforme Liu *et al.* (2014), o amido utilizado como material de estudo possui a capacidade de absorver uma quantidade significativamente maior de água quando submetido a processos de aquecimento. Esse fenômeno é consequência da gelatinização do amido, que altera suas propriedades e aumenta sua afinidade pela água.

Os dois dispositivos, *Pilsen* e *Weiss*, compartilham a característica de utilizar o bagaço de malte em sua composição. Esse bagaço consiste na casca do grão de cevada, sendo obtido em um estágio subsequente ao processo de fabricação do mosto cervejeiro, como detalhado por Tombini *et al.* (2020). Vale ressaltar que, quando utilizado na forma seca, o bagaço de malte não exerce impacto significativo no aumento do teor de umidade durante o processo, destacando sua importância na compostagem como um material que não compromete o equilíbrio hídrico do sistema, além da baixa umidade. Herrmann e Souza (2021) enfatizam que o bagaço de malte, na condição seca, apresenta uma considerável concentração de proteínas, carboidratos e fibras brutas. Aliado a isso e, também a interferência da temperatura no local de estudo, e a variabilidade do material orgânico utilizado na composteira, evidenciam-se valores significativamente baixos para a composteira 5 - *Pilsen 2*.

Com base na média dos teores de umidade observados nas composteiras "*Weiss*", nota-se que todos excederam o limite estabelecido de 55%. Nesse contexto, é fundamental exercer atenção, segundo Valente *et al.* (2009), materiais com um teor de umidade inferior a 30% podem resultar na inibição da atividade microbiana, enquanto umidades superiores a 65% podem indicar um processo de decomposição mais lento e a criação de condições anaeróbicas. Assim, o controle do teor de umidade é de extrema importância para garantir um ambiente propício para a compostagem aeróbica.

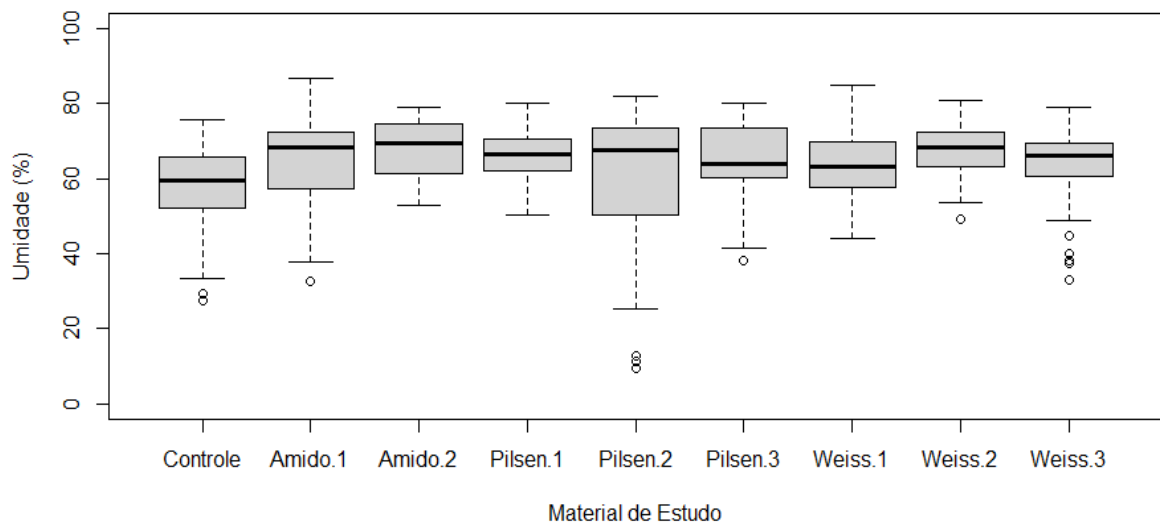
É possível notar o percentual elevado de umidade nos dispositivos de estudo, inclusive com vários pontos de umidade abaixo de 20%. De acordo com Colón *et al.* (2010), tal fato ocorre devido a pequena dimensão da caixa digestora e a suscetibilidade à variação de temperatura dentro da estufa de plantas, local semelhante ao que foram acondicionadas as composteiras no presente estudo, considerando que a estufa potencializa a alta temperatura em dias com temperatura elevada, provocando a vaporização da umidade presente, sendo que o oposto ocorre em dias chuvosos, quando a umidade presente nas composteiras atinge níveis mais altos.

Segundo Pereira Neto e Lelis (1999), a umidade é fundamental para a atividade microbiana e consequente decomposição de matéria orgânica, sendo categorizada como meio

para solubilização de nutrientes que são assimilados por microrganismos, contudo, é necessário destacar que altos teores de umidade (acima de 65%) tendem a dificultar a difusão de oxigênio, reduzindo a temperatura, que torna o processo mais lento e propicia condições anaeróbias dentro do dispositivo, situação essa que pode acarretar em odores, surgimento de vetores e chorume excessivo com a lixiviação de nutrientes. O oposto ocorre com o teor de umidade baixo (inferior a 30%), onde, devido à ausência de umidade suficiente para assimilação de nutrientes, a atividade microbiológica permanece estagnada, inferindo no substrato estabilizado, porém, biologicamente instável.

A fim de exemplificar visualmente, a figura 9 apresenta o diagrama de caixas relacionado a umidade nas nove composteiras estudadas. Nota-se a presença de *outliers*, contudo, estes não possuem interferência direta na medida de tendência central.

Figura 9 – Diagrama de caixa sobre o comportamento da umidade nas composteiras



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

É possível observar a similaridade do comportamento da umidade nos dispositivos, com valores acima de 60%, exceto pelo dispositivo controle ligeiramente abaixo do valor mencionado, contudo, segundo Fialho *et al* (2005), a faixa ideal de umidade oscila entre 50 a 60%, porém, Lima *et al.* (2017) definem que a faixa ideal de umidade se estabelece entre 50 e 70 %, caracterizando os resultados obtidos dentro dos parâmetros.

## 6.4 – MATÉRIA ORGÂNICA

Para avaliar a matéria orgânica nos experimentos, utilizou-se de medição semanal devido aos procedimentos anteriores de secagem do material e medição do teor de umidade. Portanto, o período de tempo considerado foi de 15 dias.

Observa-se um comportamento com variação tímida ao longo do experimento, porém que ainda condiz com o resultado esperado, uma vez que a degradação da matéria orgânica representa o principal objetivo da compostagem. Diante disso a Tabela 4 traz os valores mínimos, máximos, médias, medida de tendência central e também os valores de redução de matéria orgânica em cada composteira obtidos no experimento.

Tabela 4 – Valores mínimos, máximos, médias, medianas e redução da Matéria Orgânica das composteiras

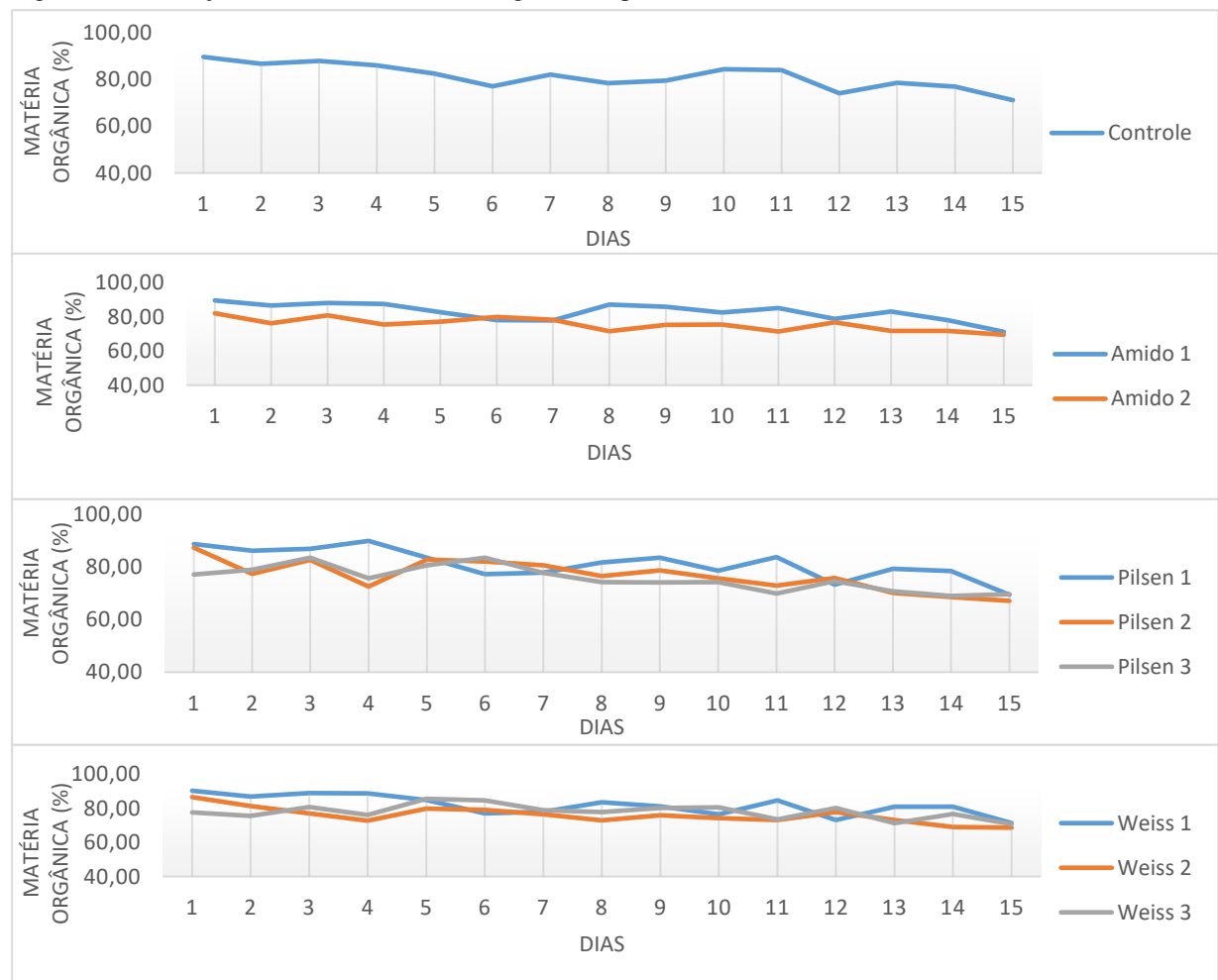
<b>Composteiras</b>	<b>Valor Máximo</b>	<b>Valor Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Redução (%)</b>
<i>1 Controle</i>	89,61	70,65	79,28	78,46	18,96
<i>2 Amido 1</i>	89,60	69,34	81,05	82,16	20,26
<i>3 Amido 2</i>	82,08	64,42	73,69	75,03	17,66
<i>4 Pilsen 1</i>	89,73	66,18	79,22	78,52	23,55
<i>5 Pilsen 2</i>	87,17	60,06	73,70	74,19	27,11
<i>6 Pilsen 3</i>	83,36	65,23	74,34	74,13	18,13
<i>7 Weiss 1</i>	98,37	67,51	80,33	79,53	30,86
<i>8 Weiss 2</i>	86,47	63,41	73,94	73,66	23,06
<i>9 Weiss 3</i>	85,47	63,98	75,24	76,27	21,49

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Para o parâmetro de matéria orgânica, a composteira 1 - Controle apresentou comportamento bastante variado no período de 15 dias, com valor mínimo observado de 70,65%, valor máximo de 89,61%, enquanto a média ficou em torno de 79,28%, evidenciando uma diferença de 18,96% na redução da matéria orgânica na composteira. Para as composteiras denominadas Amido o comportamento no período analisado, permaneceu semelhante, a composteira 2 - Amido 1 apresentou como valor mínimo observado 69,34%, valor máximo de 89,60%, na medida que a média ficou em torno de 81,50%. Já a composteira 3 - Amido 2 apresentou 64,42% como valor mínimo de umidade, 82,08% como valor máximo e 73,69% como valor médio. Nota-se que a composteira 3 - Amido 2 apresentou valores inferiores em praticamente todo o processo de compostagem. Para as composteiras denominadas *Pilsen*, o comportamento apresentado demonstrou significativa semelhança entre os dispositivos

estudados. A composteira 4 - *Pilsen 1* apresentou os seguintes dados, valor mínimo de 66,18% de umidade, valor máximo de 89,73%, na medida que a média ficou em torno de 79,22%. Enquanto a composteira 5 - *Pilsen 2* resultou em 60,06% como valor mínimo, sendo este o menor valor de todo o experimento, 87,17% como valor máximo e 73,70% como valor médio e a composteira 6 - *Pilsen 3* obteve como 65,23% valor mínimo, 83,36% como valor máximo e a média de 74,34% para o período. Para as composteiras denominadas *Weiss*, o comportamento apresentado na figura 26, assim como nos parâmetros analisados para os dispositivos *Pilsen* demonstrou significativa semelhança entre os dispositivos estudados. A composteira *Weiss 1* apresentou os seguintes dados, valor mínimo de 67,51%, valor máximo de 98,37%, na medida que a média ficou em torno de 80,33%. Enquanto o dispositivo *Weiss 2* resultou em 63,41% como valor mínimo, 86,47% como valor máximo e 73,94% como valor médio e o dispositivo *Weiss 3* obteve como 63,98% valor mínimo, 85,47% como valor máximo e a média de 75,24% para o período avaliado. Na figura 10 observa-se o comportamento da matéria orgânica nos diferentes tipos de materiais em um período de 15 dias.

Figura 10 – Evolução dos valores de matéria orgânica no período de 15 dias



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

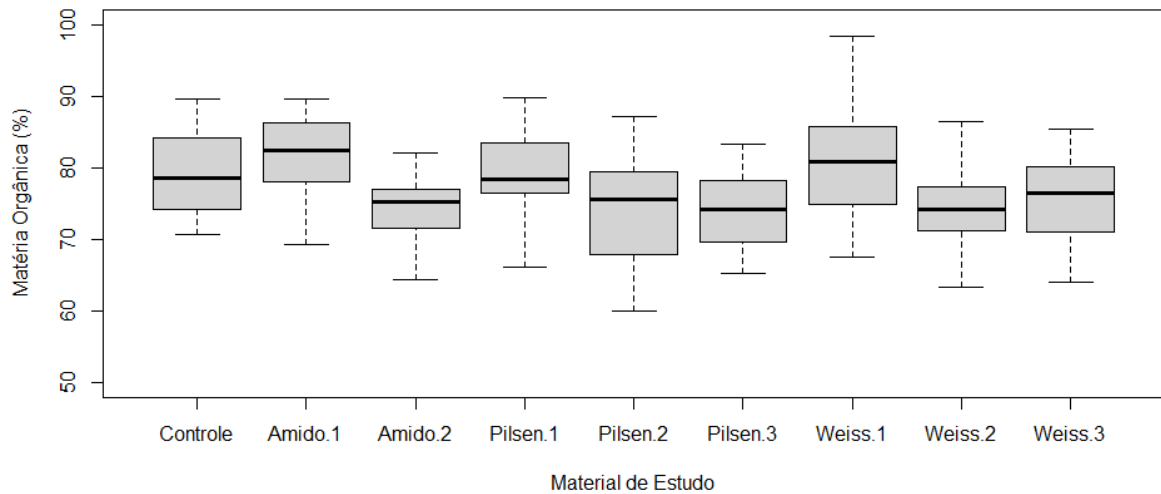
Com base nos dados apresentados, observa-se a tendência decrescente no decorrer do processo de compostagem, onde, segundo Li *et al.* (2021), o declínio apresentado possui como característica a utilização da matéria orgânica como fonte de carbono e energia pelos microrganismos presentes no meio, efeito esse apresentado em todos os dispositivos.

Nas composteiras do tipo Amido, observa-se uma semelhança no padrão dos gráficos, porém, a composteira 2 - Amido 1 apresenta valores significativamente mais elevados em comparação ao dispositivo semelhante. Isso pode ser atribuído às propriedades do material amido, que tem a capacidade de reter umidade de forma considerável. Como indicado por Lins *et al.* (2023), essa capacidade de retenção de líquidos está diretamente ligada à umidade no processo de compostagem, uma vez que existe uma relação direta entre a degradação da matéria orgânica e o nível de umidade presente. Em situações em que a umidade é excessiva, existe o risco de inviabilizar a atividade microbiana, uma vez que os espaços vazios no composto estarão saturados de água, transformando o processo em um ambiente anaeróbico e mais lento.

Ao ser avaliado o gráfico relacionado aos dispositivos *Pilsen* é possível identificar esse fenômeno, que respalda as afirmações de Kiehl (1985), que descreve a redução da matéria orgânica presente no material ao longo do processo de compostagem, o que é consistente com a observação das mudanças na atividade microbiológica em resposta às variações no teor de umidade. Esse fato realça a importância do controle da umidade no contexto da compostagem, influenciando diretamente o progresso e a eficiência do processo. De maneira similar ao ocorrido nas composteiras *Pilsen*, conforme descrito por Kiehl (1985), demonstrou-se o efeito de redução da matéria orgânica, contudo, com comportamento suave de decréscimo da porcentagem do parâmetro de estudo.

Observa-se o menor valor sendo da composteira 5 - *Pilsen 2* com 60,06% de matéria orgânica, enquanto o maior valor é evidenciado na composteira 7 – *Weiss 1*, com pico de 98,37% de matéria orgânica, essa discrepância no valor, apresentada na figura 11, pode ser interpretado em relação a temperatura no mesmo período, sendo esse próximo aos 100 dias de experimento, onde a composteira 7 – *Weiss 1* apresentou valores de temperatura inferiores à média. É possível notar os valores de redução de matéria orgânica em cada composteira, sendo a composteira 6 – *Pilsen 3* a composteira com menor valor de redução, enquanto a composteira 7 – *Weiss 1* apresentou o maior valor de redução do parâmetro. A média de redução de matéria orgânica para todas as composteiras se estabeleceu em 22,34 %.

Figura 11 – Diagrama de caixa sobre o comportamento da matéria orgânica nas composteiras



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Essa divergência observada corrobora com Wang *et al.* (2022b) e Heck *et al.* (2013) que descrevem que no decorrer do processo de compostagem, a temperatura emerge como um parâmetro de relevância significativa, exercendo grande influência sobre a taxa de decomposição da matéria orgânica e a atividade microbiana. Segundo Nguyen; Koyama; Nakasaki (2023), durante a fase termofílica, ocorre uma decomposição orgânica intensa, resultando em elevadas temperaturas devido ao calor gerado pelo metabolismo dos microrganismos.

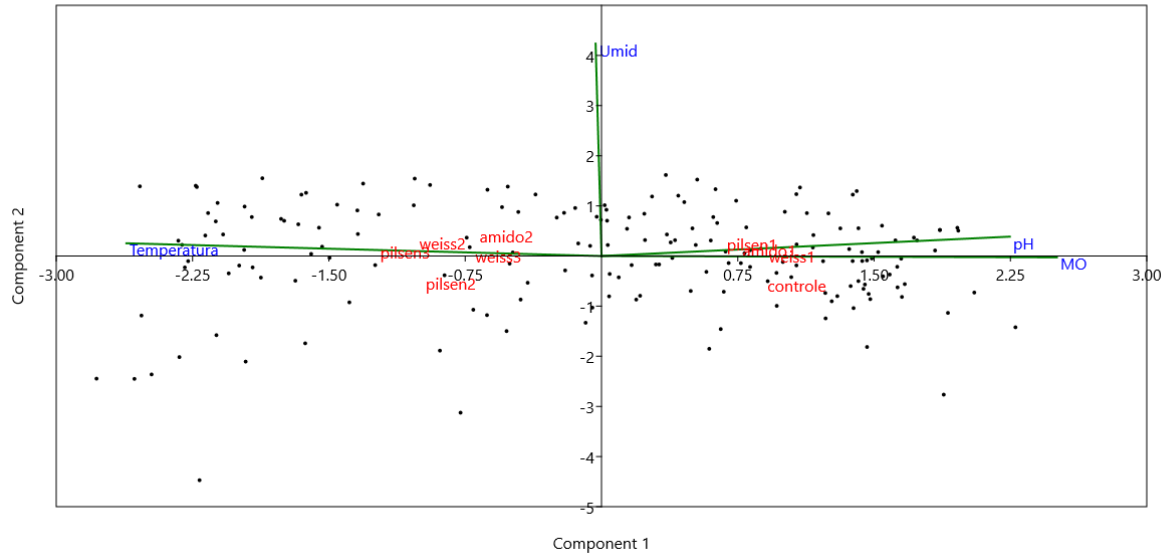
## 6.5 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS - ACP

Consiste em uma técnica estatística para análise multivariada, partindo da transformação linear de um conjunto de variáveis correlacionadas entre si, em um conjunto menor de variáveis não correlacionadas, mas que possuem a maior parte da informação do conjunto inicial (Hongyu *et al.*, 2015), a partir dos gráficos gerados através do *software PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis* e também do *software RStudio*



apresentados na figura 12, podemos evidenciar a correlação dos parâmetros estudados em relação aos dispositivos do experimento.

Figura 12 – Correlação dos parâmetros principais com as composteiras – *software P.A.S.T.*



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Através da figura, é possível observar dois grupos de composteiras, cada um composto por diferentes dispositivos. O primeiro grupo, composto pelas composteiras 3, 5, 6, 8 e 9 - Amido 2, Pilsen 2, Pilsen 3, Weiss 2, e Weiss 3, está correlacionado com o parâmetro temperatura, este que explica 45,40% da variância total, e de modo mais sutil, o parâmetro umidade também apresenta maior afinidade com este grupo quando comparado ao segundo. O segundo grupo inclui as composteiras 1, 2, 4 e 7 - Controle, Amido1, Pilsen 1 e Weiss 1, e está correlacionado com os parâmetros de pH e matéria orgânica, este último explicando 25,08% da variância total. Ao somarmos os dois componentes com maiores valores, temos que, juntos, explicam 70,48% da variância total dos parâmetros estudados.

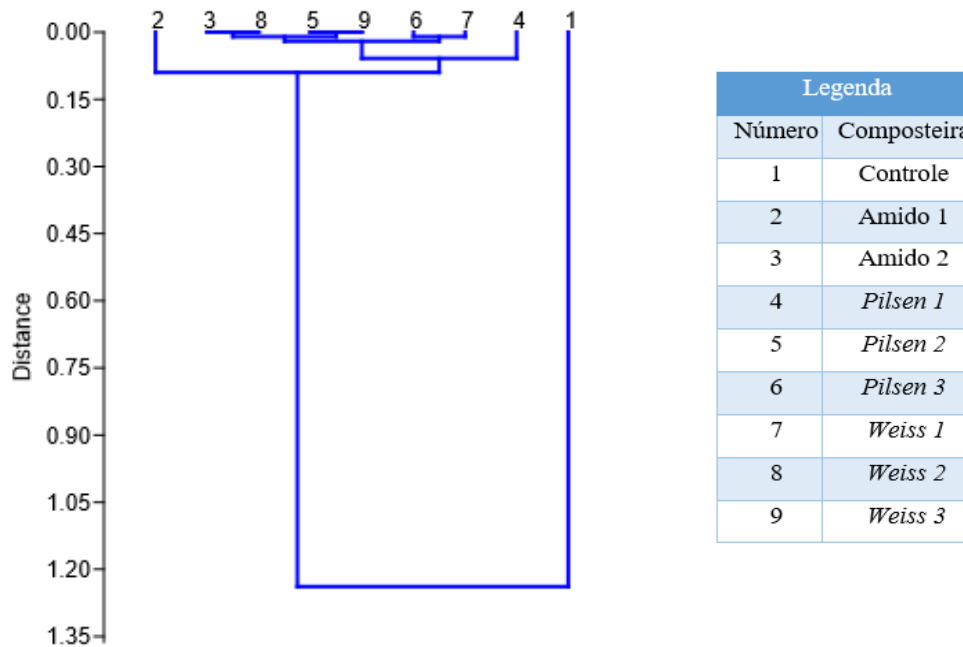
É evidente a relação oposta entre os três parâmetros observados, conforme mencionado nas análises anteriores da degradação da matéria orgânica, destacando a relação inversamente proporcional com a temperatura e corroborando com Xie (*et al.*, 2023) que a temperatura aumenta a partir da produção de calor resultante da degradação de matéria orgânica.

## 6.6- RESPIRAÇÃO BASAL DO COMPOSTO - RBC

A respiração basal do composto consiste na formação de CO<sub>2</sub> através das atividades metabólicas desencadeadas no processo de compostagem, logo, possui relação direta com a

oxidação da matéria orgânica por meio de microrganismos presentes na massa em caráter aeróbio, os quais fazem uso do O<sub>2</sub> como aceptor de elétrons até a formação do CO<sub>2</sub> mencionado

Figura 13 – Dendrograma de similaridade de grupos sobre a Respiração Basal do Composto



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

(Schmitz, 2003). Na figura 30 são discriminados os grupos formados conforme similaridade entre os dispositivos estudados.

Com base na análise da imagem, observa-se a configuração de seis agrupamentos distintos. O primeiro grupo consiste na composteira 1 – Controle, o segundo se refere a composteira 2 – Amido 1, o terceiro grupo contempla a composteira 4 – *Pilsen 1*, o quarto possui como integrantes as composteiras 6 e 7 – *Pilsen 3* e *Weiss 1*, o quinto compreende as composteiras 5 e 9 – *Pilsen 2* e *Weiss 3* e o último grupo é formado pelas composteiras 3 e 8 – Amido 2 e *Weiss 2*. Essa observação é coerente com o dendrograma apresentado. Corroborando com o dendrograma apresentado, na tabela 5 podem ser observados os valores obtidos para o parâmetro estudado.

Tabela 5 – Valores obtidos no ensaio de respiração basal do composto nas composteiras

Controle	Amido 1	Amido 2	<i>Pilsen 1</i>	<i>Pilsen 2</i>	<i>Pilsen 3</i>	<i>Weiss 1</i>	<i>Weiss 2</i>	<i>Weiss 3</i>
1,94	0,78	0,71	0,64	0,70	0,68	0,69	0,71	0,70

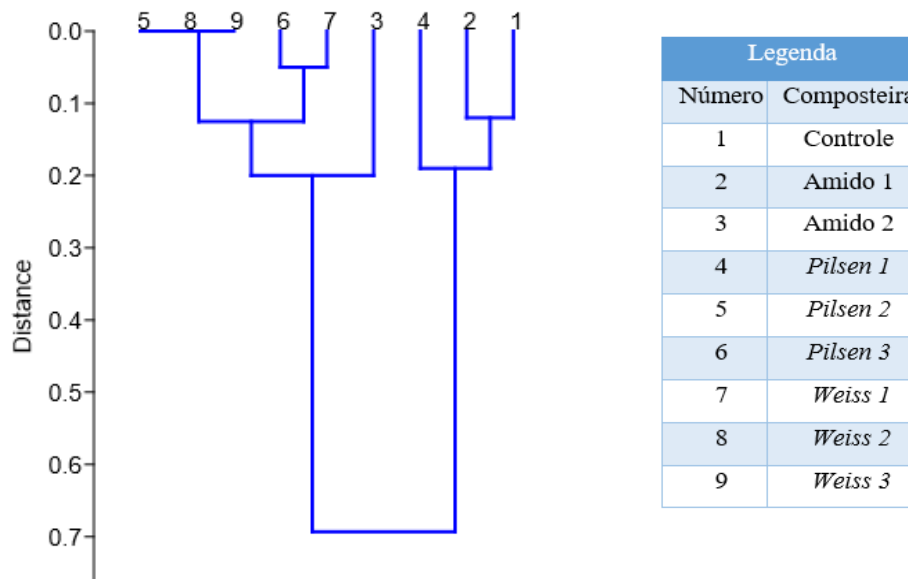
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

O parâmetro referente a Respiração Basal do Composto possui influência de diversos fatores, como a temperatura, umidade, matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes etc, além disso, esse parâmetro possui relação diretamente proporcional a atividade microbiana, logo, ao passo que a degradação dos materiais avança, há a mitigação da atividade microbiana e consequentemente da respiração basal, sendo assim, tem-se que valores de respiração mais baixos denotam compostos mais maduros e com maior parte da matéria orgânica decomposta (Silva, 2010). Valores mais altos desse parâmetro podem ser interpretados como desejáveis a curto prazo, visando fornecimento de nutrientes para plantas, entretanto, valores mais altos também indicam maior perda de carbono orgânico para a atmosfera em forma de CO<sub>2</sub>, se tornando indesejável, uma vez que contribui para elevar a concentração do gás na atmosfera, propiciando retenção de raios infravermelhos e consequentemente contribuindo para a potencialização do efeito estufa (Parkin *et al.*, 1996; Moreira e Siqueira, 2002).

#### **6.7 – BIOMASSA MICROBIANA DO COMPOSTO – C-BMC**

A análise da biomassa microbiana desempenha um papel fundamental na detecção e quantificação de variações significativas na quantidade e qualidade da matéria orgânica em sistemas ambientais. Esta abordagem fornece um indicador sensível das mudanças microbiológicas, auxiliando na avaliação de fatores como a dinâmica do carbono e a atividade microbiana do solo, o que é essencial para monitorar e gerenciar ecossistemas e solos. A biomassa microbiana serve como uma ferramenta valiosa na pesquisa e na tomada de decisões em questões relacionadas à agricultura, à conservação do solo e à gestão ambiental (Reis Junior; Mendes, 2007). Na figura 14 se observa a similaridade entre as composteiras por meio do dendrograma.

Figura 14 – Dendrograma de similaridade de grupos sobre a Biomassa Microbiana



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Evidencia-se a aglomeração de cinco grupos distintos, organizados de acordo com o grau de similaridade entre os componentes. O primeiro agrupamento, Grupo 1, é constituído pelas composteiras 1 e 2 – Controle e Amido 1, o segundo grupo é formado pela composteira 4 – *Pilsen 1*, o terceiro grupo compreende a composteira 3 – Amido 2, o quarto grupo possui como integrantes as composteiras 6 e 7 – *Pilsen 3* e *Weiss 1*, e o último grupo é constituído pelas composteiras 5, 8 e 9 – *Pilsen 2*, *Weiss 2* e *Weiss 3*, indicando uma alta concordância entre elas. Na tabela 6 estão discriminados os valores obtidos para biomassa microbiana.

Tabela 6 – Valores obtidos no ensaio de biomassa microbiana nas composteiras

Controle	Amido 1	Amido 2	<i>Pilsen 1</i>	<i>Pilsen 2</i>	<i>Pilsen 3</i>	<i>Weiss 1</i>	<i>Weiss 2</i>	<i>Weiss 3</i>
3,56	3,68	4,21	3,81	4,36	4,51	4,46	4,36	4,36

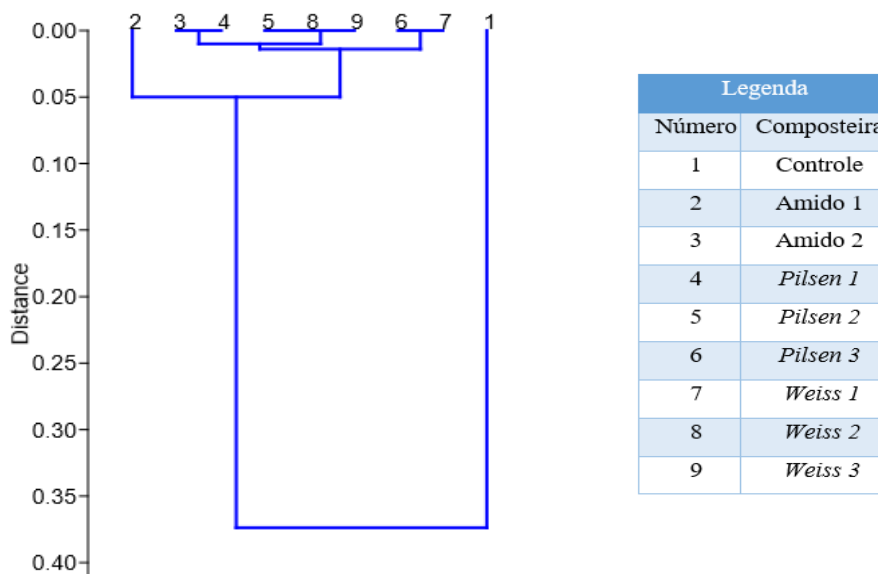
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Segundo Aquino (2005), apesar de a biomassa microbiana expressar a quantidade de microrganismos vivos no substrato, este parâmetro não é capaz de refletir a atividade dos mesmos, contudo, a maior eficiência da biomassa está diretamente ligada a menor liberação de CO<sub>2</sub> a partir da respiração, provendo a incorporação do gás na biomassa, ocasionando o aumento da mesma.

## 6.8 – QUOCIENTE METABÓLICO – $qCO_2$

O quociente metabólico representa a relação entre a taxa de respiração basal e a biomassa microbiana em relação ao tempo, sendo um indicador que avalia a eficiência da utilização de recursos pela biomassa (Anderson e Domsch, 1993; Silva *et al*, 2012). Na figura 32 são evidenciados 5 grupos segundo similaridade, o primeiro grupo é composto pela composteira 1 - Controle, o segundo grupo compreende a composteira 2 – Amido 1, o terceiro grupo possui como integrantes as composteiras 6 e 7 – *Pilsen 3* e *Weiss 1*, respectivamente, o quarto grupo engloba as composteiras 3 e 4 – Amido 2 e *Pilsen 1*, e o último grupo se refere as composteiras 5, 8 e 9 – *Pilsen 2*, *Weiss 2* e *Weiss 3*

Figura 15 – Dendrograma de similaridade de grupos sobre o Quociente Metabólico



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Segundo Silva *et. al* (2007a), a relação de resposta da biomassa microbiana na utilização de recursos ecossistêmicos possui caráter inversamente proporcional à perda de  $CO_2$  através da respiração, possibilitando diminuição do  $qCO_2$ . Corroborando com os dados apresentados na figura, a tabela 7 explicita os valores obtidos para este parâmetro.

Tabela 7 – Valores obtidos através do quociente metabólico

<b>Controle</b>	<b>Amido 1</b>	<b>Amido 2</b>	<b><i>Pilsen</i> 1</b>	<b><i>Pilsen</i> 2</b>	<b><i>Pilsen</i> 3</b>	<b><i>Weiss 1</i></b>	<b><i>Weiss 2</i></b>	<b><i>Weiss 3</i></b>
0,54	0,21	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,16	0,16

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Conforme observado por Anderson e Domsch (1993), a ocorrência de valores elevados de  $qCO_2$  normalmente está associada a ecossistemas em estágios mais jovens de desenvolvimento ou sujeitos a condições de estresse ambiental. Por outro lado, valores mais reduzidos indicam ecossistemas em um estágio mais maduro e com maior estabilidade. Além, disso, valores mais altos de  $qCO_2$  podem evidenciar baixa atividade microbiana e estresse ambiental (Wardle e Ghani, 1995).

**CONCLUSÃO**

## 7 CONCLUSÃO

Embora a prática da compostagem seja amplamente difundida, tem havido um crescente interesse por esse processo nos últimos anos, em grande parte devido a exigências legais, mas também como uma opção mais econômica e ecologicamente sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos. A compostagem é frequentemente vista como uma forma de reciclagem de resíduos orgânicos, caracterizando-se por uma relação custo-benefício favorável, alta eficiência no tratamento dos resíduos orgânicos e a não necessidade de mão-de-obra especializada para operar o processo. Além disso, resulta na produção de um subproduto com valor fertilizante, que pode ser reintegrado ao solo, promovendo a fertilidade e a saúde do mesmo.

A crescente ênfase em questões ambientais e na gestão responsável dos resíduos, tem levado muitas empresas e instituições a considerar a compostagem como uma alternativa socialmente justa, ambientalmente correta e economicamente viável, descrevendo os pilares do conceito de sustentabilidade, uma vez que envolve a otimização da gestão de recursos, a promoção da economia circular, a minimização de impactos negativos no meio ambiente e a criação de oportunidades de emprego na cadeia de valor da compostagem, além disso, a compostagem não apenas reduz os custos associados à disposição de resíduos em aterros sanitários, mas também contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a conservação de recursos naturais.

O bagaço de malte utilizado no experimento consiste na fração seca do material, resultante da fabricação de bebidas alcoólicas fermentadas, em que os grãos de cereais, como cevada, são processados para a obtenção de malte. Durante o processo fabril, é gerada uma quantidade significativa desse subproduto, o qual demanda alternativas eficazes para tratamento devido à grande proporção de material envolvida.

O tratamento adequado do bagaço de malte é fundamental não apenas para a gestão de resíduos da indústria de bebidas alcoólicas, mas também para minimizar o impacto ambiental. Entre as alternativas de destinação, destacam-se a utilização desse resíduo na fabricação de ração animal, o emprego na produção de farináceos destinados ao consumo humano e a sua incorporação na compostagem.

Diante do presente trabalho, evidenciou-se o grande potencial de degradabilidade do material de estudo por meio do método de compostagem, não sendo possível a identificação do material a partir da quarta semana de experimento para o bagaço de malte e para o amido, este



por sua vez, devido a maior retenção de líquidos, demonstrou textura gelatinosa a partir da segunda semana de pesquisa.

A temperatura, considerada um dos principais parâmetros para o processo de compostagem apresentou grande variabilidade no interior das composteiras, isso pode ter ocorrido devido as características do local de estudo, uma vez que, a ausência de temperatura controlada no interior da estufa, somado ao pequeno volume de material em cada composteira ocasionou grande oscilação do parâmetro em cada dispositivo estudado. Quanto ao pH, as composteiras apresentaram oscilações durante o processo, evidenciando o autocontrole do parâmetro no meio a partir dos microrganismos, permanecendo na faixa considerada adequada destacando o processo de compostagem como bem sucedido.

Em relação a umidade, o amido possui capacidade de retenção de líquidos, contribuindo para maiores valores de umidade nas composteiras, todavia, o bagaço de malte, por se tratar de material seco, não possui influência na umidade observada nas composteiras, entretanto, aliado a oscilação de temperatura externa, juntamente com a variabilidade de resíduos orgânicos incorporados ao processo, picos de umidade abaixo da faixa ideal são observados em algumas composteiras. A matéria orgânica, como esperado, apresentou redução em todas as composteiras, chegando a valores de redução acima dos 30%, configurando o processo como eficiente.

A Análise de Componentes principais indicou relação inversamente proporcional sobre os parâmetros temperatura e matéria orgânica, corroborando com a literatura, onde explica que, à medida que há atividade microbiológica de degradação, há aumento de temperatura e mitigação da matéria orgânica

Quanto a Respiração Basal do Composto, esse parâmetro expressou maior atividade microbiana na composteira controle, isso indica a maior liberação de CO<sub>2</sub> em relação às demais, configurando maior perda de carbono orgânico para a atmosfera em forma de CO<sub>2</sub>, contribuindo para a potencialização do efeito estufa. Em relação a Biomassa Microbiana do Composto, a composteira controle também se mostrou mais instável frente as demais, uma vez que, a eficiência da biomassa está diretamente ligada à menor liberação de CO<sub>2</sub> à atmosfera, promovendo a incorporação do gás na própria massa, tornando-a maior; a composteira controle, por sua vez, demonstrou o menor valor neste parâmetro. Já o Quociente Metabólico, responsável pela razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana, descrevem a maturidade do composto, novamente, a composteira controle demonstrou estar aquém das

demais composteiras, uma vez que apresentou o maior valor, demonstrando baixa atividade microbiana e possível estresse ambiental, logo, conclui-se que a adição dos resíduos de amido e bagaço de malte promoveram maior eficiência ao processo de compostagem, resultando em compostos mais estáveis em comparação a composteira sem adição de qualquer material de estudo.

O estudo revelou que os parâmetros foram significativamente afetados no decorrer do processo de compostagem a partir das condições térmicas desfavoráveis presentes no local de estudo, isso se manifestou, principalmente, na medição da temperatura, resultando em efeitos subsequentes nos demais parâmetros analisados, entretanto, mesmo com as oscilações de temperatura externa, os valores obtidos denotaram eficiência no processo estando em conformidade com os parâmetros descritos na literatura, além da completa degradação dos materiais de estudo em ambiente compostável, logo, considerando o volume de resíduos de bagaço de malte de indústria cervejeira, assim como o tempo de degradação, o processo de compostagem configura-se em uma alternativa eficiente ao tratamento desses resíduos, com as diferentes proporções propostas no estudo, sendo uma técnica viável para ser explorada a fim de buscar a gestão integrada e sustentável no setor industrial de produção de cerveja, sendo um setor de grande potencial na região em que foi desenvolvido o estudo.

Como sugestão para trabalhos futuros, cabe a realização de experimento comparativo com dispositivos alocados em ambiente com controle de temperatura e dispositivos alocados no local de realização deste estudo, isso permitirá uma avaliação mais precisa dos efeitos das oscilações de temperatura nos resultados obtidos e facilitará a identificação de diferenças significativas entre diferentes cenários.

## REFERÊNCIAS

## REFERÊNCIAS

- ALSAMAWI, A.; ZBOON, A. R.T.; ALNAKEEB, A. Estimation of Baghdad Municipal Solid Waste Generation Rate. **Engineering and Technologic Journal**, v. 27, n.1. 2009. ISSN: 2412-0758. Acesso em 25 out. 2023
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.591**: Compostagem – Terminologia. Rio de Janeiro, 1996. 4p.
- ABU YAZID, N.; BARRENA, R., KOMILIS, D.; SÁNCHEZ. A. Solid-state fermentation as a novel paradigm for organic waste fertilizer: a review. **Sustainability**, v. 9, Issue 2, p. 224. Fev. 2017. Acesso em 22 abr. 2023.
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais -ABRELPE. (2011) **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. São Paulo: ABRELPE
- (2019) **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018-2019**. São Paulo: ABRELPE
- (2017) **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: ABRELPE
- (2020) **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo: ABRELPE
- (2021) **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**. São Paulo: ABRELPE
- ADANI F.; GENEVINI P.L.; GASPERI F.; TAMBONE F. Composting and humification **Compost Science & Utilization**. v.7, Issue 1, p. 24-33. 1999. Acesso em 22 abr. 2023.
- ADAMCOVA, D.; RADZIEMSKA, M.; RIDOSKOVA, A.; BARTON, S.; PELCOVA, P.; ELBL, J.; KYNICKY, J.; BRTNICKY, M.; VAVERKOVA, M.D. Environmental assessment of the effects of a municipal landfill on the content and distribution of heavy metals in *Tanacetum vulgare* L. **Chemosphere**, v.185, p. 1011-1018. Out. 2017.. Acesso em 15 set. 2023
- ALIYU, S. ; BALA, M. Brewer’s spent grain: a review of its potentials and applications. **African Journal of Biotechnology**, v. 103, n. 3, p. 324-331. Jan. 2011. Acesso em 22 abr. 2023.
- ALMEIDA, L. M. S.; GARBELINI, E. R.; PINHEIRO, P. B. G.; VIEIRA, J. P. B. Unidades de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos Apostila para a gestão de municipal de resíduos sólidos urbanos. **Ministério Público do Estado do Paraná**. Curitiba, PR. out. 2012. Acesso em: 17 out. 2022
- AMIN, N. *et al.* Municipal solid waste treatment for bioenergy and resource production: potential technologies, techno-economic-environmental aspects and implications of membrane-based recovery. **Chemosphere**, v.323, 138196, p.1-22. Mai. 2023. Acesso em 8 set. 2023.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, n. 3, p. 215-221, 1978. Acesso em: 22 abr. 2023

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395. Mar.1993. Acesso em: 22 abr. 2023.

ANDREOLI, C.V.; BACKES, S.A.; CHERUBINI, C. Avaliação do processo compostagem utilizando podas verdes e resíduos do saneamento. **Anais FERTIBIO 2002**. Rio de Janeiro, 2002. 5p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/78359894-Avaliacao-do-processo-de-compostagem-utilizando-podas-verdes-e-residuos-do-saneamento.html>. Acesso em: 19. Fev. 2023

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A. Biotecnologia Industrial. São Paulo: Editora **Edgard Blücher LTDA**, v.4, p.91-143. 2001

AQUINO, A.M. Biomassa microbiana, colóides orgânicos e nitrogênio inorgânico durante a vermicompostagem de diferentes substratos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.11, p. 1087- 1093. Nov. 2005. ISSN: 1678-3921. Acesso em : 22 abr. 2023

ARVANITOYANNIS, I. S.; KASSAVETI, A.; LADAS, D. Waste Management for the Food Industries. **Food Science and Technology International Series**, v.1, p. 1-1071. 2008. ISBN: 9780123736543. Acesso em 21 ago. 2023.

ASSAD, L. Apresentação - lixo: uma ressignificação necessária. **Ciencia e Cultura**. v.68 n.4, São Paulo Oct./Dec. 2016. ISSN 2317-6660. Acesso em 19 set. 2021

ASSIS, L. M; MEDINA, A. L; CARVALHO, D; RODRIGUES, R. **Elaboração de Farelo a Partir de Bagaço de Malte de Cevada Proveniente da Indústria Cervejeira**. XV Congresso de Iniciação Científica – VIII Encontro de Pós-Graduação – 2006. Disponível em: [http://www2.ufpel.edu.br/cic/2006/resumo\\_expandido/CA/CA\\_00959.pdf](http://www2.ufpel.edu.br/cic/2006/resumo_expandido/CA/CA_00959.pdf). Acesso em: 22 abr. 2023

BAPTISTA, A. M.; OLIVEIRA, J. C. DE M. O Brasil em fóruns internacionais sobre meio ambiente e os reflexos da Rio 92 na legislação brasileira. **Revista Paranaense De Desenvolvimento - RPD, [S.l.]**. n.102, p.5–27. 2011. Acesso em: 29 set. 2023.

BARREIRA, L P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-08032006-111308/publico/tese.pdf>. Acesso em 17 nov. 2023.

BASTOS, R. O; JUNIOR, F. J. G; SOUZA, R. F. A; VARGAS, A. B. A reciclagem e a gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma análise das interações com o ensino. **Acta Scientiae et Technicae**, [S.l.], v. 11, p. 19 - 28, ago. 2023. ISSN 2317-8957. Acesso em: 29 set. 2023

BERNARDIN, S. **Resíduos Sólidos: Etapas para a gestão e gerenciamento**. 1. ed. Itu-SP: Equipe Salegis, 28 fev. 2019. Disponível em: Acesso em: <https://www.salegis.com.br/residuos-solidos-etapas-para-a-gestao-e-gerenciamento/>. Acesso em: 14 out. 2023.

BERTICELLI, R.; KORF, E.P. Diretrizes para Elaboração de Um Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. **Revista de Engenharia Civil Imed**, v. 3, n. 1, p. 19-24, 2016. ISSN 2358-6508. Acesso em: 29 set. 2023.

BHORKAR, M.; SAMARTH, A.; LANJEWAR, A.; NARKHEDE, H.; AGASHE, J.; NIRWAN, N. Development of modified compost unit for domestic biodegradable waste, **Materials Today: Proceedings**, 2023. ISSN 2214-7853. Acesso em: 17 nov. 2023.

BRANDÃO, E. J.; SOBRAL, L. G. S. Logística Reversa: Instrumento da Gestão Compartilhada na Atual Política Nacional de Resíduos Sólidos. Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Série Tecnologia Ambiental**. ISSN 0103-7374, ISBN 978-85-8261-000-8. 2012. Acesso em: 16 nov. 2023

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Presidência da República. [2016]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 25. Jul. 2021.

BRASIL. Lei Federal nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 31 de ago. 1981. Seção 1 - 2/9/1981, p.16509. Acesso em 12 out. 2023

BRASIL. Lei Federal nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978, **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 5 de jan. 2007. Seção 1 - 8/1/2007, p.3. Acesso em 12 out. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 03 ago. 2010a. Seção 1 - 3/8/2010, p.3. Acesso em 25 jun. 2021.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 23 dez. 2010b. Seção 1 - Edição Extra - 23/12/2010, p.1. Acesso em 25 jun. 2021

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei no 9.984, de 17 de julho de 2020. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 16 jul. 2020. Seção 1 - 16/7/2020, p.1. Acesso em: 26 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 481, de 3 de outubro de 2017. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília, DF: **Ministério do Meio Ambiente**, 03 out. 2017a. Disponível em: Acesso em 26 jun. 2021.

BRASIL. SENADO FEDERAL. (Org.). Rumo a 4 bilhões de toneladas por ano. Revista **Em Discussão!** Distrito Federal, v. 22, n. 5, set. 2014a. Disponível em: Acesso em: 22 jun. 2021.

BRASIL. SENADO FEDERAL. (Org.). Como alguns países tratam seus resíduos. Revista **Em Discussão!** v. 22, n. 5, set. 2014b. Acesso em: 22 jun. 2021.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 12 jan. 2022a. Seção 1 - Edição Extra - A - 12/1/2022, p.2. Acesso em: 09 out. 2023

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Secretaria de Qualidade Ambiental. Biblioteca Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF. MMA. 2022b. ISBN: 978-65-88265-15-4. Acesso em: 09 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Anuário da cerveja 2022**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/DAS, 2023. ISBN: 978-85-7991-216-0. Acesso em: 11 nov. 2023

BROCHIER, M. A.; CARVALHO, S. Aproveitamento de resíduo úmido de cervejaria na alimentação de cordeiros confinados em fase de terminação. **Ciência e Agrotecnologia** – Universidade federal de Lavras, ISSN: 1981-1829, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1392-1399, set./out., 2009. Acesso em: 15 set. 2023

BURLE, E. C.; NETO, E. C. A.; SANTOS, W. L.; FIGUEIREDO, R. T. Compostagem em pequena escala de resíduos orgânicos com óleos e gorduras residuais - ogr. **Caderno De Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT - SERGIPE**, v.4, n.3, p.11-20, Abr. 2018. ISSN: 2316-3135. Acesso em: 29 set. 2023

CAPANEMA, L. X. L.; PIMENTEL, L. B. Saneamento e resíduos sólidos. In: FERRARI, Marcos Adolfo Ribeiro (Org.) *et al.* O BNDES e as agendas setoriais: contribuições para a transição de governo. Rio de Janeiro: **Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social**, 2018. p. 31-43. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/18261>. Acesso em: 30 abr. 2023

COLÓN, J; MARTÍNEZ-BLANCO, J; GABARRELL, X; ARTOLA, A; SÁNCHEZ, A; RIERADEVALL, J; FONT, X. Environmental assessment of home composting, **Resources, Conservation and Recycling**, Volume 54, Issue 11, Pages 893-904, Set. 2010. ISSN: 1879-0658. Acesso em 13 out. 2023.

COSTA, A. R. S.; XIMENES, T. C. F.; XIMENES, A. F.; BELTRAME, L. T. C. O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Tecnologia Rural. **Revista GEAMA**, Recife, v.1, n.2, Set. 2015. ISSN: 2447-0740. Acesso em 08 set. 2023

COSTA, M. S. S. S. de M. **Caracterização dos rejeitos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes**. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Unesp, Botucatu, 2005. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNSP\\_db8becacf3a374d3746269a854db49d2](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNSP_db8becacf3a374d3746269a854db49d2). Acesso em: 21 ago. 2023

COSTA, G. P. T. Gerenciamento de resíduos: estudo de caso com foco na política dos 3R's em um município do interior do Estado de São Paulo. 2018, São Cristóvão-SE. **Anais do X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe**. ISSN 2447-0635. X SIMPROD, 2018. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10439/2/GerenciamentoResiduosEstudo.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2022.

CUNHA, V.; FILHO, J. V. C. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. In: **Gestão & Produção**. v.9, n.2. Ago. 2002. ISSN: 1806-9649. Acesso em : 28 abr. 2023

CZEKAŁA, W. ; NOWAK, M. ; PIECHOTA, G. Sustainable management and recycling of anaerobic digestate solid fraction by composting: A review, **Bioresource Technology**, Volume 375, Mai.2023. ISSN: 1873-2976. Acesso em 14 set. 2023.

ESPINHEIRA, M. F. T. Economia verde e resíduos urbanos: paradoxos e adaptações na sociedade de consumo. 2020. Tese (Doutorado em Sociologia – Cidades e Culturas Urbanas) - **Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra**. Coimbra. Jun. 2020. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/92413/1/Economia%20verde%20e%20res%20duos%20urbanos%20paradoxos%20e%20adapta%C3%A7%C3%B5es%20na%20sociedade%20de%20consumo.pdf>. Acesso em: 06 out. 2023.

FIALHO, L. L. *et al.*, **Monitoramento Químico e Físico do Processo de Compostagem de Diferentes Resíduos Orgânicos**. 29. ed. São Carlos: Valentim Monzane, 2005. 6 p. ISSN: 1517-4778 Acesso em: 16 out. 2022

FIGUEIREDO, G. S. **Análise de impactos ambientais ocasionados por resíduos de malte oriundos de uma cervejaria: um estudo de campo em uma empresa localizada no norte do Brasil**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento De Engenharia Mecânica. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Mecânica, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em : <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/250174>. Acesso em 18 out. 2023

FILLAUDEAU, L. ; BLANPAIN-AVET, P. ; DAUFIN, G. Water, Wastewater and Waste Management in Brewing Industries. **Journal of Cleaner Production**, v.14, Issue 5, p.463-471. 2006. ISSN: 1879-1786. Acesso em: 18 out. 2023

FOSTER, A.; ROBERTO, S. S.; IGARI, A. T. Economia Circular e Resíduos Sólidos: Uma Revisão Sistemática Sobre a Eficiência Ambiental e Econômica. Anais do XVIII **Encontro Anual sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. ISSN: 2359-1048. 2016. Acesso em: 18 out. 2023

GAUTO, M.A; ROSA, G.R. Processos e operações industriais da indústria química. Rio de Janeiro: **Ciência Moderna**, 2011. ISBN: 978-85-399-0016-9. Acesso em 25 nov. 2022.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. Editora Atlas S.A. ISBN 85-224-3169-8. São Paulo, 2002. Acesso em 27 out. 2023.

GÓMEZ, R., B; LIMA, F. V; BOLASELL, M.A.; G; GEA, T.; FERRER, A.S. Respirometric assays at fixed and process temperatures to monitor composting process, **Bioresource Technology**, v. 96, Issue 10, Jul.2005. ISSN: 1873-2976. Acesso em 15 set. 2023.

GOTELLI, N. J; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em ecologia**. 1. ed.: Artmed Editora S.A. ISBN: 978-0-87893-269-6. Porto Alegre, 2011. p.1-527. Acesso em 27 out. 2023.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência & Saúde Coletiva**, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 1503-1510, jun. 2012. ISSN: 1678-4561. Acesso em 21 ago. 2022.

GUEDES, T.A.; MARTINS, A.B.T.; ACORSI, C.R.L.; JANEIRO, V. Projeto de ensino aprender fazendo estatística, **Universidade Estadual de Maringá**, 1-49, 2005. Disponível



em: [https://www.ime.usp.br/~rvicente/Guedes\\_et al\\_Estatistica\\_Descritiva.pdf](https://www.ime.usp.br/~rvicente/Guedes_et al_Estatistica_Descritiva.pdf). Acesso em: 11 jul. 2023

GUO, G.R.; RIBEIRO, A.; OLIVEIRA, F.; SCHUCHARDT, T.; CHEN, Y.; ZHAO, Y. SHEN. Efeito da taxa de aeração, da relação C/N e do teor de umidade na estabilidade e maturação do composto. **Bioresource Technology**, v.112. Mai. 2012, p. 171-178. ISSN: 1873-2976. Acesso em: 15 set. 2023.

HASAN, C. *et al.* EVALUATION OF THE BIOGAS PRODUCTION POTENTIAL FROM BEER MANUFACTURE RESIDUES, 2018. **Anais do 3º Congresso Interamericano de Cambio Climático**, Buenos Aires. 2018. Disponível em: [https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2020/02/Trabajos-tecnicos\\_3CCC\\_.pdf](https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2020/02/Trabajos-tecnicos_3CCC_.pdf). Acesso em 14 out. 2023

HECK, K.; DE MARCO, É. G.; HAHN, A. B. B.; KLUGE, M.; SPILKI, F. R.; VAN DER SAND, S. T. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.1, p.54–59, Campina Grande, Jan. 2013. ISSN: 1807-1929. Acesso em: 15 set. 2023.

HERRMANN, G. ; SOUZA, C. F. V. Use of barley malt pomace in the production of fresh sausage. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.24, 2021. ISSN: 1981-6723 Acesso em 20 out. 2023

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. O. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação, **E&S - Engineering and Science**. v.1, Ed. 5, 2015. ISSN: 2358-5390. Acesso em: 15 set. 2023

HOORNWEG D. ; BHADA-TATA P. **What a waste – a global review of solid waste management**. In: Urban Development Series, 98 p. World Bank, Washington, DC, USA. 2012. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/1a464650-9d7a-58bb-b0ea-33ac4cd1f73c>. Acesso em: 15 set. 2023.

ISMAEL, L. L.; PEREIRA, R. A.; FARIAS, C. A. S.; FARIAS, E. T. R. Avaliação de composteiras para reciclagem de resíduos orgânicos em pequena escala. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. v. 8, n.4, p.28 -39, Mossoró, out-dez 2013. ISSN: 1981-8203. Acesso em: 23 jun. 2023.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Solid Waste Management in São Paulo: the challenges of sustainability. **Estudos Avançados**. v. 25, n.71. São Paulo, 2011. p. 135-158. ISSN: 1806-9592. Acesso em 25 nov. 2023

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V : A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976. ISSN: 1879-3428. Acesso em: 09 mai. 2023.

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. **What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050**. 10. ed. Washington, Dc: The World BANK, 2018. 295 p. (Urban Development Series). Acesso em: 25 jun. 2021. ISBN: 978-1-4648-1347-4. Acesso em: 09 mai. 2023

KIEHL, E. J. Fertilizantes Orgânicos. **Editores Agrônômica Ceres**, 492p.: il. Piracicaba, 1985.

KIEHL, E. J. Manual de compostagem: maturação e qualidade de composto. **EMBRAPA**, São Paulo, n. 4, p. 173, 2004.

KULKARNI, B. N. Environmental sustainability assessment of land disposal of municipal solid waste generated in Indian cities – A review. **Environmental Development**, v.33, Mar. 2020. ISSN: 2211-4653. Acesso em: 25 set. 2023

LACERDA, K. A. P. *et al.* Compostagem: alternativa de aproveitamento dos resíduos sólidos utilizando diferentes modelos de composteiras. **Brasilian Journal of Development**, v.6, n6, 2020. ISSN: 2525-8761. Acesso em 20 out. 2023

LALANDER, C.; NORDBERG, A.; VINNERAS, B. A comparison in product-value potential in four treatment strategies for food waste and faeces—assessing composting, fly larvae composting and anaerobic digestion. **Global change biology. Bioenergy**, v. 10, n. 2, p. 84-91, 2018. ISSN:1757-1707. Acesso em 20 out. 2023

LANA, M. M.; PROENÇA, L., C. Hortaliça não é só salada. Resíduos Orgânicos. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1133862/hortalica-nao-e-so-salada-residuos-organicos>. Acesso em: 05 mai. 2023

LEITÃO, A. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**.. v.1, n.2, Set.2015, p. 149-171. ISSN 2183-3826. Acesso em: 05 mai. 2023.

LERÍPIO, A. A. Gerenciamento de resíduos - **Alternativas de baixo custo para gerenciamento de resíduos**. Itajaí: Univali, 2005.

LIM, L. S.; LEE, L. H.; WU, T. Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 111, p. 262-278, Jan. 2016. ISSN: 1879-1786. Acesso em: 19 ago. 2023

LIMA, R. G. DE S.; MAHLER, C. F.; DIAS, A. C.; LUZ, W. F. DA. Avaliação de novas práticas de compostagem em pequena escala com aproveitamento energético. **Engenharia Sanitaria E Ambiental**, v.22, n.2, p.361–370. Mar-abr. 2017. ISSN: 1809-4457. Acesso em: 20 ago. 2023

LI, L; GUO, X; ZHAO, T; LI, T. Green waste composting with bean dregs, tea residue, and biochar: Effects on organic matter degradation, humification and compost maturity, **Environmental Technology & Innovation**, v.24, Nov.2021. ISSN: 2352-1864. Acesso em: 16 jul. 2023

LINS, E. A. M; PAIVA, S. C; TRINDADE, L. A; CAVALCANTI, F. M; BARBOSA. D. R. T. Uso da compostagem aeróbia no tratamento de resíduos sólidos orgânicos. Anais do **6º Congresso sul-americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade**. Foz do Iguaçu, 2023. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2023/XII-002.pdf>. Acesso em: 27 out. 2023.

LIU, H; LV, M; PENG, Q; SHAN, F; WANG, M. Physicochemical and textural properties of tartary buckwheat starch after heat–moisture treatment at different moisture levels. **Starch – Stärke**, v. 67, p. 276-284. 20 nov. 2014. ISSN:1521-379X Acesso em: 09 set. 2023.

LIXO. *In*: Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa. Maralto Edições, 1999.

LOHRI, C.R.; DIENER, S.; ZABALETA, I.; MERTENAT, A; AND ZURBRÜGG, C. Treatment Technologies for Urban Solid Biowaste to Create Value Products: A Review with Focus on Low- and Middle-Income Settings. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v.16, p.81-130. Fev. 2017. Disponível em : <https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-017-9422-5>. Acesso em: 10 set. 2022.

LOPES, F. F. P; *et al.* **Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde**. Tecnologia em serviços de saúde. Editora ANVISA. Brasília, DF. 2006. ISBN: 85-334-1176-6. Acesso em: 18 ago. 2023.

LUNAG JR, M. N.; BOADO, M. M. M. Performance evaluation of a non-odorous compost barrel for household purposes. **Environmental Research & Technology**, v.4, n.2, p. 184-189, 2021. ISSN: 2636-8498. Acesso em: 07 mar. 2023.

MANU, M. K.; KUMAR, R.; GARG, A. Decentralized composting of household wet biodegradable waste in plastic drums: Effect of waste turning, microbial inoculum and bulking agent on product quality. **Journal of Cleaner Production**, v. 226, p. 233-241, Jul. 2019. ISSN: 1879-1786. Acesso em : 23 jul. 2023

MARCHI, C. M. D. F.; GONÇALVES, I. O. Compostagem: a importância da reutilização dos resíduos orgânicos para a sustentabilidade de uma instituição de ensino superior. Universidade Federal de Santa Maria. **Revista Monografias Ambientais**, v. 19, e1, 2020. , ISSN: 2236-1308. Acesso em 20 nov. 2023

MATHIAS, T. R. S.; MELLO, P. P. M. de; SERVULO, E. E. F. C. Caracterização De Resíduos Cervejeiros. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, 19-22 Out. 2014. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/caracterizacao-de-resduos-cervejeiros-17098>. Acesso em: 25 nov. 2021.

MCINTOSH, K., MD; MARTIN S H, MD; BLOOM, A., MD. Coronavirus disease 2019 (COVID-19). **UpToDate**, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-sul/hu-furg/ensino-e-pesquisa/artigos-cientificos-covid-19/tratamentos/4-corona-virus-up-to-date-31-03.pdf>. Acesso em 04 fev. 2023

MEMON M. Integrated solid waste management based on the 3R approach. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, **12**, p.30– 40. 2010. ISSN:1611-8227.

MONTEIRO J.H.P. *et al.* Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: **IBAM**; 2001. Acesso em 19 set. 2023

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras: Editora UFLA, 625p. 2002. ISBN: 85-87692-33-x. Acesso em 16 nov. 2023

MUSSATTO, S.; DRAGONE, G.; ROBERTO, I. Brewers' spentgrain: Generation, characteristics and potential applications. **Journal of Cereal Science**. v.43 p.1–14, 2006. ISSN: 1095-9963. Acesso em: 16 ago. 2023

NANNONI, F.; SANTOLINI, R.; PROTANO, G. Heavy element accumulation in Evernia prunastri lichen transplants around a municipal solid waste landfill in central Italy. **Waste Management.**, v.43, p.353-362. Set. 2015. ISSN: 1879-2456. Acesso em: 18 jun. 2023

NEVES, L. R. R. DAS; ZAGO, M. A. S. O lixo como passivo ambiental e a política nacional de resíduos sólidos – os potenciais impactos e desafios da cidade de Vitória-ES. **International Journal of Scientific Management and Tourism.** Curitiba, v.9, n.2, p. 1139-1159, 2023. ISSN: 2386-8570. Acesso em 25 nov. 2023

NICOLOSO, R. S.; BARROS, E. C. Manual de dimensionamento e manejo de unidades de compostagem de animais mortos para granjas de suínos e aves. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Embrapa Suínos e Aves.** Concórdia, SC. 2019. ISSN 01016245; 203. Acesso em: 20 out. 2023

NGOC, U.N. ; SCHNITZER, H. Sustainable Solutions for Solid Waste Management in Southeast Asian Countries. **Waste Management**, v.29, p. 1982-1995. Jun. 2009. ISSN: 1879-2456. Acesso em : 17 abr. 2023.

NGUYEN, T.P. ; KOYAMA, M.; NAKASAKI, K. Effect of oxygen deficiency on organic matter decomposition during the early stage of composting, **Waste Management**, v.160, p.43-50, Abr. 2023. ISSN: 1879-2456. Acesso em: 15 set. 2023.

NUNES, M. U. C. Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade. **Circular Técnica, 59 – Embrapa Tabuleiros Costeiros**, v.1, n.1, p 1-7, dez. 2009. ISSN: 1678-1945. Acesso em: 21 ago. 2023

OLIVEIRA FILHO, P. C.; ANDRADE, A. R.; HABERLAND, N. T.; POTTKER, G. S.; SILVA, F. C. B. A importância das áreas verdes em uma cidade de pequeno porte: estudo de caso na cidade de Irati-PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana - REVSBAU**, Piracicaba – SP, v.8, n.1, p.89-99, 2013. Acesso em 21 fev 2024.

OLIVEIRA, N. R.; FILHO, R. A. O. Aplicação dos 3r's da sustentabilidade e seus benefícios econômicos e ambientais. **Revista científica semana acadêmica.** 01 out. 2018. ISSN 2236-6717. Acesso em 23 out. 2023

OLIVEIRA, M. F. **Identificação e caracterização de actinomicetos isolados de processo de compostagem.** 2003. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/7760/000555761.pdf?...1>. Acesso em: 12 mai. 2023.

OPAS/OMS. Toneladas de resíduos de serviços de saúde para COVID-19 expõem necessidade urgente de melhorar sistemas de gerenciamento de resíduos. **Organização Pan-Americana da Saúde.** 2022 Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/1-2-2022-toneladas-residuos-servicos-saude-para-covid-19-expoem-necessidade-urgente>. Acesso em 15 set. 2023

PARANÁ. Ministério Público do Estado do Paraná. Centro de Apoio Operacional às Promotorias de Proteção ao Meio Ambiente. **Nota Técnica - Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos [S.I].** Disponível em: [https://mpma.mp.br/arquivos/ESMP/Nota\\_Tecnica\\_-\\_Compostagem.pdf](https://mpma.mp.br/arquivos/ESMP/Nota_Tecnica_-_Compostagem.pdf). 2023. Acesso em 21 ago. 2023.

PARANÁ (Estado). Resolução Conjunta SEDEST/IAT n° 22/2021 - Define as diretrizes para implementação e operacionalização da responsabilidade pós-consumo no Estado do Paraná e estabelece o procedimento para incorporação da logística reversa no âmbito do licenciamento ambiental no Estado, e dá outras providências. **Departamento de Imprensa Oficial do Estado do Paraná**, 30 de jul. 2021. Acesso em 24 jul. 2023

PARKIN, T.B.; DORAN, J.W.; FRANCO-VIZCAÍNO, E. Field and laboratory tests of soil respiration. In: DORAN, J.W.; JONES, A.; (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. **Madison: Soil Science Society of America**, p.231-245. 1996. ISBN:9780891189442.

PÁSCHOA, J. C. V. Diferentes fontes de carbono em compostagem, utilizando resíduos da filetagem da tilápia. **Editora do Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo**. Boletim técnico n° 9, Alegre, 2022. ISBN: 978-85-8263-578-0. Acesso em: 12 nov. 2023.

PENG X. ; LUOLIN S. ; YANG L. ; SHUN Z. ; GUANZHI Z. ; YONGJUN W. ; ZHENCHAO Y. Pretreatment and composting technology of agricultural organic waste for sustainable agricultural development, **Heliyon**, v.9, Issue 5, China, Mai. 2023. ISSN: 2405-8440. Acesso em: 21 ago. 2023

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Universidade Federal de Viçosa, 56p.,1996.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Ed. UFV, 81 p., il, 21cm. Viçosa - MG, 2007.

PEREIRA NETO, J. T.; LELIS, M. P. N. A Influência da Umidade na Velocidade de Degradação e no Controle de Impactos Ambientais da compostagem. **Anais. Artigo apresentado no XX Congresso ABES – 1999**. Rio de Janeiro-RJ, 10 p.

PEREIRA, V. R.; FIORE, F. A. Fatores influenciadores da segregação de resíduos orgânicos na fonte geradora para a viabilização de sistemas de compostagem. Revisão de literatura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.27, n.4, Jul-Ago 2022. ISSN: 1809-4457. Acesso em: 12 nov. 2022

POELMANS, E.; SWINNEN J. F. M.; A Brief Economic History of Beer’, **The Economics of Beer**, Oxford, 2012. ISBN: 9780191731884. Acesso em: 05 jul. 2023

PREFEITURA MUNICIPAL DE IRATI. **História**. 2024.  
Disponível em: < [https://irati.pr.gov.br/pagina/1\\_Hist%20oria.html](https://irati.pr.gov.br/pagina/1_Hist%20oria.html) > Acesso em 21 fev 2024.

RAJENDRAN, N.; GURUNATHAN, B.; HAN, J.; KRISHNA, S.; ANANTH, A.; VENUGOPAL, K.; SHERLY, P. R. B. Recent advances in valorization of organic municipal waste into energy using biorefinery approach, environment and economic analysis **Bioresource. Technology**., v.337. Out. 2021. ISSN: 1873-2976. Acesso em: 13 ago. 2023

RAZA, S. *et al*. Effect of pH During Composting of Municipal Solid Waste. **Pakistan Journal of Scientific & Industrial Research**, v. 60, n. 2, p. 114–116, 2017. ISSN: 2223-2559. Acesso em: 27 out. 2023

- RECONOMY. Food waste: An opportunity for change. **Recycling Magazine**. Abr. 2020. Disponível em: <https://www.recycling-magazine.com/2020/04/30/food-waste-an-opportunity-for-change>. Acesso em: 04 mai. 2023.
- REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa Microbiana do Solo**. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, Dez. 2007. 40 p. ISSN 1517-5111. Acesso em: 19 mar. 2023
- REN, X.; WANG, Q.; ZHANG, Y.; AWASTHI, M.K. ; HE, Y., LI, R. ; ZHANG, Z. Improvement of humification and mechanism of nitrogen transformation during pig manure composting with Black Tourmaline. **Bioresource Technology**., v. 307, Jul. 2020. ISSN: 1873-2976. Acesso em: 14 set. 2023
- ROCHA, C. H. B.; AZEVEDO, L. P. de. Avaliação da presença de metais pesados nas águas superficiais da Bacia do Córrego São Mateus, Juiz de Fora (MG), Brasil. **Revista Espinhaço**, v. 4, n. 2, p. 33–44, 2015. ISSN: 2317-0611. Acesso em : 09 set. 2023
- SANTOS, D.T.; BERTICELLI, R.; FRITSCH, R.L.C. Saneamento básico no Brasil: um importante alicerce na qualidade de vida. **Ciência & Tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 23-43, ago. 2018. ISSN: 2447-3472. Acesso em : 25 nov. 2023
- SARKODIE, S.A. ; OWUSU, P.A. Impact of COVID-19 pandemic on waste management. **Environment, Development and Sustainability**, v.23, n.5, p.7951–7960. 2021. ISSN: 1573-2975. Acesso em: 17 fev. 2023
- SEQUI, P., Criteri di qualità del compost: la maturazione della sostanza organica. Riciclo di biomasse di rifiuto e di scarto e fertilizzazione organica del suolo. **Patrono Editore**. 1991.
- SHAMSHAD, K.; RAHEEL, A.; SYED, T. R.; NAZIR, A. B.; MUHAMMAD, I. Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives, **Chemosphere**, v.288, Part 1, Fev.2022. ISSN: 1879-1298. Acesso em: 21 mai. 2023
- SCHLOTTFELDT, D. D. **Produção mais limpa (P+L): A compostagem como alternativa no tratamento de resíduos industriais**. São Paulo: UNISA-SP, 2013. Disponível em: <http://xn--segurananotrabalho-evb.eng.br/artigos/compostagem.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2023
- SCHMITZ, J. A. K. **Indicadores biológicos de qualidade do solo**. 2003. 183 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003. Disponível em: [repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11444/1/FB\\_COEAM\\_2017\\_1\\_05.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11444/1/FB_COEAM_2017_1_05.pdf). Acesso em: 18 set 2023
- SIQUEIRA, M. M.; MORAES, M. S. **Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo**. *Ciência & Saúde Coletiva*, São José do Rio Preto, v. 26, n. 1, p. 2115-2122, 05 mai. 2008. ISSN: 1678-4561. Acesso em: 13 jun. 2023.
- SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>). **Comunicado Técnico, 99. Embrapa Agrobiologia**, 2007a. Acesso em: 21 ago. 2023. ISSN 1517-8862. Acesso em: 23 set. 2023

SILVA, J. S. Gestão de resíduos sólidos e sua importância para a sustentabilidade urbana no Brasil: uma análise regionalizada baseada em dados do SNIS. **Boletim regional, urbano e ambiental**, v.12, p.61–70. 2015. ISSN 2177-1847. Acesso em: 05 mai. 2023

SILVA, L. N. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais**. 2007b. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007b. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/2690?mode=full>. Acesso em 21 ago. 2023.

SILVA, R. R.; NAVES SILVA, M. L., CARDOSO, E. L., MOREIRA, F. M. S., CURI, N., ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 34, n.5, p. 1585-1592, 2010. ISSN: 1806-9657. Acesso em: 23 set. 2023.

SILVA, M. S. C.; SILVA, E. M. R.; PEREIRA, M. G.; SILVA, C. F. Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 431-441, dez. 2012. ISSN 2179-8087. Acesso em: 04 jun. 2023

SOLIANI, R. D.; KUMSCHLIES, M. C. G.; SCHALCH, V. A gestão de resíduos sólidos urbanos como estratégia de sustentabilidade. **Revista ESPACIOS**. ISSN 0798 1015, v.40, n. 3. p.9, 2019. Acesso em: 11 nov. 2023

SOUZA, L. A.; CARMO, D. F.; SILVA, F. C., Uso de Microrganismos Eficazes em Compostagem de Resíduos Sólidos Orgânicos de Feira e Restaurante. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 42-54, jul. 2019. ISSN: 2596-1284. Acesso em: 03 nov. 2021.

SOUTO, V. S. A.; LOPES, R. L. Indicadores de Gestão de Resíduos Sólidos e sua Observância Obrigatória Para o Estado do Rio Grande do Norte – Brasil. **Holos**. v.8, 2019. ISSN: 1807-1600. Acesso em 21 set. 2022

SWAIN, N.; MISHRA, S. A review on the recovery and separation of rare earths and transition metals from secondary resources, **Journal of Cleaner Production**, v.220, p.884-898, Mai. 2019. ISSN: 1879-1786. Acesso em: 21 set. 2023

TEIXEIRA, P. C. *et al.*, **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Solos, 230 p. 2011. ISSN 1517-2627. Acesso em 12 out. 2021.

TEIXEIRA, P. C. *et al.*, **Manual de métodos de análise de solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 574 p. 2017. ISBN 978-85-7035-771-7. Acesso em 12 out. 2021.

TEIXEIRA, L. B.; GERMANO, V. L. C.; OLIVEIRA, R. F.; JÚNIOR, J. F. **Processo de Compostagem a Partir de Lixo Orgânico Urbano e Caroço de Açaí**. 2002. Acesso em: 03 nov. 2021. ISSN 1517-211X. Acesso em 12 out. 2021.

TOMBINI, C.; GODOY, J. S.; FANTE, G. ; MELLO, J. M. M.; DALCANTON, F. Utilização do bagaço de malte na alimentação humana: revisão sistemática da literatura. **Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias 2**. Atena Editora. Cap 16, p. 160-192. 09 set 2020. ISBN 978-65-5706-388-0. Acesso em : 17. Mar. 2023.

UNITED NATIONS. As the world's population hits 8 billion people, UN calls for solidarity in advancing sustainable development for all. **United Nations**. 2022. Disponível em: <https://www.un.org/en/desa/world-population-hits-8-billion-people>. Acesso em 16 mai. 2023

UNIVASF (comp.). **Qual a diferença entre lixo orgânico e inorgânico?** 2020. Acesso em: 05 jan. 2022. Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/qual-a-diferenca-entre-lixo-organico-e-inorganico#:~:text=A%20diferen%C3%A7a%20entre%20lixo%20org%C3%A2nico%20e%20inorg%C3%A2nico%20%C3%A9%20basicamente%20a,alum%C3%ADnio%2C%20vidro%20e%20outros%20materiais>. Acesso em: 25 Set. 2022.

VALENTE, Beatriz Simões *et al.* Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de zootecnia**, v. 58, n. 224, p. 59-85, 2009. ISSN: 1885-4494. Acesso em: 12 jul. 2023.

VAVERKOVÁ, M.D.; WINKLER, J.; ADAMCOVÁ, D.; RADZIEMSKA, M.; ULDRIJAN, D.; ZLOCH, J. Municipal solid waste landfill – vegetation succession in an area transformed by human impact. **Ecol. Eng.**, v.129, p. 109-114, Abr. 2019. ISSN: 1872-6992. Acesso em 15 set. 2023

VIEIRA, V. H. A. M.; SANTOS, L. F. DOS. **Novos modelos de compostagem nas cidades: integrando reciclagem, agricultura e moradia**. InstitutoPólis. São Paulo, SP. Set. 2023. ISBN 978-85-7561-099-2. Acesso em: 14 out. 2023.

VIEIRA, M. A. **Caracterização de farinhas obtidas do resíduo da produção de palmito da palmeira real (*Archontophoenix alexandrae*) e desenvolvimento de biscoito fibroso**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Departamento de ciência e tecnologia de alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis. 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89550/238062.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 22 abr. 2023

WANG, C.; WU, M.; PENG, C.; YAN, F.; JIA, Y.; LI, X.; LI, M.; WU, B.; XU, H.; QIU, Z. Bacterial dynamics and functions driven by a novel microbial agent to promote kitchen waste composting and reduce environmental burden, **Journal of Cleaner Production**, v.337, 2022a. ISSN: 1879-1786. Acesso em: 14 set 2023.

WANG, G.; KONG, Y.; YANG, Y.; MA, R.; LI, L.; LI, G.; YUAN, J. Composting temperature directly affects the removal of antibiotic resistance genes and mobile genetic elements in livestock manure, **Environmental Pollution**, Volume 303, 2022b. ISSN: 1873-6424. Acesso em: 15 set. 2023.

WARDLE, D.A.; GHANI, A.A. A critique of the microbial metabolic quotient as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 27, nº 12, p. 1601-1610, 1995. ISSN: 1879-3428. Acesso em 20 nov. 2023

WINDHAM-BELLORD, K. A.; SOUZA, P. B. e, O caminho de volta: responsabilidade compartilhada e logística reversa. **Revista de direito ambiental**, São Paulo, v.63, p. 181-202, jul. 2011.

XIE, S.; TRAN, H.T.; PU, M.; ZHANG, T. Transformation characteristics of organic matter and phosphorus in composting processes of agricultural organic waste: Research trends,



**Materials Science for Energy Technologies**, v.6, 2023. ISSN: 2589-2991. Acesso em: 15 set. 2023

ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. de V., Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. **Engenharia Sanitária E Ambiental**. v.24, n.02, Mar-abr. 2019. ISSN: 1809-4457. Acesso em: 15 set. 2023

ZDUNCZYK, Z.; FLIS, M.; ZIELIŃSKI, H.; WRÓBLEWSKA, M.; ANTOSZKIEWICZ Z.; JUŚKIEWICZ, J.; In vitro antioxidant activities of barley, husked oat, naked oat, triticale, and buckwheat and their influence on the growth and biomarkers of antioxidant status in rats. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v.54, p.4168-4175, 2006. ISSN: 1520-5118. Acesso em : 27. Jun. 2023.

ZHANG, L.; MU, L.; XIONG, Y.; XI, B.; LI, G.; LI, C. The development of a natural heating technology for constructed wetlands in cold climates, **Ecological Engineering**, v.75, p.51-60. Fev.2015. ISSN: 1872-6992. Acesso em 15 set. 2023.

ZHAO, M.; LIU, D.; ZHOU, J.; WEI, Z.; WANG, Y.; ZHANG, X. Ammonium stress promotes the conversion to organic nitrogen and reduces nitrogen loss based on restructuring of bacterial communities during sludge composting **Bioresource Technology**, v.360, Set.2022. ISSN: 1873-2976. Acesso em: 14 set 2023.