

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Lucas de Oliveira Nascimento

**Compostagem e vermicompostagem: revisão da literatura e análise experimental
comparativa**

Juiz de Fora

2024

Lucas de Oliveira Nascimento

Compostagem e vermicompostagem: revisão da literatura e análise experimental
comparativa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitário.

Orientadora: Prof.^a Dra. Fernanda Ribeiro do Carmo Damasceno

Coorientador: Prof. Dr. Samuel Rodrigues Castro

Juiz de Fora

2024

Lucas de Oliveira Nascimento

Compostagem e vermicompostagem: revisão da literatura e projeto prático

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitário.

Aprovado em (dia) de (mês) de (ano).

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Fernanda Ribeiro do Carmo Damasceno – Orientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Otávio Eurico de Aquino Branco
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Jonathas Batista Gonçalves Silva
Universidade Federal de Juiz de Fora

Ma. Gisele Pereira Teixeira
Departamento Municipal de Limpeza Urbana

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me ajudado a chegar até aqui e permitir o encerramento dessa etapa.

Agradeço à minha família por todo o apoio e companheirismo, e simplesmente por ser a melhor família do mundo.

Agradeço aos meus amigos, tanto os que fiz na faculdade quanto os de fora. Com certeza, sem o apoio de vocês essa jornada teria sido muito mais difícil.

Agradeço a todo o corpo docente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) por todos os ensinamentos, em especial à minha orientadora, professora Fernanda Damasceno, pelo conhecimento dividido, dedicação e paciência comigo nesse trabalho, e ao meu co-orientador, professor Samuel Castro, por todo o saber compartilhado.

Agradeço também ao Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) e toda sua equipe pelos aprendizados e análises realizadas.

RESUMO

O aumento do consumo e a produção de bens desenfreada resulta em grandes volumes de resíduos, que em muitas vezes não são descartados corretamente, sobrecarregando os aterros sanitários, e resultando em outros problemas ambientais, como emissão de gases poluentes, contaminação do solo e da água, e necessidade de expansão das áreas destinadas ao lixo. Segundo dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, os resíduos orgânicos correspondem a mais de 50% do total de resíduos sólidos urbanos no Brasil, fazendo a gestão de resíduos sólidos urbanos extremamente desafiadora e necessária. Dois processos muito promissores para reciclagem dos resíduos sólidos urbanos são a compostagem e a vermicompostagem, processos biológicos de decomposição da matéria orgânica de forma aeróbia, e que se diferenciam pela utilização de minhocas como agentes de decomposição, ingerindo matéria orgânica e excretando um material rico em nutrientes, e podem otimizar o processo de estabilização desta matéria orgânica. Sob essa ótica, os objetivos desse trabalho são realizar uma revisão bibliográfica sobre a compostagem e a vermicompostagem no Brasil, utilizando a metodologia PRISMA, contribuindo para o conhecimento e aplicação dessas técnicas, realizando um trabalho prático comparando ambas técnicas em condições controladas, e comparar com os resultados esperados em relação à revisão bibliográfica. Os resultados desta pesquisa indicam que os processos de compostagem e vermicompostagem são alternativas viáveis para a reciclagem de resíduos orgânicos no Brasil, país caracterizado por um clima diversificado. No presente estudo, a vermicompostagem demonstrou desempenho prático superior em comparação à compostagem, ressaltando a necessidade de intensificação das pesquisas na área de vermicompostagem no contexto brasileiro. A contribuição acadêmica de estudos focados na reciclagem de resíduos orgânicos beneficia não apenas a comunidade científica, mas também fomenta a educação ambiental acessível à população em geral.

Palavras-chave: resíduos orgânicos; matéria orgânica; *Eisenia fetida*; gestão de resíduos sólidos.

ABSTRACT

Increased consumption and unrestrained production of goods have resulted in large volumes of waste, which are often not disposed of correctly, overloading landfills and resulting in other environmental problems, such as the emission of polluting gases, soil, water contamination, and the need to expand areas designated for waste. According to data from the National Solid Waste Plan, organic waste accounts for more than 50% of total urban solid waste in Brazil, making urban solid waste management extremely challenging and necessary. Two very promising processes for recycling urban solid waste are composting and vermicomposting, biological processes of organic matter decomposition in an aerobic manner, which differ in that they use earthworms as decomposition agents, ingesting organic matter and excreting material rich in nutrients, and which can optimize the process of stabilizing this organic matter. From this perspective, the objectives of this study are to conduct a literature review on composting and vermicomposting in Brazil, using the PRISMA methodology, contributing to the knowledge and application of these techniques, carrying out a practical study comparing both techniques under controlled conditions, and comparing them with the expected results in relation to the literature review. The results of this research indicate that composting and vermicomposting processes are viable alternatives for recycling organic waste in Brazil, a country characterized by a diverse climate. In the present study, vermicomposting demonstrated superior practical performance compared to composting, highlighting the need to intensify research in the area of vermicomposting in the Brazilian context. The academic contribution of studies focused on the recycling of organic waste benefits not only the scientific community, but also fosters environmental education accessible to the general population.

Keywords: organic waste; organic matter; *Eisenia fetida*; solid waste management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Minhocas da espécie <i>E. foetida</i>	15
Figura 2 – Fases da compostagem	18
Figura 3 – Condições de umidade para o processo de compostagem	19
Figura 4 – Comportamento do pH no processo de compostagem	20
Figura 5 – Fluxograma da recomendação PRISMA	25
Figura 6 – Caixa furada para vermicompostagem	27
Figura 7 – Caixas para compostagem e vermicompostagem empilhadas.....	27
Figura 8 – Relação C/N para variedade de matérias	28
Figura 9 – Pesagem dos materiais para compostagem.....	30
Figura 10 – Minhocas <i>Eisenia fetida</i> e composto orgânico	31
Figura 11 – Montagem das camadas compostagem/vermicompostagem.....	31
Figura 12 – Experimento de densidade aparente	32
Figura 13 – Amostras de composto pós-agitação	33
Figura 14 – Amostras para análise de SV	34
Figura 15 – Diagrama PRISMA para a revisão bibliográfica.....	36
Figura 16 – Caixas de compostagem e vermicompostagem no final do processo.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Estudos por regiões do Brasil	37
Gráfico 2 – Número de artigos por ano.....	37
Gráfico 3 – Temperatura nas caixas.....	39
Gráfico 4 – Valores de pH na primeira batelada.....	40
Gráfico 5 – Valores de pH na segunda batelada	41
Gráfico 6 – Densidade aparente na primeira batelada	42
Gráfico 7 – Densidade aparente na segunda batelada.....	43
Gráfico 8 – Condutividade elétrica nos compostos	45
Gráfico 9 – Porcentagem de sólidos voláteis na vermicompostagem e compostagem.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais parâmetros para o bom desenvolvimento da <i>Eisenia foetida</i>	16
Tabela 2 – Parâmetros mais verificados em trabalhos sobre compostagem de 1999 a 2019 .	16
Tabela 3 – Requisitos para aplicação no solo dos fertilizantes orgânicos simples.....	24
Tabela 4 – Mistura obtida com auxílio de planilha da EMBRAPA	29
Tabela 5 – Número de artigos encontrados	35
Tabela 6 – Umidades (%) durante a segunda batelada.....	47
Tabela 7 – Umidades (%) médias das caixas	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C/N	Relação Carbono/Nitrogênio
CE	Condutividade elétrica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC	Capacidade de troca catiônica
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IN	Instrução Normativa
LAQUA	Laboratório de Qualidade Ambiental
MO	Matéria orgânica
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SV	Sólidos voláteis
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1	COMPOSTAGEM.....	14
3.2	VERMICOMPOSTAGEM.....	15
3.3	PARÂMETROS DE CONTROLE.....	16
3.3.1	Temperatura	17
3.3.2	Umidade	18
3.3.3	pH	19
3.3.4	Relação C/N	20
3.3.5	Granulometria	21
3.3.6	Aeração	21
3.3.7	Substrato	21
3.3.8	Condutividade Elétrica	22
3.3.9	Sólidos Voláteis	22
3.3.10	Densidade Aparente	21
3.4	LEGISLAÇÃO	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
4.2	PARTE EXPERIMENTAL	26
4.3	PARÂMETROS DE CONTROLE DO EXPERIMENTO.....	31
4.3.1	Temperatura	31
4.3.2	Densidade Aparente	32
4.3.3	Condutividade elétrica e pH	32
4.3.4	Sólidos Voláteis	34
4.3.5	Umidade	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5.1	REVISÃO DA LITERATURA	35
5.2	PARTE EXPERIMENTAL	39
5.2.1	Temperatura	39

5.2.2	Densidade Aparente.....	40
5.2.3	pH.....	42
5.2.4	Condutividade Elétrica	44
5.2.5	Sólidos Voláteis	46
5.2.6	Umidade.....	48
5.2.6	Considerações.....	50
6	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
	ANEXO A – ARTIGOS CONSIDERADOS NA REVISÃO DA LITERATURA	57

1 INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos é um desafio que vem exigindo respostas urgentes acerca de formas sustentáveis de destinação e disposição final dos resíduos que possam ser implementadas e concretizadas para que esses resíduos não causem degradação ambiental ou pelo menos amenize esse processo, comprometendo o mínimo possível a qualidade de vida das atuais e futuras gerações (Ramos, 2020). O crescimento populacional desenfreado, os explícitos impactos negativos das atividades mercadológicas, frente à produção de bens e consumo, com aumento do descarte de resíduos sólidos no meio urbano, torna-se nítido o desafio da gestão desses quanto à disposição final (Melo, 2018).

O aumento da geração de resíduos sólidos urbanos se tornou um problema para a gestão das cidades e necessita de formas para seu equacionamento e disposição ambientalmente segura (Santoyo, 2023), e também envolve políticas públicas inovadoras, que incentivam a cooperação intermunicipal e as formas emergentes de governança regional, (Gavalote, 2023).

Um dos principais desafios em relação aos resíduos sólidos no Brasil é a gestão dos resíduos orgânicos, que representam cerca de metade do total de lixo urbano gerado (ABRELPE, 2022). Normalmente, esses resíduos acabam sendo enviados para aterros sanitários, mas existem alternativas de tratamento que permitem aproveitar melhor esse material. Entre as técnicas mais usadas para tratar resíduos orgânicos estão a compostagem e a vermicompostagem. Esses métodos são processos biológicos que decompõem a matéria orgânica, transformando-a em composto ou adubo natural, agregando valor ao resíduo (Sena, 2019).

Ambos os métodos apresentam várias vantagens ambientais, como a redução de resíduos orgânicos em aterros sanitários, a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e a conservação de recursos naturais (Sena, 2019). Ao desviar uma parcela significativa de resíduos orgânicos dos aterros, esses métodos ajudam a prolongar a vida útil dos aterros sanitários, reduzindo a sobrecarga e a necessidade de novas áreas para disposição final de resíduos (Silva et al., 2024).

Deste modo, o conhecimento sobre mecanismos de tratamento de resíduos orgânicos se fazem extremamente urgentes e necessários, compondo parcela intrínseca de toda a problemática ambiental da atualidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é contribuir para a área de gestão de resíduos sólidos, acerca do tratamentos para resíduos orgânicos como a compostagem e a vermicompostagem.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar o estado da arte dos processos de compostagem e vermicompostagem no Brasil;
- b) Comparar, de forma prática, parâmetros durante e após os processos de compostagem e vermicompostagem conforme a análise do estado da arte.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 COMPOSTAGEM

Compostagem é o processo biológico de decomposição da matéria orgânica na presença de oxigênio, temperatura e umidade, gerando composto ou adubo orgânico (Marchi, 2020). Esse processo promove a estabilização da matéria orgânica, em que os nutrientes e minerais presentes nos resíduos orgânicos são facilmente assimilados pelas plantas (Sena, 2019).

O processo de compostagem apresenta diversos benefícios para o meio ambiente. A reciclagem de resíduos orgânicos, a partir do processo de compostagem, pode evitar impactos ambientais negativos, sendo um método barato, se comparado a outras formas de tratamento, além da sua eficiência na redução da quantidade de materiais destinados aos aterros, aumentando sua vida útil, além de diminuir a geração de lixiviado no aterro (Santos, 2014). Ademais, o composto orgânico possui grandes vantagens, como: a melhora das condições físicas, químicas e biológicas do solo; o aumento da porosidade do solo, tornando-o mais arável; aumento da capacidade de retenção de água e ar do solo; assegura a conservação da umidade e protege contra a evaporação, o frio e o calor; dá mais viço às plantas e eleva a produtividade; possibilita a formação de microbiota no solo e reestabelece as condições ecológicas locais (Silva, 2000).

Os principais parâmetros que afetarão a compostagem são: temperatura, umidade, pH, Relação C/N, aeração, tamanho das partículas, tamanho das pilhas e microrganismos envolvidos no processo. No entanto, gerenciar em condições ótimas e correlacionar essas condições entre si não é uma tarefa fácil, pois as matérias-primas possuem características diferentes (Souza, 2020).

A compostagem é realizada em quatro etapas distintas: a primeira etapa corresponde ao início do processo de decomposição da matéria orgânica; a segunda é caracterizada pelas reações bioquímicas mais intensificadas; a terceira é caracterizada pela ocorrência do resfriamento; a quarta corresponde à solidificação, o estágio de maturidade ou humificação, em que o composto por sua vez é mineralizado (Soares, 2021).

3.2 VERMICOMPOSTAGEM

Similar à compostagem, o processo de vermicompostagem promove a oxidação da matéria orgânica através da ação conjunta de minhocas e microrganismos (Dominguez, 1997). É uma tecnologia simples, barata e em ambiente controlado, que resulta em um produto rico em micro e macro nutrientes e hormônios vegetais (Edwards, 1995).

Minhocas da espécie *E. foetida*, conhecidas como “Vermelhas da Califórnia” (Figura 1), têm sido uma das mais utilizadas na vermicompostagem (Antoniolli, 2002). No intestino das minhocas, os restos orgânicos que não foram digeridos, bem como os que não foram assimilados, são expelidos juntamente com as partículas de terra, na forma de um composto orgânico rico em nutrientes, que recebe o nome de coprólito, sendo facilmente assimilável pelas plantas (Edwards, 1995).

Figura 1 – Minhocas da espécie *E. foetida*



Fonte: Biodiesel Brasl, 2013

A tecnologia da vermicompostagem abrange as metas sociais e ambientais do desenvolvimento sustentável (Snel J., 1995) e, embora as minhocas sejam responsáveis pela fragmentação e ingestão dos resíduos, os microrganismos desempenham um papel vital na decomposição da matéria orgânica. A presença de ambos resulta em um processo eficiente de decomposição e transformação do material orgânico (Domínguez, 2004).

A vermicompostagem costuma ser mais rápida do que a compostagem tradicional. Graças à ação das minhocas, que fragmentam e processam os resíduos, o tempo necessário para a decomposição completa é menor, variando de 2 a 3 meses. Já a compostagem tradicional pode variar de 6 a 12 meses, dependendo das condições (Sinha et al., 2010). Além

disso, o vermicomposto oferece maior capacidade de retenção do solo, melhora a diversidade e estabilidade na comunidade bacteriana no solo (Pereira, 2022).

A boa execução de células de vermicompostagem depende de um ambiente adequado para a sobrevivência das minhocas, e alguns parâmetros devem ser avaliados para essa boa execução, como ilustrado na Tabela 1:

Tabela 1 – Principais parâmetros para o bom desenvolvimento da *Eisenia foetida*

Parâmetros	Nível Ótimo	Nível Adequado	Nível Crítico
Temperatura (°C)	25	20-30	<5/>37
Umidade (%)	80-85	70-90	<70/>90
pH	5-6	5-9	<5/>8
Condutividade elétrica (µS.cm-1)	500-800	Até 1200	>1200

Fonte: Gonçalves (2014)

3.3 PARÂMETROS DE CONTROLE

Os parâmetros utilizados para controle dos processos de compostagem e vermicompostagem disponíveis são vários, porém alguns destes são mais citados pela literatura. A Tabela 2 demonstra os parâmetros mais utilizados nestes casos:

Tabela 2 – Parâmetros mais verificados em trabalhos sobre compostagem de 1999 a 2019

Referência	Temperatura	Umidade	pH	MO	C/N	C _{org}	C _{tot}	N	CTC
Baratta Junior e Magalhães (2010)	X		X		X	X		X	
Corrêa, Fonseca e Corrêa (2007)	X								
Cotta <i>et al.</i> (2015)	X	X	X		X		X	X	X
Dorcs-Silva, Landgraf e Rezende (2013)			X	X	X	X		X	X
Fiori, Schoenhals e Follador (2008)	X	X	X	X	X		X	X	
França <i>et al.</i> (2014)	X		X	X	X			X	X
Jahhnel, Melloni e Cardoso (1999)	X		X	X	X			X	
Jordão <i>et al.</i> (2017)	X								
Kolling <i>et al.</i> (2013)								X	
Lima <i>et al.</i> (2018)	X		X						
Lima Junior <i>et al.</i> (2017)	X	X	X		X				
Loureiro <i>et al.</i> (2007)	X	X		X	X	X			
Massukado e Schalch (2010)		X	X	X	X	X		X	X
Melo <i>et al.</i> (2011)			X	X					X
Nord (2013)	X	X	X		X	X		X	
Novaes <i>et al.</i> (2013)	X	X	X	X	X	X		X	X
Paredes Filho e Florentino (2016)		X	X	X	X			X	X
Rodrigues <i>et al.</i> (2015)	X		X		X	X		X	X
Salvaro <i>et al.</i> (2007)	X	X	X						
Silva <i>et al.</i> (2002)			X		X	X		X	X
Souza, Carmo e Silva (2019)	X	X	X						
Veras e Povincli (2004)			X	X	X		X	X	
Total	15	10	18	10	15	8	3	14	9
Frequência (%)	68	45	82	45	68	36	14	64	41

Fonte: Souza (2020)

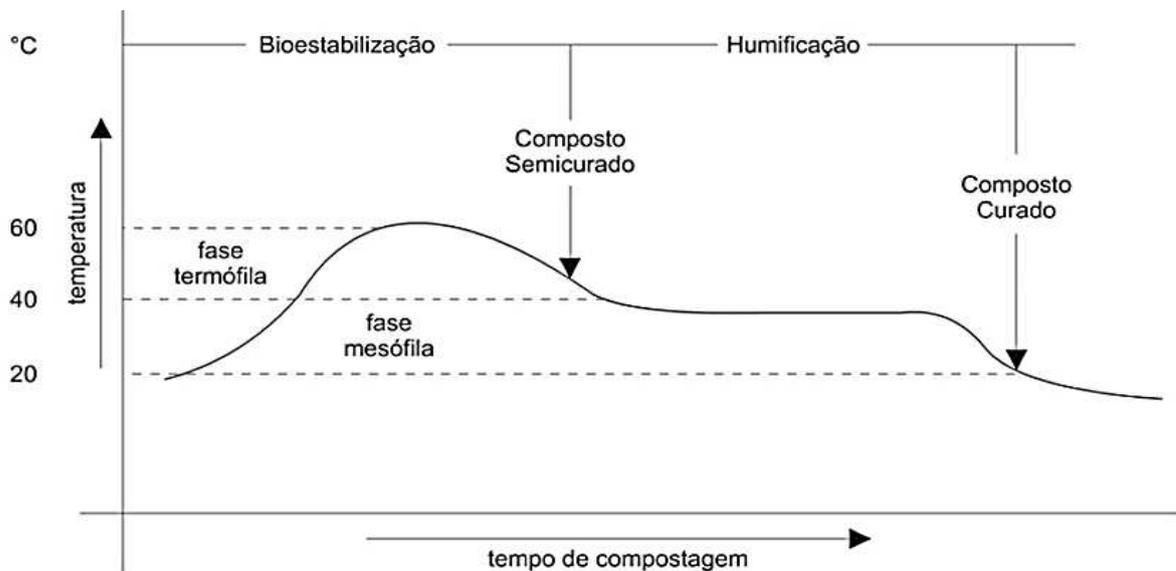
C: Carbono; N: Nitrogênio; MO: Matéria orgânica; CTC: Capacidade de troca catiônica.

3.3.1 Temperatura

A temperatura é o fator mais indicativo do equilíbrio biológico (Pereira; Gonçalves, 2011). Em condições ideais, os processos de compostagem e vermicompostagem são definidos em quatro fases de acordo com suas temperaturas, divididas em:

- a) Fase mesofílica (de aquecimento): fase de aquecimento, com predomínio de bactérias e fungos mesófilos produtores de ácidos. Caracterizada por temperaturas entre 20°C e 40°C , intensa decomposição do material, com formação de água, manutenção do calor e geração de vapor de água (Melo, 2014).
- b) Fase termofílica: fase em que ocorre o pico de crescimento populacional de bactérias heterotróficas, e que a temperatura pode atingir entre 40°C e 60°C devido à grande disponibilidade de compostos de moléculas simples de fácil digestão, tornando a atividade desses microrganismos intensamente ativa. Além disso, ocorre a degradação de substâncias mais resistentes e eliminação de patógenos (Melo, 2014) .
- c) Fase de maturação (mesofílica de resfriamento): fase de degradação das substâncias mais resistentes por microorganismos mesófilos (fungos e actinomicetos), redução da atividade microbiana e, conseqüentemente, queda de temperatura e perda de umidade (Melo, 2014).
- d) Fase de cura: fase de formação do húmus, essencial para a estabilização final do composto. A temperatura do composto se reduz à temperatura ambiente, quando a matéria orgânica está umidificada. (Teixeira, 2005).

As fases da compostagem e da vermicompostagem podem ser observadas na Figura 2:

Figura 2 – Fases da compostagem

Fonte: D'Almeida e Vilhena (2000)

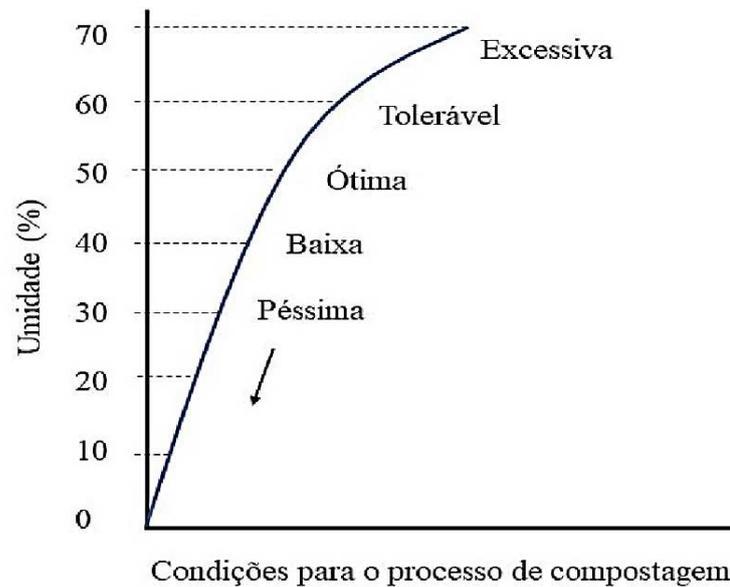
Além disso, o objetivo do controle da temperatura em um sistema de compostagem é manter a temperatura média no interior da leira abaixo dos 65°C por meio de aeração forçada ou do revolvimento (Fialho, 2008).

3.3.2 Umidade

A umidade é um fator importante a ser controlado, pois é a água que promove o transporte de nutrientes dissolvidos, imprescindíveis para as atividades metabólicas e fisiológicas dos microrganismos (Kiehl, 1985). Materiais com 30% de umidade inibem a atividade microbiana, sendo que em um meio com umidade acima de 65% proporciona uma decomposição lenta, condições de anaerobioses e lixiviação de nutrientes (Richard et al., 2002). Além disso, o excesso de umidade reduz a penetração de oxigênio na leira, uma vez que a matéria orgânica decomposta é hidrófila e as moléculas de água se aderem fortemente à superfície das partículas, saturando os seus micro e macroporos (ECO-CHEM, 2004). Quando a umidade estiver baixa, é necessário fazer a irrigação da leira, de preferência no momento do revolvimento, para que a água seja distribuída por igual (Massukado, 2008).

Um teor adequado para os sistemas de vermicompostagem é, também, fundamental para que a atividade das minhocas e dos micróbios, porque as minhocas respiram através da sua pele, e valores de umidade entre 60% e 80% têm sido relatados como o ideal durante a vermicompostagem (Gupta & Carg, 2017). A Figura 3 ilustra as condições de umidade para que o processo de compostagem ocorra de forma satisfatória:

Figura 3 – Condições de umidade para o processo de compostagem

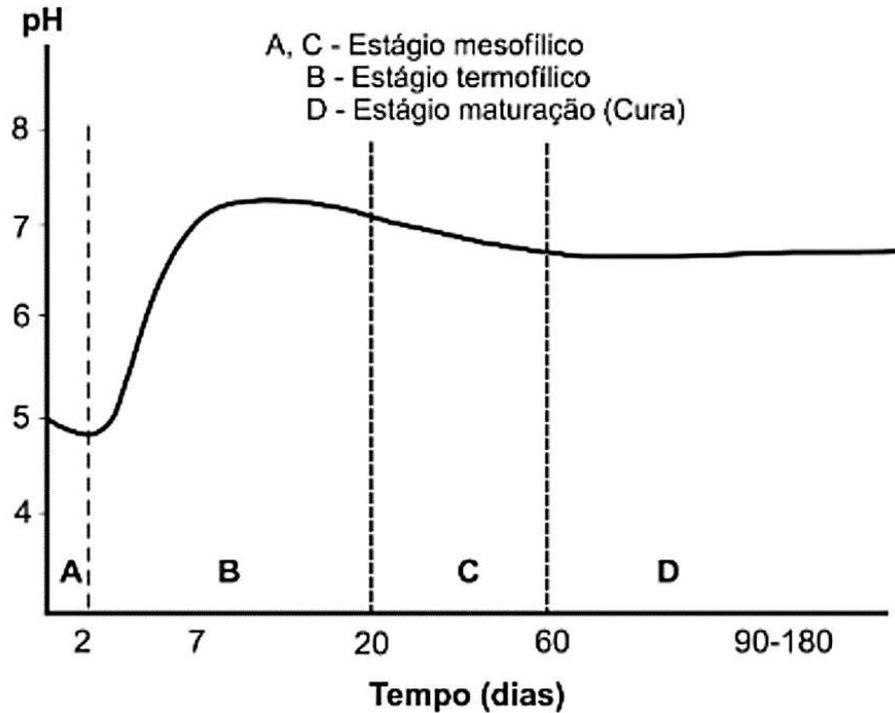


Fonte: Araújo e Emmanoella (2020).

3.3.3 pH

O pH é um parâmetro importante, visto que regula o desenvolvimento dos microrganismos. Os principais materiais de origem orgânica utilizados como matéria-prima na compostagem são de origem ácida, e dessa forma, em geral, uma leira de matéria orgânica tem inicialmente reação ácida (Valente et al., 2009). A faixa de pH entre 5,5 e 9,5 é considerada ótima para os microrganismos responsáveis pela compostagem (Pereira Neto, 2007). Valores extremos de pH no início do processo podem diminuir a eficiência do processo e atrasá-lo em alguns dias, porém no final esse parâmetro situa-se sempre na faixa de 7,0 a 8,5 (Figura 4). No entanto, alterações no pH podem ativar ou quase inativar as enzimas presentes nos microrganismos (Primavesi, 1981).

Figura 4 – Comportamento do pH no processo de compostagem



Fonte: Peixoto (2005)

Apesar da faixa de pH entre 5,5 e 9,5 ser considerada ótima (Pereira Neto, 2007), quando falamos em vermicompostagem é necessário levar em consideração uma faixa de pH adequada para a sobrevivência das minhocas da espécie *Eisenia fétida*, e o pH ideal na vermicompostagem que garante um ambiente favorável para as minhocas e para a decomposição da matéria orgânica varia entre 6,5 e 8,0 (Edwards, 1995).

3.3.4 Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)

A relação C/N é um índice utilizado para avaliar os níveis de maturação de substâncias orgânicas e seus efeitos no crescimento microbológico, já que a atividade dos microrganismos heterotróficos, envolvidos no processo, depende tanto do conteúdo de C para fonte de energia, quanto de N para síntese de proteínas (Sharma et al., 1997). Muitos autores recomendam que, no início do processo de compostagem ou vermicompostagem, a relação C/N deve estar no entorno de 30/1 (30 partes de carbono para 1 parte de nitrogênio). Valores entre 26/1 e 35/1 são considerados favoráveis, porém esses valores representam uma proporção idealizada (Kiehl, 2004). Parte do carbono disponível é de difícil degradação (celulose, hemicelulose e lignina) e é aconselhável que a relação C/N inicial seja maior, pois o carbono biodisponível é inferior ao carbono total mensurado. O balanço de nutrientes na compostagem prediz, portanto, indicações variadas ao início da aplicação da técnica conforme

as características do material a compostar (Valente, 2009). Se a relação carbono/nitrogênio não estiver adequada, isso pode resultar em uma decomposição ineficiente de matéria orgânica (Haug, 1993).

A relação C/N constitui um parâmetro confiável para o acompanhamento da compostagem até se chegar ao produto acabado, porém, para a confirmação de chegada à fase final de decomposição (Kiehl, 2004).

3.3.5 Granulometria

A granulometria, ou dimensão das partículas, é uma importante característica a ser considerada, pois interfere no processo de compostagem. A granulometria do material orgânico desempenha um papel crucial no processo de vermicompostagem. Granulometrias menores apresentam benefícios significativos, aumentando a área superficial específica e permitindo um contato mais amplo entre as minhocas, a comunidade microbiana e o material em decomposição (Lourenço, 2014). Materiais triturados e peneirados, com granulometria fina e maior homogeneidade, garantem uma melhor distribuição de temperatura e menor perda de calor (Nogueira, 2021). Porém, materiais com granulação muito fina geram poucos espaços porosos, dificultando a difusão de oxigênio no interior da leira, favorecendo assim o surgimento de condições anaeróbias (Rodrigues, 2006).

3.3.6 Aeração e revolvimento

A aeração é um parâmetro importante a ser considerado no processo de decomposição da matéria orgânica, sendo um mecanismo capaz de evitar altas temperaturas durante o processo de compostagem, de aumentar a velocidade de oxidação, de diminuir a liberação de odores e reduzir o excesso de umidade de um material em composição (Peixoto, 1988).

O revolvimento é extremamente importante, pois libera o CO₂ produzido e introduz O₂, homogeneizando a massa, aumentando a porosidade do meio e fazendo controle sanitário do material (EMBRAPA, 2014).

3.3.7 Substrato

O substrato, que é o material orgânico inicialmente utilizado nos processos, desempenha um papel fundamental na qualidade e eficiência da produção do vermicomposto.

O esterco bovino tem sido o substrato mais utilizado em leiras de vermicompostagem porque as minhocas se adaptam muito bem a ele, mas também podem ser utilizados esterco de cavalo e de coelho. Além disso, também podem ser aproveitados resíduos vegetais, como capim-elefante, restos de capina, leguminosas, folhas, cascas de vegetais e frutas cozidas ou não, guardanapos de papel e resíduos orgânicos (Aquino, 2009).

3.3.8 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é um parâmetro importante para verificar o grau de qualidade do composto, refletindo sua salinidade, que se refere à concentração de sais dissolvidos (Haynes, W.M.). A presença de sais dissolvidos, mesmo em pequenas quantidades, pode aumentar significativamente a condutividade elétrica de soluções orgânicas, devido à dissociação dos sais em íons que facilitam a condução de corrente (Kiehl, 1998). Na legislação brasileira, não se encontram referências sobre os valores mínimos ou máximos de condutividade elétrica em compostos orgânicos, porém, valores de CE < 2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ são ideais para desenvolvimento vegetal (Kuba, 2008).

O aumento da salinidade em soluções que contêm compostos orgânicos pode ter diversos efeitos, especialmente em relação à condutividade elétrica, à disponibilidade de nutrientes, e ao impacto em sistemas biológicos (Kiehl, 1998).

3.3.9 Sólidos voláteis

Sólidos voláteis são usados para quantificar a fração da matéria orgânica suscetível à biodegradação (Bernal, 2009). O monitoramento dos sólidos voláteis possibilita acompanhar a degradação dos resíduos durante o processo de compostagem. Ao final do período do experimento, os teores de sólidos voláteis tendem a diminuir à medida que a degradação da matéria orgânica avança (Queiroz, 2007). Um processo de compostagem é considerado eficiente se apresentar redução média do teor inicial de sólidos voláteis de 40% (Pereira Neto, 2007).

3.3.10 Densidade aparente

Densidade aparente é um parâmetro de extrema importância para análise do composto oriundo dos processos de compostagem e vermicompostagem, pois é relacionada ao nível de

compactação do composto. Quanto maior for a densidade aparente, maior será sua compactação, menor será a estruturação e a porosidade (Pereira, 2021). A densidade aparente adequada promove uma maior atividade microbiana dentro do sistema de compostagem, pois proporciona uma distribuição uniforme de ar, água e nutrientes essenciais aos microorganismos envolvidos no processo de decomposição. Uma densidade muito baixa pode resultar em uma oxigenação excessiva, levando à perda de nutrientes por volatilização e à desaceleração da decomposição. Por outro lado, uma densidade muito alta pode restringir a circulação de ar e água, resultando em condições anaeróbias que favorecem a produção de odores desagradáveis e a formação de subprodutos indesejáveis, como metano e sulfeto de hidrogênio (Edwards, 2004). Quando a densidade aparente é menor que 400 kg/m^3 , é considerada como uma baixa densidade aparente (Bernal, 2009).

3.4 LEGISLAÇÃO APLICADA

Quando se fala em legislação para resíduos sólidos no Brasil, a diretriz básica é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), aprovada pela Lei Federal 12.305, de 02 de agosto de 2010, que é considerada um Marco Legal na regulação de todo o setor de resíduos do país. A PNRS marca o início da integração da União, dos Estados e Municípios com o setor produtivo e a sociedade em geral na busca de soluções para os problemas relativos à gestão dos resíduos sólidos (Marchi, 2020). A responsabilidade compartilhada promulgada pela PNRS propõe que todos os agentes, sociedade, empresas e governo sejam responsáveis pela gestão ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. A PNRS também presume a prevenção e a redução na geração de resíduos, o reuso, a coleta, a segregação, o tratamento e a disposição final de forma adequada. A PNRS incentiva o reaproveitamento de resíduos orgânicos como uma alternativa sustentável para reduzir o volume dos resíduos encaminhados a aterros sanitários. É importante destacar que a busca por diretrizes legais com vistas para estabelecer de procedimentos para o descarte de RSU cujo foco seja reduzir os impactos causados ao meio ambiente, de modo que possam ser seguidos em todo o território nacional, e que contemplem as premissas basilares do desenvolvimento sustentável (Nogueira, 2020).

De forma complementar à PNRS, a Resolução nº 481, de 2017, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle do processo de compostagem, definindo padrões de qualidade para compostos orgânicos, inclusive limites para metais pesados, contaminantes e patógenos, além da regulação da aplicação de compostos orgânicos em solos agrícolas.

A Instrução Normativa (IN) nº 61, de 8 de julho de 2020 (Brasil, 2020), estabelece regras sobre definições, exigências, especificações e mais parâmetros de fertilizantes orgânicos. É um instrumento que norteia sobre critérios de registro, produção e manuseio, rotulagem, e principalmente, controle de qualidade física, química e microbiológica dos insumos. Os fertilizantes são divididos em subcategorias, e as mesmas definem padrões para fertilizantes orgânicos. Os compostos obtidos na parte prática deste trabalho, segundo a IN, são fertilizantes orgânicos simples sólidos, e, para utilização no solo e comercialização, necessitam seguir os parâmetros mostrados na Tabela 3:

Tabela 3 – Requisitos para aplicação no solo dos fertilizantes orgânicos simples

Orgânico simples processado	Umid. (% máx)	PH	C (% min.)	N total (% min.)	CTC CTC/C	
					(% min.)	
Húmus de minhoca	50	≥ 6	10	0,5	Conforme Declarado	
Estercos e camas	40	Conforme Declarado	20	1		
Tortas e farelos vegetais			35	5		
Turfa			15	0,5		
Linhita			20	0,5		
Leonardita			25	0,5		
Vinhaça			3	-		
Parâmetros de referência para outros fertilizantes orgânicos simples			15	0,5		

Fonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Pela Tabela, é possível observar a diferença de padrões para compostos orgânicos com diferentes matérias-primas, como por exemplo, a necessidade de mais umidade (% máx) para os compostos oriundos de vermicompostagem. A expressão “conforme declarado” se refere à necessidade de que as especificações e características dos compostos orgânicos estejam devidamente documentadas e declaradas pelo produtor ou fornecedor. Isso inclui aspectos como composição, origem dos materiais, e níveis de nutrientes e contaminantes.

A Lei nº 12.651/2012 do Código Florestal também se destaca, pois regula o uso e a proteção de vegetação nativa, incluindo o uso de resíduos orgânicos na recuperação de áreas degradadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

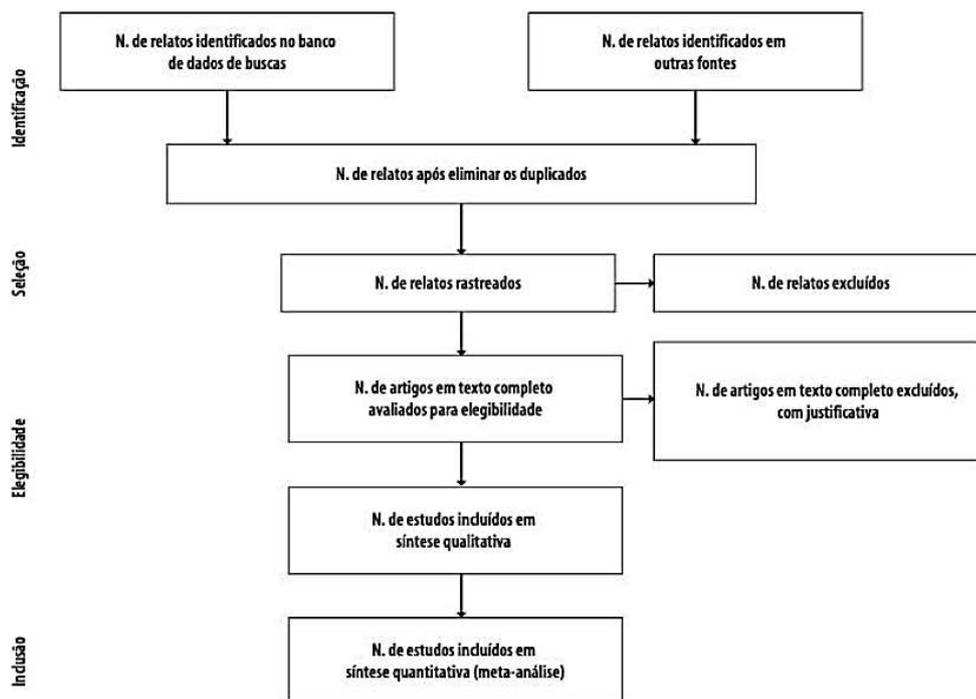
No presente trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica da literatura para apresentar os principais cenários em que ocorrem os processos de compostagem e

vermicompostagem no Brasil. O objetivo dessa revisão bibliográfica é responder à pergunta: “Qual é o estado da arte quando se fala em compostagem e vermicompostagem no Brasil?”.

A tipologia da revisão é a recomendação *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), que se enquadra como um estudo bibliográfico, que por meio da análise de materiais já elaborados busca novas conclusões (Moher, 2015). Desenvolvida por um grupo internacional de especialistas em revisão sistemática e meta-análise, a PRISMA foi publicada pela primeira vez em 2009 e revisada em 2020 para refletir avanços metodológicos e práticas contemporâneas. Para isso, foram utilizados artigos de periódicos e de eventos, dissertações, teses, e materiais eletrônicos de órgãos e governamentais, intergovernamentais, e institutos de pesquisa (Galvão, 2022).

A recomendação PRISMA segue um conjunto de diretrizes divididas em 4 categorias: Identificação, Seleção, Elegibilidade e Inclusão (Figura 5).

Figura 5 – Fluxograma da recomendação PRISMA



Fonte: Moher (2015).

A recomendação PRISMA consiste em um *checklist* e um fluxograma de quatro etapas, com o objetivo de ajudar os autores a melhorarem o relato de revisões sistemáticas e meta-análises (Moher et al., 2009).

A plataforma escolhida para a obtenção dos estudos foi *Web of Science*, por sua vasta disponibilidade de conteúdo interdisciplinar. A seleção dos artigos foi feita entre os dias 04 e 09 de março de 2024. Foi escolhido o intervalo de tempo de 5 anos, pois um período de 5

anos é frequentemente utilizado em pesquisas acadêmicas e estudos de mercado porque proporciona um equilíbrio entre a profundidade da análise e a atualidade dos dados.

Foram realizadas três buscas na plataforma, com a combinação de termos. Os termos utilizados foram “Composting”, “Vermicomposting” e “Brazil”, e estes foram combinados nas buscas, sendo buscadas as seguintes combinações: “Composting AND Brazil”, “Vermicomposting AND Brazil” e “Composting AND Vermicomposting AND Brazil”.

Foi utilizado o *software* Microsoft Excel para a extração e organização dos dados dos artigos em planilha eletrônica, de acordo com o ordenamento: autores, título do artigo, pesquisadores e ano de publicação. Essas informações são extremamente necessárias segundo o modelo PRISMA para um melhor trabalho com os dados. A numeração dos artigos foi feita de acordo com a ordem que eles foram encontrados na plataforma *Web of Science*.

4.2 PARTE EXPERIMENTAL

O projeto foi realizado no Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), localizada na Faculdade de Engenharia da UFJF, em Juiz de Fora, Minas Gerais.

O experimento envolveu os fenômenos de compostagem e vermicompostagem em caixas plásticas empilhadas, segundo as mesmas condições. Cada caixa tem volume de 15 L, com dimensões de: 43x35x34cm. As caixas foram previamente furadas, para que ocorra a passagem do chorume para a caixa de nível inferior, como ilustra a Figura 6:

Figura 6 – Caixa furada para vermicompostagem



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Foram criados sistemas com duas caixas cada, sendo a caixa superior o recipiente em que ocorrem os processos de compostagem e vermicompostagem, e a inferior um recipiente de coleta de chorume. Por isso, as caixas superiores têm pequenos furos, para auxiliar na deposição desse chorume, como mostrado na Figura 7:

Figura 7 – Caixas para compostagem e vermicompostagem empilhadas



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

O experimento foi conduzido em duas bateladas. Em cada batelada, tanto a compostagem quanto a vermicompostagem foram realizadas em triplicata, utilizando 3 sistemas para compostagem e 3 sistemas para vermicompostagem, totalizando 6 sistemas por batelada. Cada batelada teve uma duração de 72 dias, conforme descrito por Rynk (1998), que destaca que o processo pode variar entre 60 e 90 dias para alcançar a maturação ideal.

Para comparação entre os sistemas de compostagem e vermicompostagem, os sistemas foram colocados sob as mesmas condições. Todos os seis sistemas receberam a mesma quantidade de substrato, a mesma composição, e o mesmo local, sendo esse o LAQUA Anexo, localizado na Faculdade de Engenharia da UFJF.

Nos sistemas de vermicompostagem, foram inseridas minhocas da espécie *Eisenia andrei*, conhecidas popularmente como minhocas californianas. As minhocas californianas são mais utilizadas em processos de vermicompostagem devido à sua maior resistência às variações ambientais (Domínguez et al., 2010).

Foi considerada a utilização de 60% do volume de cada caixa reservada para os processos de compostagem e vermicompostagem, para facilitar o revolvimento da massa, bem como o manuseio e controle do material.

O revolvimento ocorreu semanalmente, como indicado para compostagem e vermicompostagem em caixas empilhadas por Edwards (1995).

Para o cálculo de quantidade e variação de material a ser compostado, foi utilizada a planilha da Embrapa que auxilia na escolha dos alimentos e na sua proporção em massa para o alcance da Relação C/N desejada, como ilustram a Figura 8 e a Tabela 4:

Figura 8 – Relação C/N para variedade de matérias

Embrapa Cálculo de compostagem					
Considerações sobre o cálculo de compostagem	Cálculo de composto formulado com DOIS materias	Cálculo de composto formulado com TRÊS materias	Tabela de materiais	Cálculo de misturas	Determinação dos valores de densidade úmida e do teor de matéria seca
Material de origem vegetal					
Nome	% C	% N	C:N	Fonte	
Alface	33,8	2,9	11,7	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Algodão	41,8	0,1	596,9	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Bagaco de cana	42,4	0,5	84,7	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Beterraba	37,2	1,6	24,0	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Braquiária	40,2	0,7	57,4	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Capim Elefante	39,2	1,1	35,7	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Casca de café	43,1	1,7	25,4	Carmo, 2011.	
Casca de café	42,0	3,0	14,0	Pinheiro et al., 2013.	
Casca de café (lavador)	41,5	2,5	16,6	Carmo, 2011.	
Casca de café em coco	44,1	2,1	21,0	Carmo, 2011.	
Casca de coco	18,2	1,7	10,7	Carmo, 2011.	
Casca de pinus	45,8	0,4	114,5	Pinheiro et al., 2013.	
Casca de pinus (a)	46,6	0,7	66,6	Carmo, 2011.	
Casca de pinus b	51,4	0,6	85,7	Carmo, 2011.	
Fibra de coco	48,2	0,7	68,9	Carmo, 2011.	
Fibra de coco	45,4	0,4	113,5	Pinheiro et al., 2013.	
Folha Flemingea	44,7	2,7	16,4	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Glicíndia 1 (Caule+pecíolo+folíolo)	43,9	2,6	16,9	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Glicíndia 2 (pecíolo+folíolo)	44,4	3,7	12,1	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Glicíndia 3 (Caule)	43,2	1,3	32,7	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Glicíndia 4 (pecíolo)	42,0	1,3	32,3	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Glicíndia 5 (folíolo)	44,0	3,5	12,6	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Palha de Bambu	38,2	1,5	25,3	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Pergaminho de café	45,1	0,6	75,2	Carmo, 2011.	
Rúcula	34,0	3,6	9,5	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Serragem	48,2	0,3	160,7	Carmo, 2011.	
Serragem	44,6	0,3	148,7	Pinheiro et al., 2013.	
Serragem branca	43,9	0,2	253,6	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Serragem vermelha	47,3	0,2	290,5	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Tephrosia	42,0	1,3	31,8	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	
Titonia	38,6	2,9	13,2	Amostras analisadas na Embrapa Agrobiologia	

Fonte: EMBRAPA, 2021.

Tabela 4 – Mistura obtida com auxílio da planilha

Mistura de TRÊS materiais				
	Proporção (%)	% C	% N	C: N
Material 1	50	48,2	0,3	160,7
Material 2	20	37,2	1,6	23,3
Material 3	30	33,8	2,9	11,7
Mistura 1+2+3		41,7	1,3	31,1

Fonte: Adaptado de EMBRAPA, 2024.

A mistura de três materiais foi obtida com:

- Material 1 (50%): Serragem;
- Material 2 (20%): Beterraba;
- Material 3 (30%): Alface.

Essa mistura foi escolhida devido à facilidade de obtenção dos recursos, além da relação carbono/nitrogênio ser de 31,1. Este valor está entre a faixa recomendada pela

EMBRAPA (2017), que cita que a relação carbono/nitrogênio (C/N) inicial ideal é de 25-35:1. O alface e a beterraba são ricos em nitrogênio, em contraponto com a serragem, que é rica em carbono e funciona como agente estruturante (Tiquia & Tam, 2002).

Após a definição da proporção de materiais, e considerando que 60% da capacidade das caixas seriam utilizadas, chegamos à massa de cada um dos materiais para cada caixa:

- Material 1 (50%): Serragem – 400g;
- Material 2 (20%): Beterraba – 160g;
- Material 3 (30%): Alface – 240g;

A montagem se deu por camadas, como sugerido por Domínguez (2010) e Edwards (1995). Essa montagem é recomendada para otimização do processo e facilitação da movimentação das minhocas. Os materiais foram divididos em duas porções e foram montadas sucessivas camadas de alface, beterraba e serragem, como ilustra a Figura 9:

Figura 9 – Pesagem dos materiais para compostagem



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Foram adicionados 200g de serragem, 120g de alface e 80g de beterraba em cada camada, totalizando duas camadas, tanto nas caixas para compostagem quanto para as de vermicompostagem.

A beterraba foi cortada em cubos com arestas de aproximadamente 12 mm, e a serragem e a alfaca foram distribuídas de forma homogênea nas caixas. No caso das caixas de vermicompostagem, inicialmente foram adicionados 200g de composto orgânico, proveniente de um processo prévio de compostagem, juntamente com minhocas da espécie *Eisenia Fetida*, popularmente conhecidas como minhocas californianas. Esse composto foi introduzido junto com as minhocas para facilitar sua adaptação ao novo ambiente. Aproximadamente 50 minhocas foram colocadas em cada caixa, conforme ilustrado nas Figura 11:

Figura 10 – Minhocas *Eisenia fetida* e composto orgânico



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Figura 11 – Montagem das camadas compostagem/vermicompostagem



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

4.3 PARÂMETROS DE CONTROLE DO EXPERIMENTO

Os parâmetros escolhidos para avaliação dos processos de compostagem e vermicompostagem neste trabalho foram definidos, pela ampla utilização dos mesmos em

trabalhos que avaliam compostos orgânicos (como ilustrado na Tabela 2), e pela disponibilidade das análises no LAQUA (UFJF)

4.3.1 Temperatura

A medição de temperatura foi realizada três vezes por semana, às segundas-feiras, quartas-feiras e sextas-feiras, no mesmo horário, às 14h. Na primeira batelada, a medição da temperatura foi feita com termômetro de mercúrio, e na segunda batelada essa medida foi feita com termômetro digital, com o objetivo de melhora da acurácia dos dados. O revolvimento foi feito a partir do décimo dia, como sugerido na cartilha da Embrapa, e feito semanalmente, para dissipar a temperatura, repetido semanalmente em todas as caixas. Também foi obtida via Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) a temperatura na Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, para auxiliar na compreensão dos resultados.

4.3.2 Densidade aparente

Foram realizados experimentos para determinação da densidade aparente do composto formado nas duas bateladas. Todos os experimentos deste trabalho foram realizados no LAQUA UFJF.

As amostras foram colocadas até certa altura do béquer, sem a realização de compactação. Após atingir a altura desejada, foi realizada a marcação da mesma. Em seguida, a massa de composto foi pesada em balança, e a vidraria foi preenchida por água até a marcação, obtendo-se o volume de líquido em mL. Com os dados de massa e volume, foi possível calcular a densidade aparente dos compostos. As análises foram realizadas de acordo com padrões de determinação de densidade aparente da ISO 697 (1975). O processo é mostrado na Figura 12:

Figura 12 – Experimento de densidade aparente



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

4.3.3 Condutividade elétrica e pH

Os experimentos realizados para obtenção dos valores de pH e condutividade elétrica (CE) também foram realizados no LAQUA UFJF. Foram pesados 10g de amostra em um béquer de 250 mL, seguindo a adição de 100mL de água deionizada com o auxílio de uma proveta. Em seguida, as amostras passaram por processo de agitação com auxílio do agitador magnético por 30 minutos. Após esse período, o líquido foi transferido para 2 béqueres (uma para obtenção dos valores de pH, outro para obtenção dos valores de CE), e as amostras ficaram em repouso por 60 minutos para realização das leituras. Posteriormente, foram realizadas as leituras de pH e condutividade elétrica, no pHmetro e no condutivímetro, respectivamente, como ilustrado na Figura 13. As análises foram realizadas seguindo a metodologia de Tedesco et al. (1995).

Figura 13 – Amostras de composto pós-agitação



Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

4.3.4 Sólidos voláteis

Para a análise de porcentagem de Sólidos Voláteis (SV), foram utilizados aproximadamente 4g da amostra seca da amostra de umidade e foi realizada a calcinação da amostra em um forno mufla a uma temperatura de 550°C. A análise foi realizada por método seguindo-se o manual: *Standard methods for the examination of water and Wastewater - American Public Health Association (APHA, 1992)*. A Figura 14 ilustra sobre esse tipo de análise:

Figura 14 – Amostras para análise de SV

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

4.3.5 Umidade

Para a análise de umidade, foram utilizados aproximadamente 10g de amostra e foi realizada a calcinação em 65°C até obtenção do peso constante, de acordo com a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Foram realizadas análises durante a operação das caixas com intuito de averiguar se a umidade das caixas estava dentro dos parâmetros, principalmente em relação à umidade necessária para sobrevivência das minhocas na vermicompostagem, e análises no final do processo, para avaliação do composto gerado. A umidade foi controlada semanalmente com borrifos de 10 mL de água seguido de revolvimento, para manutenção de umidade ótima (Edwards, 2010).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo o proposto na metodologia, foram realizadas três consultas com combinações de diferentes termos na plataforma *Web of Science*, no intervalo de 2020 a 2024. Foi escolhido o intervalo de tempo de 5 anos, pois um período de 5 anos é frequentemente utilizado em pesquisas acadêmicas e estudos de mercado porque proporciona um equilíbrio entre a profundidade da análise e a atualidade dos dados. A primeira busca com os termos citados na Tabela 5 mostra o número de artigos encontrados neste período:

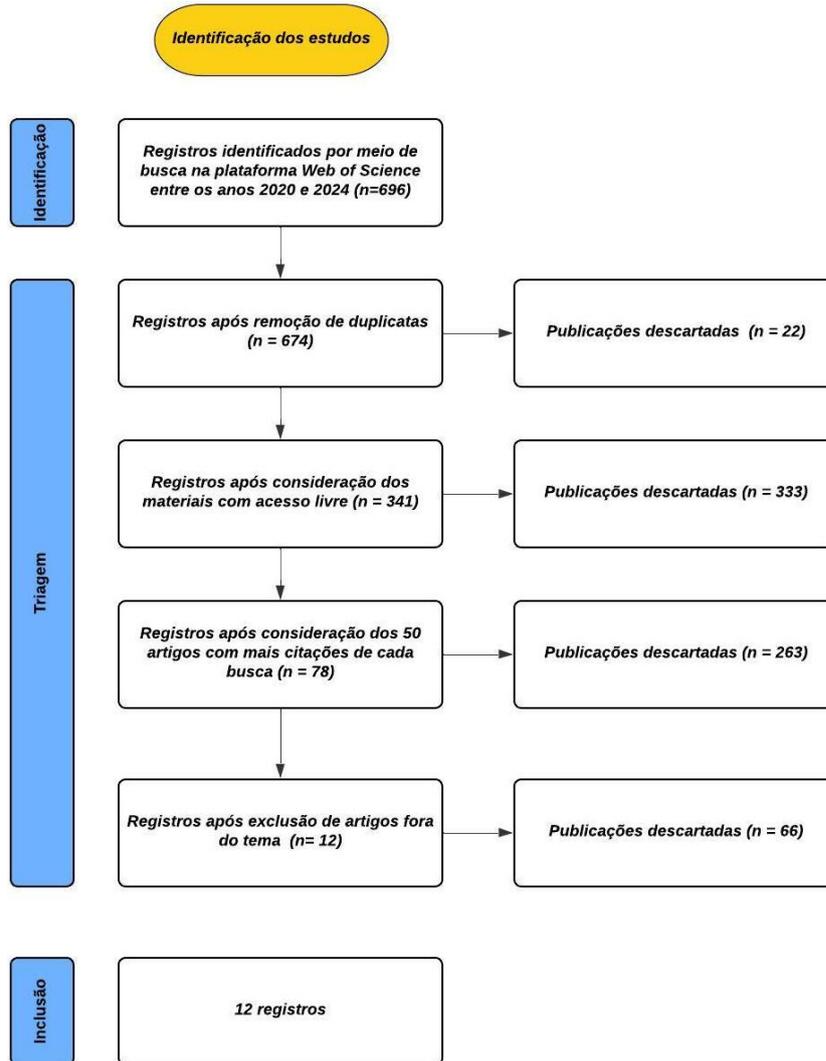
Número de artigos encontrados		
Busca	Termos	Número de artigos encontrados
1	Composting + Brazil	645
2	Vermicomposting + Brazil	34
3	Composting + Vermicomposting + Brazil	17
Total		696

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

As buscas na plataforma escolhida evidenciaram um número extremamente superior de publicações sobre o processo de compostagem em relação ao processo de vermicompostagem, o que indica maior necessidade de estudos para essa área.

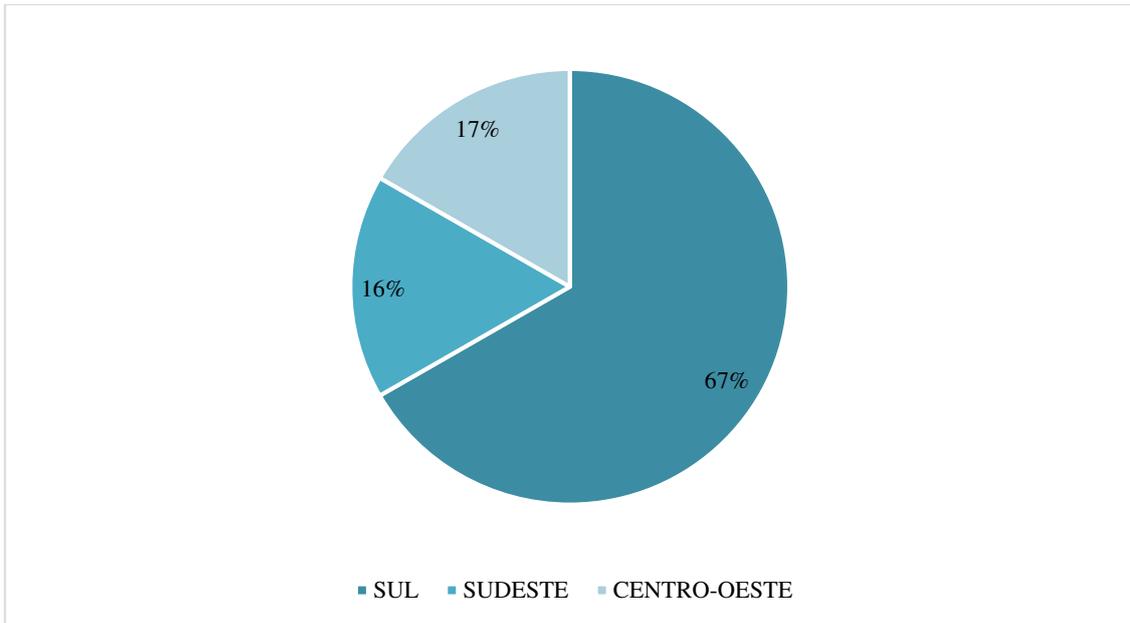
O primeiro filtro aplicado foi para a remoção de artigos em duplicata, que diminuiu o número total de artigos para 674. Em seguida, os resultados foram de acordo com o número de artigos com acesso aberto disponível, que reduziu o número total de artigos para 341. Em seguida, foram considerados os 50 artigos com maior número de citações de cada busca, reduzindo o número total de artigos para 78. A próxima etapa foi a exclusão de artigos que fugiam do tema, resultando em 12 artigos elegíveis para esta revisão, como mostrado na Figura 15:

Figura 15 – Diagrama PRISMA para a revisão bibliográfica



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

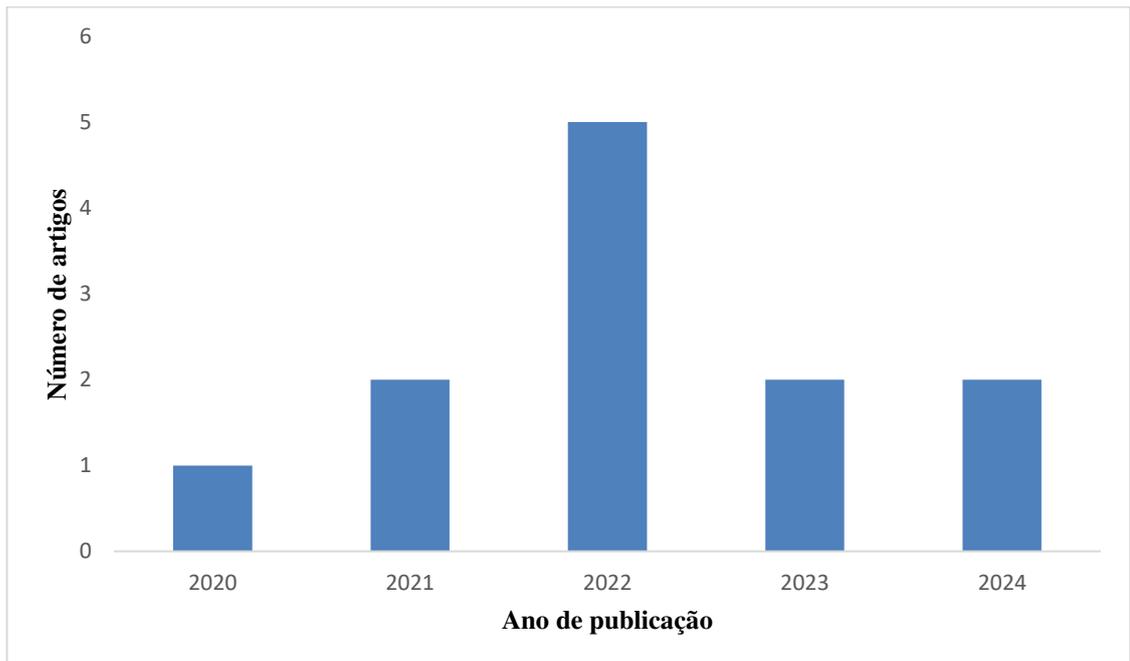
Por considerar a palavra-chave “Brazil” nas buscas, todos os artigos incluídos nos registros finais desta revisão bibliográfica foram produzidos no Brasil. No Gráfico 1, é possível ver a divisão desses artigos por região do nosso país:

Gráfico 1 – Estudos por região do Brasil

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A região Sul teve a maior predominância em geração de materiais no corte temporal feito, com 67% das publicações.

Também foi possível categorizar o número de artigos por ano, o que pode ser visto no Gráfico 2, que mostra que 2022 foi o ano mais prevalente de publicações neste corte:

Gráfico 2 – Número de artigos por ano

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Dos 12 artigos incluídos nesta revisão, 7 são de caráter qualitativo, 4 de caráter quantitativo e 1 é também, uma revisão de literatura. Destes 12 artigos, 6 têm foco na comparação entre os dois processos, 5 são focados na vermicompostagem e 1 é focado apenas na compostagem, o que sugere interesse em compreender melhor os cenários em que os processos de compostagem e vermicompostagem ocorrem no Brasil. A busca acaba levando à alguns resultados que não necessariamente comparam as duas técnicas, porém, informações sobre compostagem são frequentemente utilizadas para descrever a vermicompostagem, o que pode levar à estes resultados nas plataformas de busca. Os estudos de caráter quantitativo permeiam por diferentes áreas, utilizando os processos de compostagem e vermicompostagem de diferentes formas, o que indica o interesse em ambos processos e seus benefícios em uma gama de áreas correlatas. Um dos estudos utiliza dos dois processos para estabilização de efluente urbano e obtém melhores resultados no processo de vermicompostagem, citando a capacidade das minhocas da espécie *Eisenia fétida* de neutralizar metais pesados. Além disso, há um estudo de comparação entre os dois processos para produção de mudas de eucalipto que equipara os dois processos em relação a essa produção. Ademais, há comparação do processo de vermicompostagem com diferentes vertentes do processo de compostagem, como a compostagem aerada e a compostagem estática, que recomendam fortemente o processo de compostagem aerada em relação aos outros.

Os outros artigos de caráter qualitativo elucidam sobre as oportunidades e barreiras da implementação de diferentes vertentes do processo de compostagem nas cidades, inclusive a vermicompostagem. Além disso, indicam os processos de compostagem e vermicompostagem como soluções práticas para valorização sustentável de coprodutos e reciclagem e reaproveitamento de resíduos suínos.

Os artigos também discutem amplamente parâmetros de melhoria para os processos de compostagem, desde a adição de diferentes microrganismos até o fracionamento dos compostos em diferentes proporções no solo.

As palavras-chave mais utilizadas nos estudos são: “compostagem” “vermicompostagem”, “*Eisenia andrei*”, “agricultura” e “gerenciamento de resíduos”.

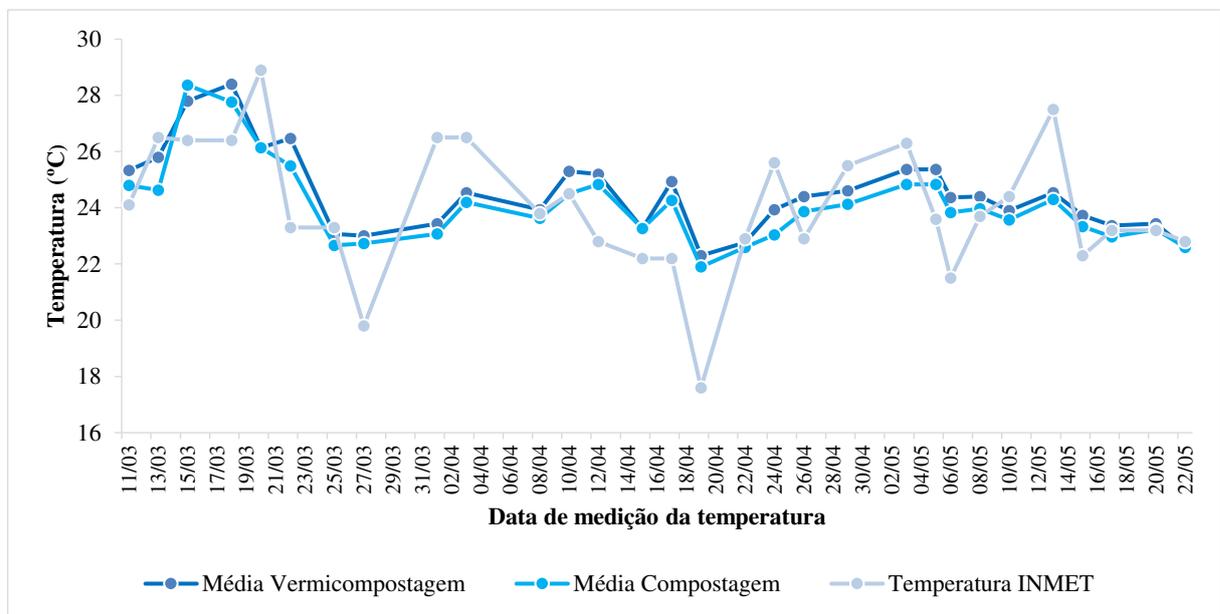
Os artigos também citam os principais desafios e problemas que os processos de compostagem enfrentam no Brasil, como a falta de incentivo fiscal, a baixa conscientização e conhecimento teórico da população e a falta de infraestrutura e equipamentos adequados para o tratamento de resíduos orgânicos em larga escala. (Silva et al., 2024).

5.2 PARTE EXPERIMENTAL

5.2.1 Temperatura

Como o experimento ocorreu em triplicata, foram realizadas as médias das medições por dia, tanto para as caixas de compostagem quanto para as de vermicompostagem. Ocorreram pequenas variações de temperatura de uma composteira para outra, porém pode-se observar um padrão no aumento e diminuição das temperaturas, como ilustrado no Gráfico 3:

Gráfico 3 – Temperaturas nas caixas na segunda batelada



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

É possível observar, em todo o período, que a temperatura apresentou comportamento semelhante nos processos de compostagem e vermicompostagem. A similaridade entre os valores de temperaturas é evidenciada principalmente pelo fato de que os processos de compostagem e vermicompostagem nos 6 conjuntos foram realizados nas mesmas condições, e no mesmo local. Ocorrerem ápices de temperatura entre os dias 15 e 18 de março de 2024 (29,2°C), o que é justificado pela alta temperatura local nestes pontos, segundo os dados do INMET. Além disso, esses ápices ocorrerem nas primeiras semanas da segunda batelada dos processos de compostagem e vermicompostagem, caracterizadas pelo aumento de temperatura. Considerando as fases da compostagem definidas em função da temperatura,

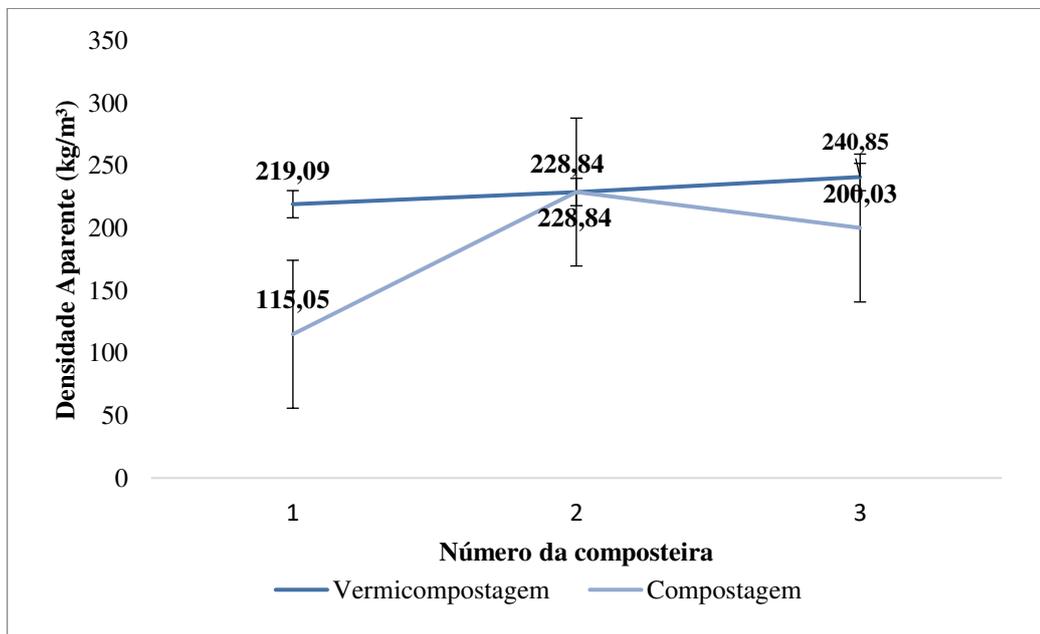
torna-se evidente que não foram observadas temperaturas na fase termofílica (entre 40°C e 60°C), que é uma fase essencial para eliminação de patógenos (Melo, 2014). Uma relação C/N mais elevada que a utilizada neste trabalho pode fornecer uma quantidade maior de carbono para os microrganismos, e essa maior quantidade de carbono aliada à disponibilidade de nitrogênio facilita a geração de calor no início do processo (Gupta et al., 2017).

Ainda comparando as temperaturas das composteiras com as temperaturas locais, pode-se observar que as temperaturas das caixas seguem o padrão das temperaturas informadas pelo INMET, o que justifica os valores mais baixos que os sugeridos pela literatura (45°C na fase termófila, por exemplo).

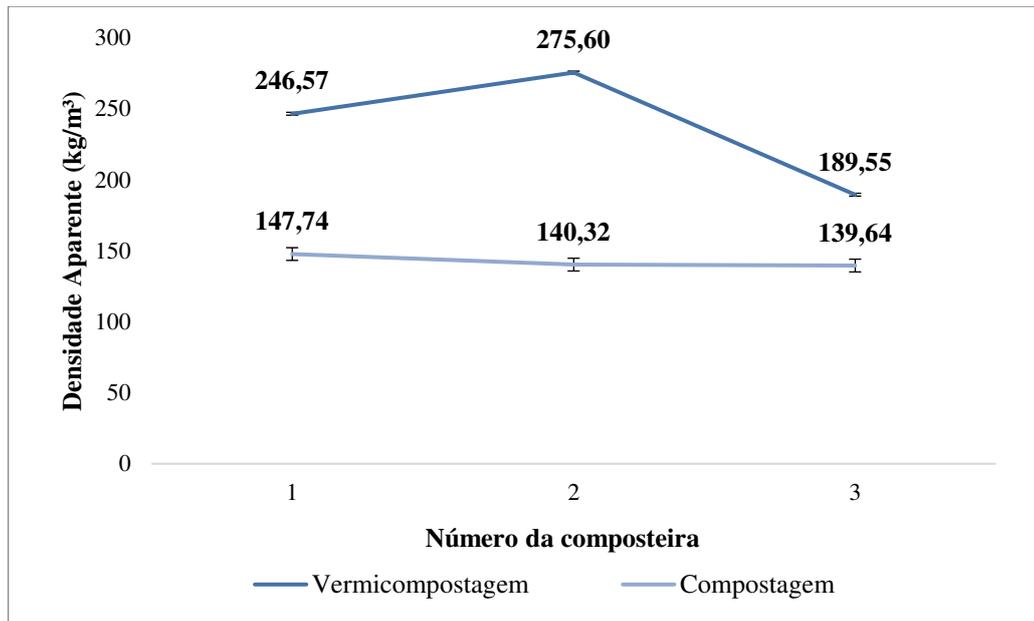
5.2.2 Densidade aparente

Foram obtidas as medidas de densidade aparente dos compostos das duas bateladas, e os resultados estão descritos nos Gráficos 4 e 5, a seguir:

Gráfico 4 – Densidade aparente na primeira batelada



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Gráfico 5 – Densidade aparente na segunda batelada

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Quanto maior for a densidade aparente, maior será sua compactação, menor será a estruturação e a porosidade (Pereira, 2021), então, pelos dados das tabelas, temos que os compostos a partir da compostagem são mais porosos que os gerados pela vermicompostagem, porém, os vermicompostos apresentaram maior compactação do que os compostos. No processo de vermicompostagem, as minhocas movimentam o material, o que contribui para sua compactação gradual, especialmente nas camadas inferiores do sistema (Edwards, 2004). Esse comportamento pode contribuir para o aumento da densidade final do produto, em relação aos compostos orgânicos gerados sem presença de minhocas.

A densidade aparente adequada promove uma maior atividade microbiana dentro do sistema de compostagem, pois proporciona uma distribuição uniforme de ar, água e nutrientes essenciais aos microorganismos envolvidos no processo de decomposição. Uma densidade muito baixa pode resultar em uma oxigenação excessiva, levando à perda de nutrientes por volatilização e à desaceleração da decomposição. Por outro lado, uma densidade muito alta pode restringir a circulação de ar e água, resultando em condições anaeróbias que favorecem a produção de odores desagradáveis e a formação de subprodutos indesejáveis, como metano e sulfeto de hidrogênio.

Quando a densidade aparente é menor que 400 kg/m³, é considerada como uma baixa densidade, o que ocorre em todas as amostras analisadas. Esse fato pode inferir que os

materiais podem não ter se decomposto adequadamente, o que indica que um tempo maior de batelada pode ser necessário para uma melhor compactação.

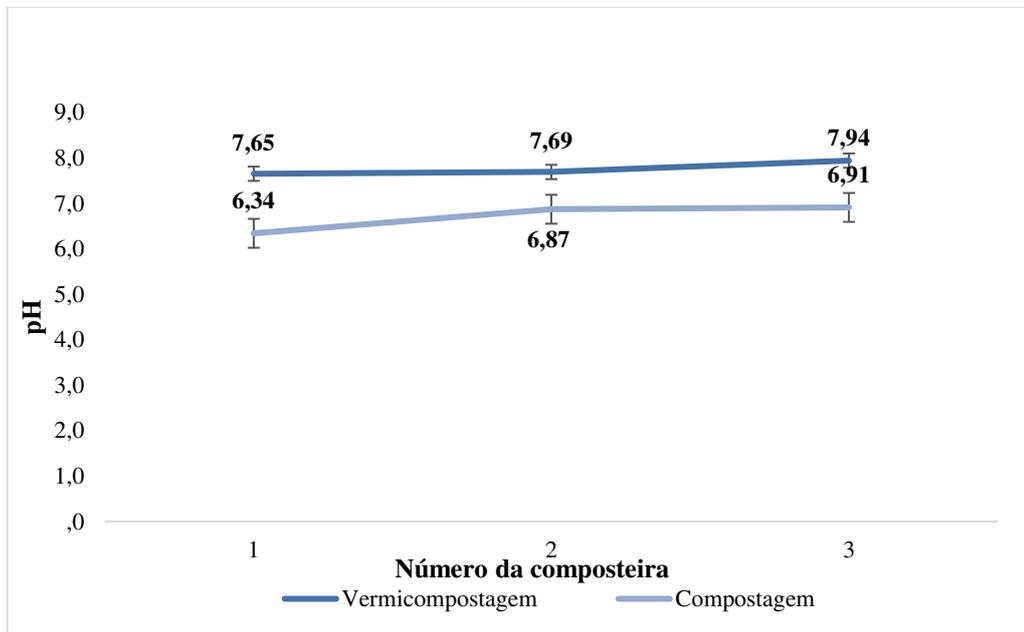
Os desvios padrões das médias foram relativamente pequenos nas determinações de densidade aparente neste experimento, isso pode indicar certa uniformidade no processo de compostagem.

5.2.3 pH

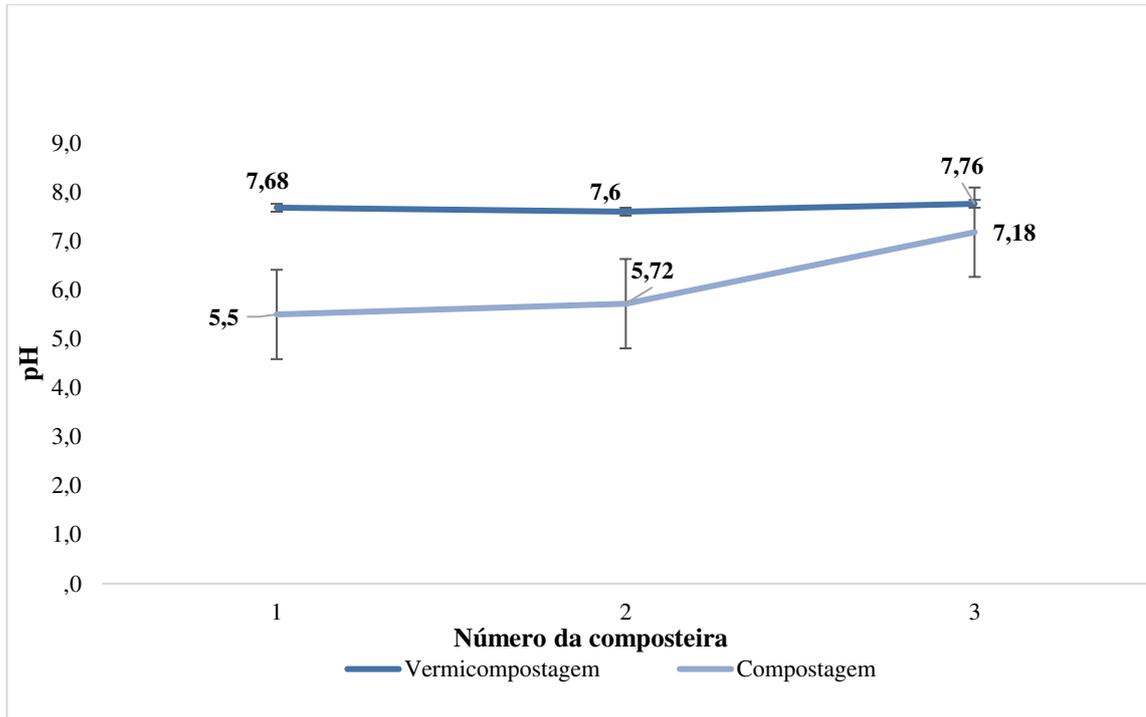
As análises de pH foram realizadas ao final do período de 72 dias de cada batelada.

Os valores de pH obtidos nas duas bateladas são apresentados nos Gráficos 6 e 7:

Gráfico 6 – Valores de pH na primeira batelada



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Gráfico 7 – Valores de pH na segunda batelada

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

As análises de pH dos compostos de vermicompostagem obtiveram resultados de desvio padrão menores que os de compostagem, como pode ser observado nos gráficos. Apesar disso, os desvios padrão foram relativamente consistentes, o que indica variabilidade, mas não uma instabilidade drástica ao longo das análises.

Como citado na revisão da literatura, a faixa de pH entre 5,5 e 9,5 é considerada ótima para os microorganismos responsáveis pela compostagem. Porém, no final do processo, esse parâmetro situa-se sempre na faixa de 7,0 e 8,5 (Pereira Neto, 2007). Considerando que o composto analisado nas duas bateladas analisado é o composto final do experimento, as amostras que passaram pelo processo de vermicompostagem se encontraram na faixa desejada de pH, e apenas uma das amostras das composteiras apresentou valor dentro da faixa recomendada pelo autor.

Eckhardt et al. (2021) compara o pH de uma gama de compostos orgânicos de origens diferentes, inclusive compostos provenientes dos processos de compostagem e vermicompostagem, obtendo valores finais de, respectivamente, 7,2 e 8,3, o que segue a tendência dos resultados deste trabalho, que obteve compostos mais básicos relacionados ao processo de vermicompostagem, e mais ácidos relacionados ao processo de compostagem.

Bárcia (2014), em experimento que avaliava parâmetros em processos de compostagem e vermicompostagem, observou o contrário: compostos oriundos de

vermicompostagem seguindo a tendência de pH mais ácido. Porém, as minhocas da espécie *Eisenia fétida* possuem relativa tolerância a variações de pH, particularmente valores entre 6,5 e 8,0. Fora desse intervalo, podem ocorrer prejuízos as suas atividades (Lourenço, 2010).

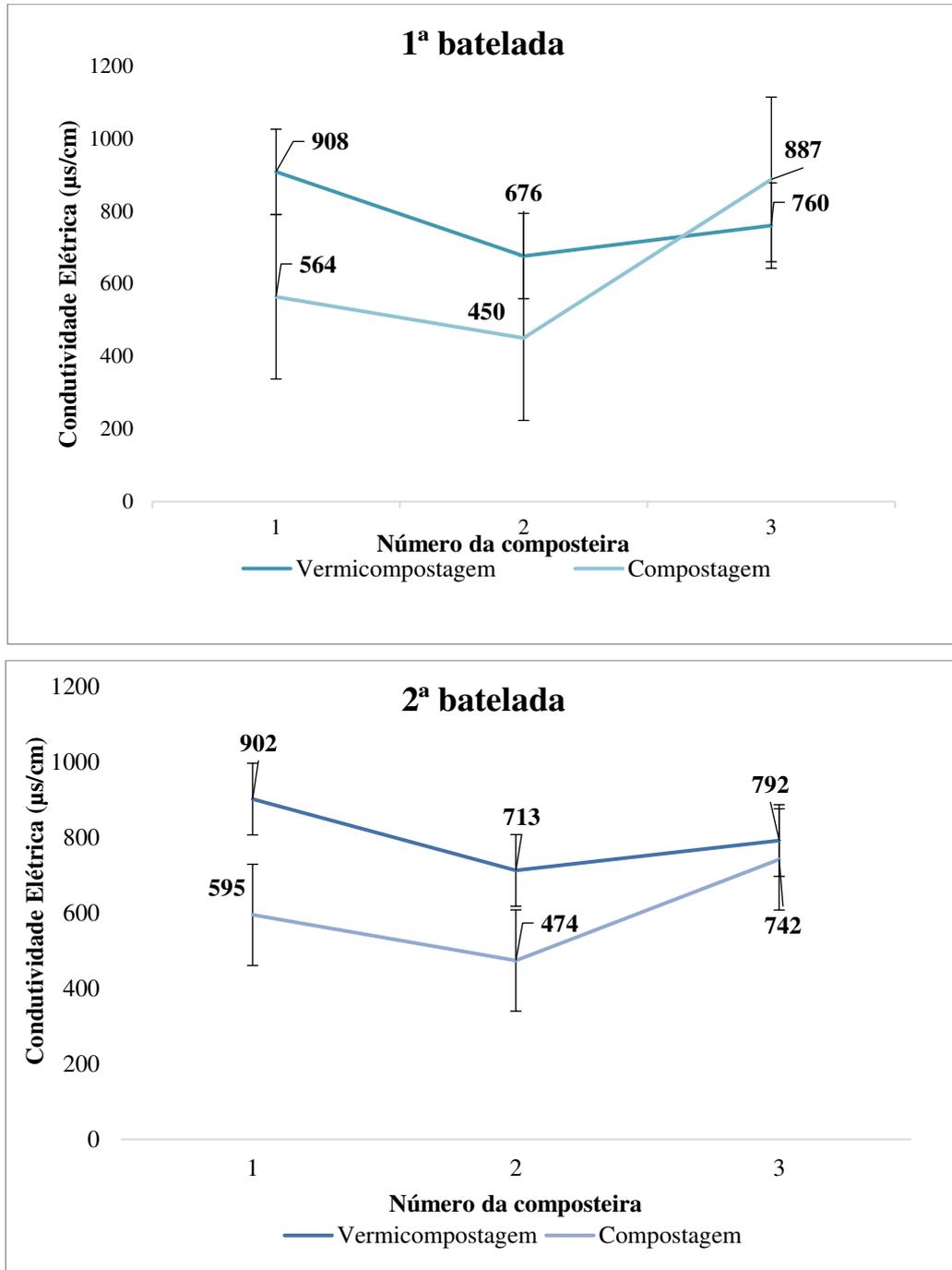
Considerando que o composto analisado nas duas bateladas é o composto final do experimento, as amostras que passaram pelo processo de vermicompostagem se encontram na faixa desejada de pH, tanto pelo padrão de legislação, como sugerido pela revisão da literatura. Já os compostos orgânicos da compostagem apresentaram, em sua maioria, valores de pH menores do que os citados pela legislação e pela revisão bibliográfica.

Considerando a IN 61/2020, é recomendado que o pH tenha valor maior ou igual à 6, o que exclui dois dos valores encontrados nas leiras de compostagem. Esses valores indicam, pela escala de pH, que o composto é ácido, o que pode ser relacionado com excesso de umidade, que pode levar à condições anaeróbicas, com produção de ácidos (Haug, R.T., 1993).

5.2.4 Condutividade elétrica

As análises de Condutividade Elétrica ocorreram no dia 22 de maio de 2024, no LAQUA UFJF. Foi utilizado o condutivímetro, com soluções que passaram por homegeinização, e em seguida, foram avaliadas. O Gráfico 8 representa os valores da CE nos processos de compostagem e vermicompostagem nas duas bateladas:

Gráfico 8 – Condutividade elétrica nos compostos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para compostos orgânicos, valores de $CE < 2000 \mu\text{s/cm}$ são ideais para desenvolvimento vegetal. Todos os valores obtidos nos compostos orgânicos resultantes deste projeto se encontram nessa faixa, o que indica que não são esperados efeitos negativos decorrentes da faixa de valores de CE obtidos, principalmente em relação à sua salinidade.

Os valores de condutividade elétrica encontrados nas células da vermicompostagem se mostram satisfatórios em relação ao bom desenvolvimento das minhocas da espécie *Eisenia foetida*, de acordo com Gonçalves (2014). Quatro dentre as seis células de vermicompostagem das duas bateladas apresentaram nível ótimo de CE, e duas apresentaram nível adequado de condutividade elétrica.

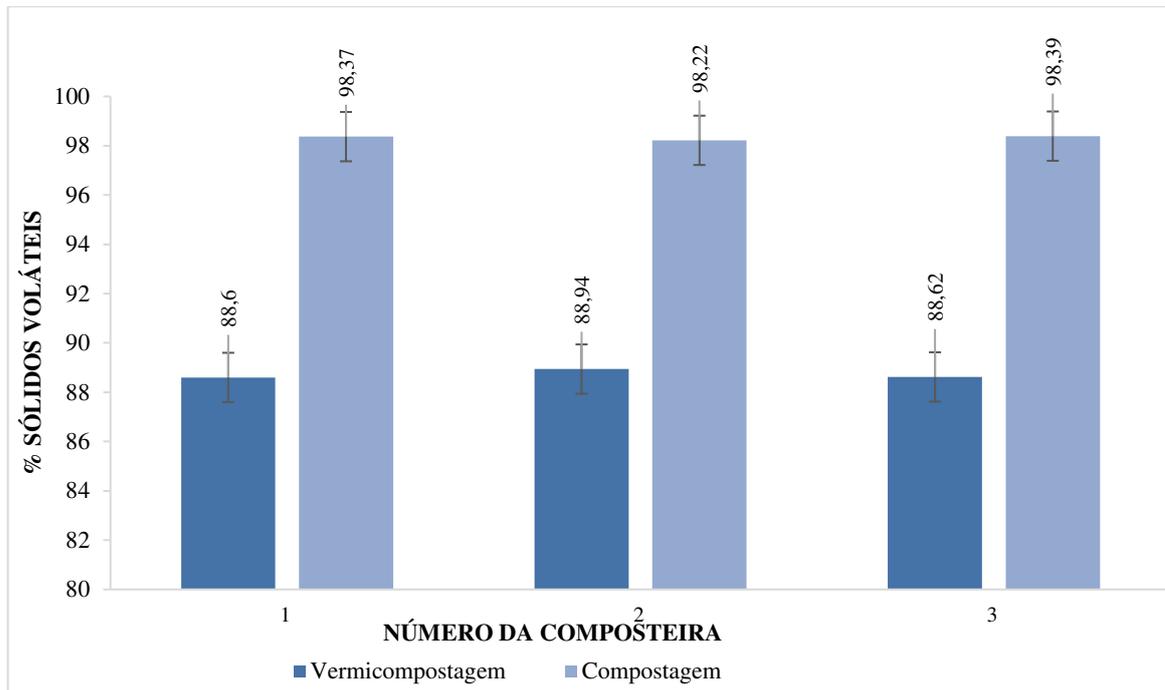
Os compostos oriundos de vermicompostagem apresentaram valores de CE, em sua maioria, superiores aos valores dos compostos oriundos de compostagem, o que pode ser devido ao fato que as minhocas e microorganismos promovem uma degradação mais eficiente da matéria orgânica, transformando-a em condutores naturais, aumentando a condutividade Edwards (1988).

Em comparação com trabalhos anteriores, onde experimentos foram realizados para comparação de condutividade elétrica em compostos oriundos de compostagem e vermicompostagem, valores mais baixos que os deste trabalho e que as recomendações da literatura foram reportadas por Souza (2020). Ademais, Gonçalves (2017) observou valores elevados para a condutividade elétrica, o que reforça a importância de escolha de um bom substrato.

Os valores de desvio padrão para ambos os processos de compostagem e vermicompostagem se mostraram altos, o que sugere uma alta variação dos valores de condutividade em relação à média. Apesar disso, os valores isolados de condutividade elétrica se mantêm dentro da faixa indicada por Kuba (2008).

5.2.5 Sólidos voláteis

No Gráfico 9, é possível conferir os resultados para as análises de Sólidos Voláteis para as caixas de compostagem e vermicompostagem da segunda batelada dos testes:

Gráfico 9 – Porcentagem de sólidos voláteis na vermicompostagem e compostagem

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

No geral, os valores de desvio padrão das análises de sólidos voláteis são relativamente baixos, o que sugere que as porcentagens de sólidos voláteis não variam muito em relação à média, indicando que as amostras são relativamente homogêneas em termos do conteúdo de matéria orgânica volátil.

As amostras provenientes das caixas de compostagem obtiveram um percentual significativamente maior de SV. Considerando que, em compostagem, os sólidos voláteis correspondem à fração orgânica dos resíduos sólidos que pode ser decomposta por microrganismos, uma maior porcentagem de Sólidos Voláteis indica uma maior disponibilidade de matéria degradável. As amostras oriundas da compostagem possuem esse número elevado de fração orgânica, o que indica que a matéria orgânica sofreu maior degradação nas caixas de vermicompostagem, o que pode ser relacionado com a presença das minhocas, que fazem o processo de degradação ser mais eficiente (Sinha et al., 2010)

Um processo de compostagem é considerado eficiente se apresentar redução média do teor inicial de sólidos voláteis de 40% (Pereira Neto, 2007), o que não ocorreu neste experimento. Quando ocorre ineficiência em redução de fração orgânica em processos de compostagem, isso pode indicar que a relação C/N não esteja adequada (Haug, 1993), além de tempo de compostagem insuficiente, o que sugere bateladas com maior intervalo temporal (Epstein, 2011).

5.2.6 Umidade

A presença da umidade na compostagem é um dos parâmetros mais importantes e deve ser dosada de forma que o processo ocorra de forma aeróbia. Como citado na revisão bibliográfica, os processos bioquímicos de decomposição exigem água, sendo mantida uma faixa de umidade entre 40 a 60%, em peso seco, de matéria orgânica decomponível.

Antes dos valores finais de umidade, foram realizadas durante a segunda batelada do projeto prático, análises de umidade das caixas, com intuito de saber se a hidratação e o revolvimento das caixas eram eficientes. As médias dos resultados são expostos na Tabela 4:

Tabela 4 – Umidades (%) durante a segunda batelada

Data da Coleta	Compostagem	Vermicompostagem
25/03/2024	67,70 ± 5,89	60,03 ± 3,47
01/04/2024	54,97 ± 6,38	52,13 ± 8,21
08/04/2024	54,80 ± 4,12	73,40 ± 23,34
15/04/2024	53,74 ± 9,07	61,89 ± 2,79

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

As variações nos valores de desvio padrão das medidas de umidade durante a segunda batelada são reflexo das condições variáveis das pilhas de compostagem (HAUG, R.T., 1993). A heterogeneidade dos materiais que compõem uma pilha de compostagem, como folhas, restos de alimentos e materiais mais secos e a dinâmica dentro da célula de compostagem podem fazer que a umidade não seja distribuída de maneira uniforme (MICHEL, F.C., 1996), podendo causar flutuações no desvio padrão.

Os valores de umidade para as análises nas caixas de compostagem se mostraram decrescentes semanalmente, o que não ocorreu com os valores de umidade para o processo de vermicompostagem. Considerando que a hidratação das caixas ocorreu nos mesmos dias e em mesma quantidade, a presença das minhocas no processo de vermicompostagem pode ter interferência no aumento da umidade. Na Tabela 5, obtemos os resultados das médias de umidade para os compostos gerados nas duas bateladas:

Tabela 5 – Umidades (%) médias das caixas

	1ª Batelada	2ª Batelada
Compostagem	44,13 ± 16,51	67,70 ± 5,89
Vermicompostagem	47,03 ± 14,40	60,03 ± 3,47

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

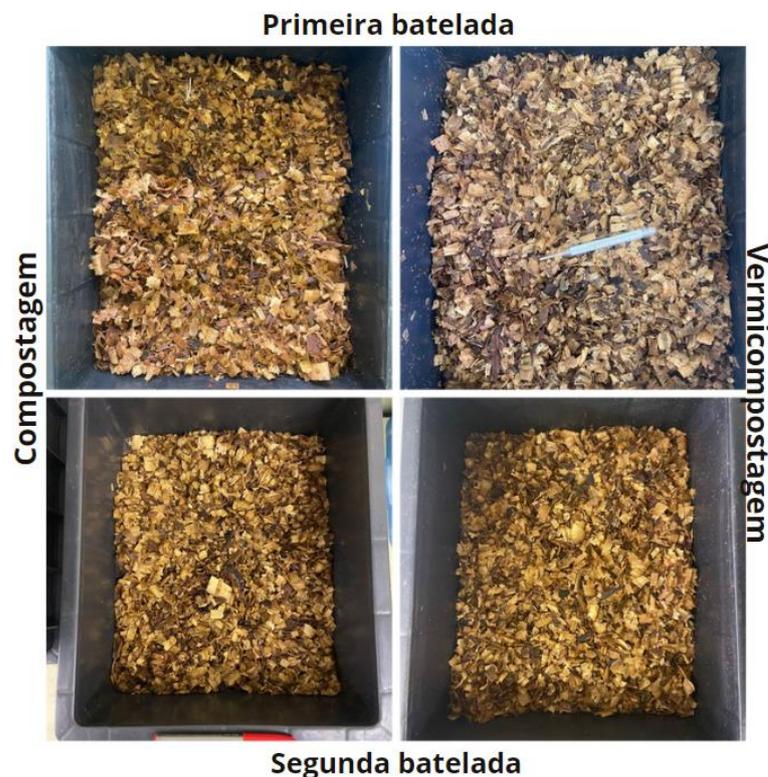
Os valores de umidade mostrados acima descrevem a umidade das amostras em estágio final, com 72 dias de bateladas. As amostras da 2ª batelada apresentaram valores acima da faixa sugerida pela literatura, o que sugere a necessidade de aumento dos revolvimentos das células de compostagem e vermicompostagem. Além disso, a IN 61/2020 (BRASIL, 2020) dita que para fertilizantes orgânicos mistos e compostos orgânicos sólidos, a umidade máxima deve ser de 50%, o que reafirma a necessidade de aumento dos revolvimentos dos compostos da 2ª batelada, como apontado por Epstein (2011) e Edwards (2004).

Apesar dos valores elevados, os valores de umidade dos processos de vermicompostagem se encontram dentro da faixa recomendada por Gupta & Carg (2017), e esse valor é mais elevado para uma grande população de minhocas. Para fins de comparação, resíduos sólidos que passaram pelo processo de vermicompostagem também tiveram aumento em seus valores de umidade durante o processo de vermicompostagem em estudo realizado por Cotta (2015), o que pode ser atrelado à excreção de líquidos pelas minhocas e liberação de água pela decomposição microbiana (Edwards, 2004).

5.2.7 Considerações

A Figura 16 ilustra o aspecto do composto nas caixas nos finais da 1ª e 2ª batelada, e os compostos oriundos de vermicompostagem finalizaram o processo com um composto mais úmido, de coloração mais forte, e com o aspecto mais próximo a um composto orgânico nos moldes comerciais. O processo de vermicompostagem costuma acontecer mais rápido que o de compostagem (Sinha et al., 2010), devido à presença das minhocas, e isso foi observado no composto final das duas bateladas.

Figura 16 – Caixas de compostagem e vermicompostagem no final do processo



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Ao término do período de monitoramento, foi possível analisar as características dos produtos finais gerados pelos processos de compostagem e vermicompostagem. Essa análise permitiu comparar significativamente os resultados obtidos com as condições iniciais, oferecendo uma visão mais detalhada sobre a transformação, diferença e evolução dos compostos durante o tempo.

Após os 72 dias de cada batelada, foi possível identificar, a olho nu, presença majoritária de serragem nos compostos. Ainda era possível encontrar alguns pedaços pequenos de beterraba no composto, o que não ocorreu com a alface, que degradou rapidamente. A alface é geralmente mais degradável que a beterraba principalmente devido à

sua composição celular, que inclui alto teor de água e baixa presença de fibras estruturais como celulose e lignina (Adhikari, B.K., 2009). Já a beterraba, contém uma quantidade maior de carboidratos estruturais e fibras, mais resistentes à ação microbiana (Bernal, 2009).

A granulometria também pode ter tido impacto no estado de degradação da matéria orgânica nas composteiras, já que é um aspecto essencial nos processos de compostagem e vermicompostagem (Silva, 2024). Menores granulometrias para a beterraba e a serragem poderiam aumentar a área superficial de contato e beneficiar o processo de degradação, reduzindo sua taxa de sólidos voláteis.

Também foi possível observar a presença das minhocas durante todo o processo de vermicompostagem, indicando que as condições nas caixas estavam adequadas para esses organismos. Alguns pequenos insetos foram encontrados durante o processo em ocasiões pontuais, e é importante destacar que não foram detectados odores desagradáveis ao longo do processo. A ausência de maus odores indica um ambiente aeróbio favorável à atividade microbiana benéfica (Diaz, 2007).

Outro ponto importante foi que a produção de chorume das composteiras foi praticamente nula, em ambas as bateladas. A ausência de chorume em processos de compostagem pode ser vinculada à baixa umidade da caixa, composição dos resíduos orgânicos (Edwards, 1995) e altas temperaturas (Domínguez, 2001). Considerando que neste experimento os valores de umidade obtidos não estiveram baixos, e as temperaturas também não chegaram à fase termofílica, a composição dos resíduos da composteira pode ter interferido nessa ausência de chorume nas caixas inferiores das composteiras.

Na comparação entre as bateladas, a segunda batelada obteve maiores valores de umidade, e vários fatores podem estar relacionados a isso, como a sazonalidade e o clima (Haug, 1993).

O aumento da relação C/N é também sugerido para auxiliar no aumento do valor do pH nas composteiras que obtiveram pH ácido. Esse aumento pode prover melhores condições aos microorganismos, favorecendo a degradação aeróbia, o que formaria mais compostos alcalinos e aumentaria o valor do pH.

6 CONCLUSÃO

Em relação à revisão da literatura, os registros encontrados sugerem que o Brasil é um país que publica um grande volume de estudos sobre compostagem, e esse volume é muito maior que o volume sobre vermicompostagem, o que indica a necessidade de mais estudos e material sobre esse processo, e comparando as duas práticas. Os estudos que focam na comparação dos dois processos variam conforme a preferência das práticas, inclusive por serem realizados de formas distintas.

Passados 72 dias de cada batelada nas caixas de compostagem e vermicompostagem, e pode-se observar diferenças físicas e químicas entre os compostos gerados. Conclui-se que os processos de compostagem e vermicompostagem, apesar de serem semelhantes, apresentam significativas diferenças em relação aos compostos obtidos, principalmente em relação à velocidade em que o composto é formado. O composto obtido nas caixas de vermicompostagem, além de visualmente mais parecido com a aparência ideal de um composto orgânico, obteve valores mais próximos aos indicados da literatura à um composto ideal.

Através dos resultados obtidos, a vermicompostagem se mostrou como um processo mais eficiente em relação à compostagem, principalmente em relação aos parâmetros analisados. Os resultados para pH, sólidos voláteis, densidade aparente e temperatura apontam para um composto mais maduro oriundo das células de vermicompostagem, o que pode ser justificado pela presença das minhocas, que agilizam o processo, alimentando-se da matéria orgânica e produzindo húmus.

Além disso, é recomendável para estudos futuros análises de outros parâmetros durante o processo, como relação C/N, além de maior frequência de revolvimentos e maior tempo de experimento, com objetivo de obter um composto orgânico mais próximo do ideal.

A compostagem e a vermicompostagem representam soluções sustentáveis para a gestão de resíduos orgânicos no Brasil, com potencial de contribuir significativamente para a economia circular e a redução de impactos ambientais. A disseminação de estudos e iniciativas voltados para esses métodos não apenas fortalece o compartilhamento de conhecimento técnico e científico, mas também atua na quebra de barreiras socioculturais que ainda geram resistências à adoção dessas práticas. A promoção desses projetos favorece a aceitação e compreensão da compostagem como uma prática ambientalmente benéfica e socialmente responsável, desmistificando percepções negativas que persistem em algumas comunidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADHIKARI, B. K., BARRINGTON, S., MARTINEZ, J., & KING, S. (2009). **Effectiveness of three bulking agents for food waste composting**. *Waste Management*, 29(1), 197-203.
- APHA (1998). **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington.
- AQUINO, A. M. **Vermicompostagem**. 2009. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, p. 177. (Embrapa Agrobiologia, Circular Técnica, 29). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/664309/>. Acesso em: 2 ago. 2024.
- BERNAL, M. P.; ALBUQUERQUE, J. A.; MORAL, R.. **Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: a review**. *Bioresource Technology*, v.100, p.5444-5453, 2009
- BORGES, W. L. **Compostagem orgânica**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1102843/compostagem-organica>. Acesso em: 16 fev. 2024.
- BARCIA, M.; MARTINS K.; VEIGA T. **Análise da eficiência de compostagem e vermicompostagem para resíduos sólidos orgânicos com inserção de matéria biodegradável**. *Scientific Journal ANAP*. v.01, n.07, 2023. Acesso em: 26 de out. de 2024.
- BOSCO *et al.* **Contextualização teórica: compostagem e vermicompostagem**. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-details/contextualizacao-teorica-20319>. Acesso em: 15 abr. 2024.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 agosto de 2010.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 481, de 3 de outubro de 2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir a qualidade e o controle ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos. *Diário Oficial da União*.
- COTTA *et al.* **Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem**. v.20, n.1, p65-78, 2015.
- DIAZ, L. F., SAVAGE, G. M., EGGERTH, L. L., & GOLUEKE, C. G. (2007). **Composting and Recycling Municipal Solid Waste**. CRC Press.
- DOMINGUEZ, J. **State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research**. In: EDWARDS, C. A. (ed.). *Earthworm Ecology*. [S. l.]: CRC Press, 2004. p. 401-424.
- DOMÍNGUEZ, J., & EDWARDS, C. A. (2010). **Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting**. In C. A. Edwards, N. Q. Arancon, & R. Sherman (Eds.),

Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management. CRC Press.

EMBRAPA. **Cálculo de compostagem**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/59898514/planilha-facilita-calculos-nos-processos-de-compostagem>. Acesso em: 17 jul. 2024.

EDWARDS, C.A. **The use of Earthworms in the Breakdown of Organic Wastes to Produce Vermicomposts and Animal Feed Protein**. 1995. CRC Pages, 35p. Acesso em: 23 de junho de 2024.

FIALHO, L. **Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem por métodos convencionais e espectroscópicos**. 2008. Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, p.170, 2007. Acesso em: 17 jul. 2024.

GALAVOTE, T. **Avaliação do efeito do fortalecimento da coleta seletiva nos grupos nos custos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos**. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 15. 2023. Acesso em: 9 jan. 2024.

GUPTA, R.; GARG, V.K. **Vermitechnology for Organic Waste Recycling. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering**, p. 84–112, 2017.

KIEHL, E. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 1998. Piracicaba, 1998, 171p. Acesso em: 21 de dez. 2023.

KOHLER, T. **Substratos a base de compostos orgânicos destinados à produção de mudas de cana-de-açúcar via minitoletes**. 2022. v. 15 n. 2 (2022): abr./jun. Acesso em: 10 jan. 2024.

KUBA, T. *et al.* Wood ash admixture to organic wastes improves compost and its performance. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 127: p.43-p.49, 2008. Acesso em: 21 de mar. 2024.

HAYNES, W. M. (2016). **CRC Handbook of Chemistry and Physics**. CRC Press. Conductivity of Electrolytic Solutions.

LOURENÇO, N. M. G. **Características da minhoca epígea *Eisenia foetida*: benefícios, características e mais-valias ambientais decorrentes da sua utilização**. Lisboa, 5p. 2014.

MARCHI, C.M.D.F., & GONÇALVES, I de O. **Compostagem: a importância da reutilização dos resíduos orgânicos para a sustentabilidade de uma instituição de ensino superior**. Revista Monografias Ambientais, 1, e.1. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/41718>. Acesso em: 15 maio 2024.

MASSUKADO, L. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal de dos resíduos sólidos domiciliares**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p.182, 2008.

MELO, C. X. de, & Duarte, S.T.V.G. **Análise da compostagem como técnica sustentável no gerenciamento dos resíduos sólidos**. Latin American Journal of Business Manegement,

9. 2019. Disponível em: <https://www.lajbm.com.br/index.php/journal/article/view/507/233>. Acesso em: 8 jan. 2024.

MOHER, D. *et al.* **Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement.** PLoS Med, [s. l.], v. 6, n. 7, e1000097, 2009. Acesso em: 24 de abr. 2024.

NOGUEIRA, L.I. A.; MARTINS, I. C.; MIRANDA, G. R. S. **A gestão de resíduos sólidos urbanos e o desenvolvimento sustentável:** uma revisão. Environmental Scientiae, v.2, n.1, p.48-57, 2020. Acesso em: 6 ago. 2024.

OLIVEIRA, L. **Compostagem doméstica: uma solução para os resíduos urbanos.** 2019
PEIXOTO, R. **Compostagem de lixo urbano enriquecido com fontes de fósforo.** Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, 11p. 1991. Acesso em: 09 de jul. de 2024.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo.** Viçosa, MG: UFV, p.81, 2007. Acesso em: 09 de jul. de 2024.

PEREIRA, A. P.; GONÇALVES, M. M. **Compostagem doméstica de resíduos alimentares.** Pensamento plural: Revista Científica da UNIFAE, v.5, n.2, 2011. Acesso em: 7 jul. 2024.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo: agricultura em condições tropicais.** Nobel. São Paulo, 535p. 1991.

QUEIROZ, F. F. **Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas:** estudo de caso de Londrina. UEL, 2007. Disponível em: <https://destino.synthasite.com/resources/manualprofert.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2024.

RAMOS, J; TERRA, A; ASSIS, C; FLORENTINO, G; PUTTI, F. **Tratamento de dejetos no Brasil: comparativo entre as técnicas de compostagem e vermicompostagem.** Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, 21p, Maringá- PR. 2020. Acesso em: 13 de jun. 2024.

Galvão, T. F., Tiguman, G. M. B., & Sarkis-Onofre, R.. **A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas.** 2022. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 31(2), e2022107.

RODRIGUES, M.S.; SILVA, F.C.; BARREIRA, L.P.; KOVACS, A. **Compostagem: Reciclagem de Resíduos Sólidos Orgânicos.** Gestão de Resíduos na Agricultura e Agroindústria; Spadotto, C.A., Ribeiro, W.C., Eds.; FEPAF: Botucatu, Brazil, 2006; pp. 63–9. Acesso em: 08 de jun. de 2024.

SHARMA, S. *et al.* **Potentiality of earthworms for waste management and in other uses:** a review. The Journal of American Science, 1,13p. 2005. Acesso em: 13 de mar. de 2024.

SILVA *et al.*, **Proposta de um modelo de dinâmica de sistemas da gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares:** um estudo aplicado a Curitiba a luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, v.19,n.1, p.662-686, Taubaté, SP. 2023. Acesso em: 8 jan. 2024.

SILVA, A. C. R. da. **Influência da granulometria no processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos**. 2017. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017. Acesso em: 8 jan. 2024.

SINHA, R. K. *et al.* Vermiculture and sustainable agriculture. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, [s. l.], v. 8, n. 6, p. 689-715, 2010. Acesso em: 5 de mai. de 2024.

SNEL J.. **Vermicomposting: An environmentally sound approach to organic waste management**. 1995. *Biocycle*, 36(5), 63-66. Acesso em: 08 de outubro de 2024.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análises do solo, plantas e outros materiais. 2ª ed. Porto Alegre: Dpto. de Solos da UFRGS, 1995, 175p.

TEIXEIRA, L.; GERMANO, V.; OLIVEIRA, R.; JÚNIOR, J. **Processos de compostagem usando resíduos das agroindústrias de açaí e de palmito do Açaizeiro**. Embrapa. Belém, PA. Outubro de 2005. Acesso em: 26 de outubro de 2024.

VALENTE, B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T.B.G.A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JR., B.de.S.; CABRERA, B.R.; MORAES, P.de.O.; LOPES, D.C.N. **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos**. *Archivos de Zootecnia*, v. 5, p. 59-85, 2009. Acesso em: 19 de abr. de 2024.

VARGAS, I. **Análise de viabilidade técnica da compostagem de resíduos de poda, capina, varrição e roçada**: estudo de caso na Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PEC), 116p, 2023. Acesso em: 19 de mai. de 2024.

VIEIRA, M. C. *et al.* **Comportamento da temperature durante o processo de compostagem de resíduos domiciliares em pequena escala**. *Justiça Climática no Antropoceno*, v.13, n.1, 2021. Acesso em: 15 de set. de 2024.

ANEXO A – ARTIGOS CONSIDERADOS NA REVISÃO DA LITERATURA

Nº	Título	Ano	DOI	País
1	Urban sewage sludge stabilization by alkalization-composting-vermicomposting process: crop-livestock residue use	2022	10.1016/j.biortech.2021.126572	Brasil
2	Increased quality of small-scale organic compost with the addition of efficient microorganisms	2023	10.3390/agronomy13010103	Brasil
3	Opportunities and barriers to composting in a municipal context: a case study in São José dos Campos, Brazil	2024	10.3390/agriculture12071011	Brasil
4	Spectroscopic investigation on the effects of biochar and soluble phosphorus on grass clipping vermicomposting	2024	10.3390/agriculture12071011	Brasil
5	Cultivating biodiversity to harvest sustainability: vermicomposting and inoculation of microorganisms for soil preservation and resilience	2023	10.5327/Z21769478949	Brasil
6	Sustainable valorization of <i>Moringa oleifera</i> Lam. co-products and zoo waste	2024	10.5327/Z2176-94781816	Brasil
7	Comparison between cattle manure, organic compost, and vermicompost in the production of <i>Eucalyptus urograndis</i> seedlings	2021	10.1590/0103-8478cr20200600	Brasil
8	Rabbit manure based substrate for the production of lettuce seedlings	2020	10.31413/nativa.v8i1.8018	Brasil
9	Technologies for the circular economy in agriculture	2022	10.21826/2446-82312022v77e2022008	Brasil
10	Vermicomposting of cow manure: effect of time on earthworm biomass and chemical, physical, and biological properties of vermicompost	2022	10.1016/j.biortech.2021.126572	Brasil
11	Influence of earthworms on the microbial properties and extracellular enzyme activities during vermicomposting of raw and distilled grape marc	2022	10.1016/j.jenvman.2022.115654	Brasil
12	Comparison between three methods of composting solid organic waste from domestic sources	2022	10.1590/S0102-053620200116	Brasil