



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS
ENERGÉTICAS E NUCLEARES

PATRÍCIA BARBOSA DOS REIS

**APROVEITAMENTO DA MARAVALHA DE BIOTÉRIOS DE PRODUÇÃO
ATRAVÉS DE CO-COMPOSTAGEM COM DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS**

Recife

2024

PATRÍCIA BARBOSA DOS REIS

**APROVEITAMENTO DA MARAVALHA DE BIOTÉRIOS DE PRODUÇÃO
ATRAVÉS DE CO-COMPOSTAGEM COM DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Energéticas e Nucleares.

Área de concentração: Fontes Renováveis de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes.

Coorientador: Prof. Dr. Emmanuel Damilano Dutra.

Recife

2024

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

R375a Reis, Patrícia Barbosa dos.
Aproveitamento da maravalha de biotérios de produção através de co-compostagem com diferentes resíduos orgânicos / Patrícia Barbosa dos Reis. - 2024.
80 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes.
Coorientador: Prof. Dr. Emmanuel Damilano Dutra.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2024.
Inclui Referências.

1. Energia Nuclear. 2. FORSU. 3. Decomposição aeróbica. 4. Resíduo infectante. 5. Coliformes termotolerantes. I. Menezes, Rômulo Simões Cezar (Orientador). II. Dutra, Emmanuel Damilano (Coorientador). III. Título.

UFPE

621.042 CDD (22. ed.)

BCTG/2024-67

PATRÍCIA BARBOSA DOS REIS

**APROVEITAMENTO DA MARAVALHA DE BIOTÉRIOS DE PRODUÇÃO
ATRAVÉS DE CO-COMPOSTAGEM COM DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Energéticas e Nucleares. Área de concentração: Fontes renováveis de energia.

Aprovada em: 28/02/2024.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Dolores Santiago de Freitas (Examinadora Interna ao PROTEN)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profa. Dra. Maria Helena de Sousa (Examinadora Externa ao PROTEN)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Thais Emanuelle Monteiro dos Santos Souza (Examinadora Externa ao PROTEN)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus pais, Silvio e Adeilda, com todo amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Sou grata primeiramente a Deus e ao meu salvador Jesus Cristo, que com toda sua graça, misericórdia e amor me concederam a oportunidade de concluir mais uma etapa nesta Universidade, a qual tanto almejei fazer parte. Palavras nunca serão suficientes para expressar minha gratidão.

Agradeço aos meus pais Silvio Reis e Adeilda Silva e aos meus irmãos Helton Reis e Pamela Reis por sempre me apoiarem e por em momento nenhum soltarem minha mão, vocês foram e são fundamentais na minha jornada.

Aos meus Orientadores Prof. Rômulo Menezes e Prof. Emmanuel Dutra, pela oportunidade e por todos os ensinamentos.

Às minhas parceiras de trabalho e pesquisa, Eduarda Falcão e Vitória Ribeiro, não conseguiria desenvolver essa pesquisa sem a parceria de vocês. Sentirei saudades dos dias de reviragem, quando colocávamos os papos em dia.

Aos meus amigos Netto, Alexandre, Bárbara, Marcélio, Dani, Susy, Jadde e Clériston. Vocês foram essenciais nessa jornada, gratidão por fazerem os dias difíceis serem mais fáceis.

A San Rodrigues por ter me amparado e me entendido no momento que mais precisei e mais estive vulnerável.

Aos integrantes da Berso: Elias, Inaldo, Ithalo, Ariane, Helena e João, pelo companheirismo diário.

Aos amigos que contribuíram com essa pesquisa, Severino Martins, Edilândia Dantas e Juscélia Ferreira. E aos demais integrantes das bancas.

Aos técnicos Talita Campos, Manoel Castro, Pedro Silva, Luiz Serpa e aos auxiliares de limpeza por trabalharem na parte operacional e logística, para que fosse possível obter os resíduos necessários.

Aos integrantes da horta experimental por me fazerem enxergar o mundo com novos olhos e por me fazerem melhorar como pessoa.

A CAPES por fomentar a minha bolsa de pesquisa.

Ao prof. Dário Primo, em memória, que me co-orientou por alguns meses. Sua existência será sempre lembrada.

A minha cachorrinha Faísca, que durante 5 meses foi o meu antidepressivo. Gostaria de ter aproveitado mais a sua passagem pela minha vida. Obrigada por me ensinar a amar genuinamente. Nunca te esquecerei.

A todos vocês a minha eterna gratidão.

“Sempre há uma outra
chance, uma outra amizade,
um outro amor, uma nova força.
Para todo fim, um recomeço”. (Saint-Exupéry, O Pequeno Príncipe)

RESUMO

No Brasil, a geração anual de resíduos sólidos urbanos ultrapassa os 80 milhões de toneladas, e deste quantitativo, cerca de 45% correspondem à fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU). A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), por exemplo, gera diariamente resíduos alimentares, podas e outros resíduos orgânicos, como a maravalha oriunda dos biotérios. A maravalha são raspas de madeira que servem como “cama” para os animais de laboratório. Após o período de uso, ela fica misturada com excretas e, por este motivo, é classificada como um resíduo infectante. Entretanto, nos biotérios de produção não há uso de fármacos ou agentes biológicos contaminantes, portanto acredita-se que, nesse caso, a maravalha possa ser aproveitada sem riscos de contaminação. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do aproveitamento da maravalha gerada nos biotérios de produção da UFPE através do processo de compostagem com diferentes resíduos orgânicos. O trabalho consistiu na montagem de dois experimentos utilizando a maravalha dos biotérios de produção para a co-compostagem com podas urbanas, restos de alimentos ou esterco bovino. O primeiro experimento utilizou os resíduos de podas e a maravalha, contando com 5 tratamentos e 4 repetições, com 20 kg cada pilha. O segundo experimento utilizou além da maravalha o resíduo alimentar (RA) e o esterco bovino (EB), com 4 tratamentos e 5 repetições. Além desses, também foram realizadas análises microbiológicas para detecção de coliformes termotolerantes. Os resultados do primeiro experimento indicaram que a maravalha possui uma taxa de decomposição lenta, ou seja, é necessária a mistura com outros resíduos mais ricos em nutrientes. No primeiro experimento, apenas no tratamento T2 observou-se a estabilização do composto no período de 120 dias, enquanto nos demais a decomposição foi mais lenta, ultrapassando os 150 dias. Observou-se que a maravalha funciona como material estruturante permitindo assim melhor aeração das pilhas, além disso, ela não possui capacidade de retenção de água, elevando assim o consumo desse recurso. As análises microbiológicas constataram a presença de coliformes termotolerantes, sendo realizadas análises específicas para a *Escherichia coli*. A maior proporção desses patógenos foram encontrados nos resíduos de podas, no entanto, até o final do experimento (150 dias) foi observada uma diminuição considerável deles. No segundo experimento foi observado o menor consumo de água (57,06% a menos) devido a adição do resíduo alimentar e o esterco bovino, a temperatura inicial foi mais elevada (53,4°C), e a presença dos coliformes termotolerantes diminuiu na medida em que o processo de compostagem avançou. Deste modo pode-se concluir que é viável a utilização da maravalha no processo de compostagem

como material estruturante, porém é necessária a co-compostagem com resíduos ricos em nutrientes, como resíduos alimentares e esterco bovino, o que acelera a decomposição e reduz o consumo de água. A destinação para compostagem não só é uma forma de tratamento mais adequada para esses resíduos, mas também contribui para a redução de custos e emissões com o atual descarte da maravalha, que é destinada para a incineração por ser considerada um resíduo infectante.

Palavras-chave: FORSU; decomposição aeróbica; resíduo infectante; coliformes termotolerantes.

ABSTRACT

In Brazil, the annual generation of urban solid waste exceeds 80 million tons, and of this quantity, around 45% corresponds to the Organic Fraction of Urban Solid Waste (OFUSW). The Federal University of Pernambuco (UFPE), for example, generates daily food waste, prunings and other organic waste, such as wood shavings from vivariums. Wood shavings are wood shavings that serve as “bedding” for laboratory animals. After the period of use, it is mixed with excreta and, for this reason, is classified as infectious waste. However, in production animal facilities there is no use of pharmaceuticals or contaminating biological agents, therefore it is believed that, in this case, wood shavings can be used without risk of contamination. Therefore, the objective of this work was to evaluate the feasibility of using wood shavings generated in UFPE's production facilities through the composting process with different organic waste. The work consisted of setting up two experiments using wood shavings from production facilities for co-composting with urban pruning, food waste or cattle manure. The first experiment used pruning residues and wood shavings, with 5 treatments and 4 replications, with 20 kg each pile. The second experiment used, in addition to wood shavings, food waste (RA) and cattle manure (EB), with 4 treatments and 5 replications. In addition to these, microbiological analyzes were also carried out to detect thermotolerant coliforms. The results of the first experiment indicated that wood shavings have a slow decomposition rate, that is, mixing with other residues richer in nutrients is necessary. In the first experiment, only in the T2 treatment was stabilization of the compound observed within a period of 120 days, while in the others, decomposition was slower, exceeding 150 days. It was observed that wood shavings works as a structuring material, thus allowing better aeration of the piles. Furthermore, it does not have water retention capacity, thus increasing the consumption of this resource. Microbiological analyzes confirmed the presence of thermotolerant coliforms, with specific analyzes being carried out for *Escherichia coli*. The largest proportion of these pathogens were found in pruning residues, however, by the end of the experiment (150 days) a considerable decrease in them was observed. In the second experiment, lower water consumption was observed (57.06% less) due to the addition of food residue and cattle manure, the initial temperature was higher (53.4°C), and the presence of thermotolerant coliforms decreased as in which the composting process progressed. Therefore, it can be concluded that it is viable to use wood shavings in the composting process as a structuring material, but it is necessary to co-compost it with waste rich in nutrients, such as food waste and cattle manure, which accelerates decomposition and

reduces consumption. of water. Destination for composting is not only a more appropriate form of treatment for this waste, but it also contributes to reducing costs and emissions with the current disposal of wood shavings, which are destined for incineration as they are considered infectious waste.

Keywords: OFUSW; aerobic decomposition; infectious residue; thermotolerant coliforms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1–	Esquema das entradas e saídas do processo de compostagem.	27
Figura 2–	Variação da temperatura na pilha durante os dias do processo de compostagem. As letras A, B, C e D representam cada fase do processo.	31
Figura 3–	Umidade no processo de compostagem.	32
Figura 4–	Base construída com tijolos de alvenaria (1x1).	36
Figura 5–	Base coberta com lona.	36
Figura 6–	1º Experimento montado (09/11/2022).	38
Figura 7–	2º Experimento montado (08/08/2023).	39
Figura 8–	Dinâmica da temperatura (°C) ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 1, 7, 14, 28, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 dias.	46
Figura 9–	Dinâmica da temperatura (°C) ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 1, 7, 14, 28, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 dias.	47
Figura 10 –	Dinâmica da umidade (%) ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 1, 7, 14, 28, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 dias.	48
Figura 11–	Dinâmica da umidade (%) ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 1, 7, 14, 28, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 dias.	49
Figura 12–	Dinâmica do pH ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 90, 120 e 150 dias.	51
Figura 13–	Dinâmica do pH ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 90, 120 e 150 dias.	52
Figura 14–	Decomposição dos T1 e T2 até 120 dias (1º experimento).	58
Figura 15–	Decomposição do T4, primeira e segunda repetição até 150 dias (2º experimento).	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Caracterização do material inicial, concentrações médias de nutrientes na maravalha, podas, resíduo alimentar e esterco bovino, utilizados na montagem das pilhas nos dias 09/11/2022 e 08/08/2023.	45
Tabela 2 –	Consumo de água nos dois experimentos. 1º experimento, consumo até 150 dias e 2º experimento até 135 dias.	50
Tabela 3 –	Dinâmica de carbono (g/kg) ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 30, 120 e 150 dias.	53
Tabela 4 –	Análises estatísticas realizadas para a dinâmica de carbono (g/kg), obtida através do processo de compostagem do 1º experimento.	53
Tabela 5 –	Dinâmica de carbono (g/kg) ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 30, 120 e 150 dias.	54
Tabela 6 –	Análises estatísticas realizadas para a dinâmica de carbono (g/kg), obtida através do processo de compostagem do 2º experimento.	54
Tabela 7 –	Teor de nitrogênio (g/kg) ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 30, 120 e 150 dias.	55
Tabela 8 –	Análises estatísticas realizadas para a dinâmica de nitrogênio (g/kg), obtida através do processo de compostagem do 1º experimento.	55

Tabela 9 –	Teor de nitrogênio (g/kg) ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 30, 120 e 150 dias.	56
Tabela 10 –	Análises estatísticas realizadas para a dinâmica de nitrogênio (g/kg), obtida através do processo de compostagem do 1º experimento.	56
Tabela 11 –	Dinâmica da relação C/N ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 30, 120 e 150 dias.	57
Tabela 12 –	Análises estatísticas realizadas para a dinâmica da relação C/N, obtida através do processo de compostagem do 1º experimento.	58
Tabela 13 –	Dinâmica da relação C/N ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 30, 120 e 150 dias.	59
Tabela 14 –	Análises estatísticas realizadas para a dinâmica da relação C/N, obtida através do processo de compostagem do 2º experimento.	59
Tabela 15 –	Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio.	61
Tabela 16 –	Dinâmica de Coliformes termotolerantes e <i>Escherichia coli</i> ao longo do processo de compostagem do 1º experimento em intervalos de 30, 60, 30, 120 e 150 dias.	63
Tabela 17 –	Dinâmica de Coliformes termotolerantes e <i>Escherichia coli</i> ao longo do processo de compostagem do 2º experimento em intervalos de 30, 60, 30, 120 e 150 dias.	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANOVA	Análise da Variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BERSO	Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
C/N	Carbono/Nitrogênio
Cu	Cobre
DEN	Departamento de Energia Nuclear
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
Fe	Ferro
FORSU	Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos
HCL	Ácido Clorídrico
H2SO4	Ácido Sulfúrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
K2Cr207	Dicromato de Potássio
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Mais Provável
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
Planares	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RA	Resíduos Alimentares
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RSS	Resíduos de Serviço de Saúde
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RU	Restaurante Universitário
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

VBN	Volume gasto na titulação do branco controle com aquecimento
VBA	Volume gasto na titulação do branco controle sem aquecimento
VAM	Volume gasto na titulação da amostra

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	22
2.1	OBJETIVO GERAL	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3	REVISÃO DE LITERATURA	23
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	23
3.2	FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	24
3.2.1	Resíduos lignocelulósicos	24
3.2.1.1	Resíduos de podas	25
3.2.2	Resíduos alimentares	25
3.2.3	Esterco bovino	26
3.3	RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE	27
3.3.1	Resíduos de maravalha	28
3.4	ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA RECICLAGEM DA FORSU	30
3.5	COMPOSTAGEM	30
3.5.1	Componentes biológicos fundamentais no processo de compostagem	32
3.5.1.1	Fungos	33
3.5.1.2	Bactérias	33
3.5.1.3	Actinomicetos	33
3.5.2	Fatores que influenciam o processo de compostagem	34
3.5.2.1	Temperatura	34
3.5.2.2	Aeração	35
3.5.2.3	Umidade	35
3.5.2.4	Relação C/N	36
3.5.2.5	pH (Potencial hidrogeniônico)	37
3.5.2.6	Tamanho das partículas	37
3.5.3	Vantagens e desvantagens do processo de compostagem	38
4	MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1	DADOS DE GERAÇÃO DE MARAVALHA, CUSTO E DESTINAÇÃO FINAL	39
4.2	LOCAL DO EXPERIMENTO	39

4.3	PRIMEIRO EXPERIMENTO	41
4.4	SEGUNDO EXPERIMENTO	42
4.5	ANÁLISES LABORATORIAIS	43
4.5.1	Umidade e pH	44
4.5.2	Carbono orgânico	44
4.5.3	Nitrogênio total	45
4.5.4	Coliformes termotolerantes	46
4.6	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1	QUANTITATIVO DE MARAVALHA, CUSTO E DESTINAÇÃO FINAL	47
5.2	CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIAS PRIMAS	48
5.3	AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS ESSENCIAIS PARA A COMPOSTAGEM	49
5.3.1	Temperatura	49
5.3.2	Umidade	51
5.3.3	Potencial hidrogeniônico (pH)	54
5.4	CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES	56
5.4.1	Carbono orgânico	56
5.4.2	Nitrogênio total	59
5.4.3	Relação C/N	61
5.4.4	Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio	65
5.5	QUANTIFICAÇÃO MICROBIOLÓGICA	65
6	CONCLUSÕES	70
	REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o panorama global de resíduos sólidos, até 2050 estima-se que serão geradas anualmente 3,4 bilhões de toneladas de resíduos, 1,4 bilhões a mais que em 2016 (The World Bank, 2019). O aumento na geração de resíduos é mais rápido que a capacidade de processamento, desenvolvimento e adequação das tecnologias para o tratamento dos mesmos (IEA, 2019). Essa estimativa é atrelada principalmente ao aumento da população mundial e aos padrões globais de consumo.

No Brasil, em 2021 foram gerados cerca de 81,8 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), 1,37 % a menos que no ano de 2020 (82.4 milhões de toneladas), essa redução é melhor explicada pela retomada das atividades pós-pandemia e com o padrão socioeconômico, do que com medidas de conscientização e estratégia de gestão de resíduos (ABRELPE, 2022). Neste contexto, é de suma importância destacar a grande quantidade de resíduos existentes, que podem ser classificados pela origem, aspecto geral e grau de heterogeneidade (ABNT, 2004).

Os RSUs são constituídos por diversos tipos de resíduos, entretanto a Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos (FORSU) corresponde a maior proporção, aproximando-se de 50% (BRASIL, 2020). A geração desses resíduos varia em função do desenvolvimento da região onde a população está alocada. Regiões mais desenvolvidas possuem uma geração menor devido ao maior consumo de produtos industrializados, ao contrário das regiões menos desenvolvidas, que chegam a apresentar 70% de seus resíduos como orgânicos (ALCÂNTARA, 2007). De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2018), esses resíduos são originados a partir de atividades domésticas e urbanas (restos de alimentos e podas e varrições de parques e jardins), agrícolas ou industriais (agroindústria alimentícia, indústria madeireira, frigoríficos) e de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos).

A diversidade desses resíduos e sua composição, que é rica em celulose, hemicelulose, lignina, óleo, amido e proteínas, conferem as características ideais de uma fonte potencial para geração de energia (BANU *et al.*, 2021). Entretanto, o aproveitamento dos RSUs ainda é limitado devido aos baixos níveis de segregação e coleta seletiva no Brasil. No Nordeste, por exemplo, apenas 10% dos municípios oferecem este serviço, expondo assim a vulnerabilidade desta região. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece que a coleta seletiva deve ser realizada de forma separada para resíduos domésticos e agroindustriais,

salientando que grandes geradores se responsabilizem pela segregação e destinação final ambientalmente correta (BRASIL, 2010).

Atualmente, a busca por formas de reciclar os diferentes tipos de resíduos, incluindo os orgânicos, é uma problemática muito discutida, visto que o descarte incorreto dos mesmos traz impactos negativos ao meio ambiente e à saúde humana. Segundo Sousa (2023), é de suma importância a implementação de iniciativas que visem a implantação da coleta seletiva e o reprocessamento da fração seca dos RSUs, com o objetivo de reduzir a pressão sob os aterros sanitários e conseqüentemente as emissões de gases do efeito estufa. A ampliação da coleta seletiva implica não somente na reciclagem dos resíduos secos, mas também no melhor aproveitamento dos resíduos orgânicos.

As alternativas para a reutilização desses resíduos envolvem rotas termoquímicas e bioquímicas, com o intuito de originar bioprodutos de alto valor agregado. As rotas termoquímicas, por sua vez, incluem o aquecimento da fração orgânica em condições controladas, envolvendo os processos de combustão, torrefação, pirólise, liquefação e gaseificação (BALAGURUMURTHY *et al.*, 2015). A rota bioquímica é caracterizada pela presença de microrganismos ou enzimas para converter a fração orgânica em moléculas menores, ocorrendo numa taxa de reação mais lenta do que na rota termoquímica (YAASHIKAA *et al.*, 2020). A conversão bioquímica, engloba processos como a hidrólise, fermentação e digestão, sendo este último realizado na ausência (digestão anaeróbica) ou presença de oxigênio (compostagem).

Compostagem é o termo usado para definir o processo de decomposição microbiológica da matéria orgânica por diferentes microrganismos em meio aeróbio, onde os resíduos orgânicos são tratados e estabilizados para produzir o composto orgânico, um produto final estável, que pode ser facilmente utilizado como adubo em áreas agrícolas ou parques e jardins (DUTRA *et al.*, 2013). O processo de compostagem é considerado uma das melhores alternativas para o tratamento dos resíduos orgânicos pois é uma técnica simples, de baixo custo e de fácil execução, é viável economicamente e contribui para que a PNRS seja atendida nos municípios (REIS, 2021). Entretanto, a decomposição dos resíduos orgânicos é relativamente lenta e exige pelo menos cerca de 3 a 5 meses para a obtenção de um composto orgânico maturado, a depender da qualidade do substrato original e das condições do processo, a exemplo da umidade e da frequência de reviragem das leiras. Sendo assim, é importante identificar as melhores condições de processo para otimizar o investimento em trabalho e água, utilizando-se o menor espaço de pátio de compostagem e o menor tempo possível.

A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) tem dimensões equivalentes a um município de pequeno a médio porte, com uma circulação média diária de cerca de 40 mil pessoas, considerando-se os professores, servidores técnico-administrativos, profissionais terceirizados e alunos de graduação e pós-graduação (PGRS/UFPE, 2021). Esse quantitativo de pessoas reflete na geração de RSUs, inclusive na FORSU. Os resíduos orgânicos gerados no Campus Joaquim Amazonas, são compostos principalmente por resíduos alimentares (RA) e podas. Os RAs e uma fração das podas são processados na Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos (BERSO), através da biodigestão anaeróbica e da compostagem, sendo o maior quantitativo de resíduos encaminhados para a compostagem.

Além dos RSUs possuem uma grande proporção de resíduos orgânicos, foi observado que os resíduos de saúde também apresentam uma grande quantidade, que são considerados atualmente como infectantes. Esses resíduos são gerados principalmente nos biotérios de produção, que são locais para criação de animais que serão submetidos a experimentos. Esses resíduos são raspas de madeira, comumente conhecidos como maravalha, que é utilizada como forração das gaiolas onde os animais são mantidos (MAGALHÃES *et al.*, 2019). Após o uso, esses resíduos ficam misturados com as excretas dos animais e, por esse motivo, são atualmente tratados como resíduos do serviço de saúde (RSS).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), em sua Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 222 de 2018, define que os resíduos infectantes (Classe A), atual classificação da maravalha, são gerados a partir de atividades exercidas nos serviços de saúde e que possuem agentes biológicos com grande potencial de contaminação, gerando riscos à saúde humana. Os resíduos infectantes correspondem a 32% de todos os RSS. No ano de 2019 foram gerados mais de 14,9 milhões de toneladas, ficando atrás apenas dos resíduos perfurocortantes (Classe E). Devido a suas características, a destinação adequada é a incineração por uma empresa especializada (SNIS, 2019).

A incineração é a destinação final mais utilizada no mundo para os RSS, e é definida como uma técnica que envolve a queima de materiais orgânicos em alta temperatura e na presença de elevado teor de oxigênio, para assim garantir a combustão completa (MAZZEI e SPECCHIA, 2023). A incineração promove a desinfecção e esterilização dos resíduos, além disso contribui significativamente para a redução do volume, chegando a ordem de 90% (DATTA, MOHI e CHANDER, 2018). Entretanto, a incineração deve ser adotada apenas nos casos em que há o risco de contaminação biológica, devido ao custo elevado de operação para as instituições que destinam seus RSS (ILHA e SOARES, 2023).

Com base nessas informações, a hipótese principal do presente trabalho é que a maravalha gerada nos biotérios de produção, ou seja, onde ocorre a criação dos animais antes de qualquer exposição a fármacos ou contaminação biológica, é um resíduo orgânico que não apresenta riscos de contaminação, portanto não necessita seguir o mesmo protocolo dos RSS. Nesse caso, acredita-se que essa maravalha, na presença de urina e fezes possa ser processada através de compostagem como os demais resíduos orgânicos do campus, como os restos de alimentos, as podas urbanas ou outros resíduos que possam contribuir para sua decomposição. Além disso, acredita-se que a utilização desses outros resíduos, ricos em nutrientes, irão acelerar o processo de decomposição e, com isso, auxiliar na redução do tempo de compostagem e no consumo de recursos hídricos, que são escassos em determinadas regiões do país. Por fim, espera-se reduzir os custos da universidade com a destinação dos resíduos orgânicos dos biotérios.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade do aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos (maravalha) gerados nos biotérios de produção da UFPE através do processo de compostagem.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Estimar a quantidade de maravalha gerada nos biotérios de produção e quantificar o potencial de redução de custos com seu descarte;
- b) Observar qual é a melhor proporção da maravalha, podas, resíduo alimentar e esterco bovino no processo de compostagem;
- c) Analisar a dinâmica do processo de compostagem da maravalha quando adicionada a outros resíduos orgânicos;
- d) Analisar as características físico-químicas e microbiológicas da matéria prima e do composto produzido.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O aumento da população mundial acarretou uma série de problemas ambientais, visto que o consumo excessivo ultrapassou diversas barreiras, e como consequência tem-se a geração de toneladas de resíduos sólidos. De acordo com a Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os resíduos sólidos são definidos como todo material, substância, objeto ou bem descartado, gerados a partir de atividades humanas, cuja destinação final ambientalmente adequada se procede nos estados sólidos, semissólidos, bem como gases e líquidos, que se descartados de forma incorreta causem algum impacto ambiental negativo (BRASIL, 2010). Enquanto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas, define como sólidos e semissólidos que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (ABNT, 2004).

Ambas as definições abordam de forma clara o conceito de resíduos, visando uma compreensão mais ampla para que sejam caracterizados e tenham uma destinação final adequada. De acordo com o art. 13 da PNRS, os RSU são classificados tanto de acordo com a origem quanto com a periculosidade (BRASIL, 2010). E a NBR 10004/2004 os classifica como classe II-A, indicando que podem não ser perigosos ou inertes (ABNT, 2004). Entretanto, o acúmulo desses resíduos em locais inapropriados não está relacionado apenas com a degradação ambiental, mas com o desperdício de recursos naturais e energéticos (ABREU, 2017). Os mesmos são considerados um grande problema das sociedades contemporâneas, pois se manifestam com mais força nas áreas urbanas, conseqüentemente agravam problemas ambientais já existentes e causam o aparecimento de outros. Essas questões refletem a ineficiência da gestão e gerenciamento feito pelos responsáveis (IKUTA, 2009).

Nesse contexto, a PNRS surgiu como forma de assegurar o manejo dos resíduos sólidos, objetivando a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). No entanto, os prazos para o cumprimento da PNRS não foram atendidos, resultando em atrasos no avanço da gestão e gerenciamento dos resíduos. Deste modo em abril de 2022 foi publicado o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), que traça metas para mudar o cenário atual e atender as diretrizes da PNRS até 2040, incluindo a compostagem, digestão anaeróbica, reciclagem, incineração e

coprocessamento (BRASIL, 2022). A reciclagem é uma ferramenta fundamental na gestão dos RSU, pois tem por objetivo reaproveitá-los e dar origem a novos produtos através de processos físico-químicos, além disso, o consumo de água, energia e a pressão sob os aterros são reduzidos (LINO e ISMAIL, 2012).

No Panorama de Resíduos Sólidos (2020), observa-se a composição gravimétrica média dos resíduos: 45,3% de materiais orgânicos; 16,8% de plástico; 10,4% de papel e papelão; 5,6% de têxteis, couros e borrachas; 2,7% vidro; 2,3% de metais; 1,4% de embalagens multicamadas; 14,1% de rejeitos e 1,4% listados como outros. Já no estado de Pernambuco, segundo o Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), a fração dos resíduos orgânicos é ainda maior (56,5%), seguidos dos recicláveis (25,7%) e por fim os rejeitos (17,8%).

3.2 FRAÇÃO ORGÂNICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A FORSU (Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Orgânicos), refere-se a parte dos resíduos sólidos urbanos que pode se decompor por meio de processos biológicos. A geração da fração orgânica é associada com as características, hábitos e costumes de consumo e descarte da população local (GUIMARÃES, 2019). Nesse contexto, com o decorrer da industrialização e com os padrões de vida cada vez mais elevados, os mesmos estão cada vez mais abundantes. A realização incorreta do manejo dos resíduos orgânicos pode se tornar uma grande fonte de contaminação do solo, dos lençóis freáticos e também proliferação de vetores indesejados (RODRIGUES *et al.*, 2015).

3.2.1 Resíduos lignocelulósicos

Os resíduos lignocelulósicos são materiais de base vegetal, caracterizados por serem compostos por celulose, hemicelulose, lignina, óleo, amido e proteínas (BANU *et al.*, 2021). Esses resíduos representam cerca de 60% da geração anual total, e são representados basicamente pelas culturas energéticas, aparas de jardins, restos de preparação de alimentos e resíduos agrícolas/florestais (IEA, 2019). A utilização desses resíduos iniciou-se devido ao aumento da demanda por energia e produtos de valor agregado, que são fornecidos principalmente pelas refinarias petroquímicas.

Atualmente, 85% da matriz energética mundial é baseada em combustíveis fósseis, entretanto a sua utilização exaustiva é associada a impactos adversos no meio ambiente,

especificamente em relação às emissões dos gases que intensificam o efeito estufa (RAJABI *et al.*, 2020). Diante deste fato, a utilização de fontes renováveis de energia, surgiu como uma forma de mitigar esses impactos causados principalmente pela disposição em aterros sanitários, e os resíduos lignocelulósicos possuem um grande potencial para geração de bioprodutos (YAO *et al.*, 2021).

3.2.1.1 Resíduos de podas

Os resíduos de podas são gerados a partir do manejo da arborização urbana, são compostos por galhos, ramos, folhas, sementes, frutos e até mesmo raízes. Os mesmos possuem um grande potencial de utilização, pois são gerados em larga escala e independem do mercado econômico, justamente por sua produção não está associada a atividades industriais (MEIRA, 2010; CHALUPPE, 2013). A geração em larga escala desses resíduos também é classificada como risco potencial para o meio ambiente, além disso são heterogêneos, o que dificulta a sua caracterização (PEREIRA, 2013).

A valoração desses resíduos é compreendida como a reutilização dos mesmos, de modo que a destinação final não seja o aterro sanitário (BIDONE; POVINELLI, 1999). As formas de reutilização desses resíduos podem seguir por duas linhas: aproveitamento com fim energético ou sem fim energético. Com fim energético se enquadram as tecnologias relacionadas a processos físicos (briquetagem e peletização), termoquímicos (combustão, pirólise e gaseificação) e biológicos (digestão anaeróbia). O aproveitamento sem fim energético, parte da reciclagem desses resíduos a partir do processo de compostagem e vermicompostagem (CHALUPPE, 2013; CORTEZ, 2011).

3.2.2 Resíduos alimentares

A perda e o desperdício de alimentos ocorrem durante toda a cadeia de abastecimento. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, o Brasil está entre os 10 países que mais desperdiçam alimentos no mundo, onde cerca de 35% da sua produção anual é descartada como resíduo (FAO, 2015). Com a expansão das zonas urbanas e o aumento populacional, os problemas em relação a gestão e o gerenciamento dos RSU se intensificaram e a infraestrutura sanitária adequada não acompanhou esse ritmo (REZENDE *et al.*, 2013).

As pressões geradas ao meio ambiente a partir da disposição final inadequada dos resíduos orgânicos, envolvem assoreamento dos rios e canais, contaminação de lençóis freáticos, contaminação do solo, proliferação de insetos e roedores, além dos impactos sociais causados, por exemplo aos catadores que trabalham recolhendo os resíduos recicláveis (JUNKES, 2002; ALCÂNTARA, 2010). Além dos impactos supramencionados, o descarte incorreto desses resíduos é responsável por aproximadamente um terço das emissões de gases que intensificam o efeito estufa. Os resíduos alimentares equivalem entre 25,9 e 66,1% do volume total dos RSU (IPCC, 2019). Os mesmos podem ser classificados de acordo com a etapa que se tornou resíduo, ou seja, na etapa de produção, pós-colheita, processamento, distribuição e consumo nas residências (OJHA *et al.*, 2020).

3.2.3 Esterco bovino

As excretas de animais são geradas em larga escala e possuem um grande potencial de fertilização do solo. O esterco é um dejetivo, que pode ser encontrado no estado sólido ou líquido, gerado a partir de animais domésticos. Sua composição química depende do tipo de animal que o originou e do manejo do resíduo (CORTEZ, 2009). O esterco bovino fresco é um resíduo orgânico muito comum devido ao desenvolvimento da pecuária no Brasil, que atualmente contabiliza cerca de 234,4 milhões de cabeças de gado, sendo considerado o segundo maior rebanho do mundo, ficando atrás apenas da Índia. O estado de Pernambuco, possui aproximadamente 2,2 milhões de cabeças de gado, sendo mais concentrada na bacia leiteira que fica localizada no agreste do estado e conta com 27 municípios, sendo Itaíba o com maior número de cabeças (IBGE, 2022).

Segundo Santos (2012) em seu trabalho sobre o estudo energético do esterco bovino, a média de peso do gado é de 300 kg (peso vivo). Considerando que o valor médio de geração é de 0,07 kg de esterco por quilo de peso vivo, estima-se que a produção diária fica em torno de 21 kg/dia por cabeça. Devido a sua abundância e as suas características bioquímicas, o esterco bovino apresenta potencialidade de substituir fertilizantes de origem industrial, conseqüentemente minimizando os impactos da fertilização química nos solos (Li *et al.*, 2018).

O esterco bovino possui uma vasta gama de microrganismos que incluem as bactérias, com *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Enterobacter* e *Corynebacterium*, levedura pertencente aos gêneros *Saccharomyces* e *Candida* e protozoários (RANDHAWA;

KULLAR, 2011). Diante deste fato, é comum o uso do esterco fresco como inoculante em processos de bioconversão, como a compostagem e a biodigestão anaeróbica.

3.3 RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE

Os Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) ou lixo hospitalar como é conhecido é gerado a partir de atividades que prestam assistência à saúde humana ou animal. A RDC nº 222 de 28 de março de 2018, define as fontes geradoras de RSS:

[...] todos os serviços cujas atividades estejam relacionadas com a atenção à saúde humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar; laboratórios analíticos de produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento (tanatopraxia e somatoconservação); serviços de medicina legal; drogarias e farmácias, inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos, importadores, distribuidores de materiais e controles para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de piercing e tatuagem, salões de beleza e estética, dentre outros afins. (ANVISA, 2018, Art. 2º).

Os RSS são classificados levando em consideração as características e os riscos que podem ocasionar danos à saúde e ao meio ambiente. A classificação seguindo a norma da ABNT, é baseada na identificação do processo produtivo (ABNT, 2004). Já a Resolução do Conama nº 358 (CONAMA, 2005) e a RDC 222/2018 (ANVISA, 2018), classificam os RSS em cinco grupos distintos, de acordo com o potencial de riscos:

- **Grupo A:** Resíduos biológicos;
- **Grupo B:** Resíduos químicos;
- **Grupo C:** Resíduos radioativos;
- **Grupo D:** Resíduos comuns;
- **Grupo E:** Resíduos perfurocortantes.

Os resíduos do **Grupo A**, englobam aqueles que possuem presença de agentes biológicos e são divididos em 4 subgrupos (A1, A2, A3 e A4).

- **Subgrupo A1:** culturas, estoques de microrganismos, bem como os meios de cultura e os instrumentos utilizados na transferência, inoculação ou mistura de culturas; bolsas de sangue e hemocomponentes rejeitados por contaminação, por má conservação; sobras de amostras de laboratório contendo sangue ou líquidos corpóreos, etc.
- **Subgrupo A2:** carcaças, peças anatômicas, vísceras e outros resíduos provenientes de animais submetidos a processo de experimentos com inoculação de microrganismos, bem como suas forrações; cadáveres de animais suspeitos de serem portadores de microrganismos de relevância epidemiológica, etc.

- **Subgrupo A3:** peças anatômicas (membros) de ser humano; produto de fecundação sem sinais vitais, com peso menor que 500 g, etc.
- **Subgrupo A4:** kits de linhas arteriais, endovenosas e dialisadores; filtros de ar e gases aspirados de área contaminada; sobras de amostras de laboratório e seus recipientes contendo fezes, urina e secreções; resíduos de tecidos adiposo proveniente de lipoaspiração; peças anatômicas (órgãos ou tecidos) e outros resíduos provenientes de procedimentos cirúrgicos; carcaças e vísceras de animais não submetidos a processos de experimentação, etc.

O **Grupo B** é aquele que apresenta resíduos que contém substâncias químicas que apresentam riscos à saúde e ao meio ambiente, como: produtos hormonais e antimicrobianos, resíduos contendo metais pesados, reagentes de laboratórios, efluentes de equipamentos automatizados utilizados em análises clínicas e demais, conforme a classificação da ABNT NBR 10.004.

O **Grupo C** é composto por materiais radioativos que contém radionuclídeos que devem seguir especificações e normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), tendo em vista seu potencial de risco.

No **Grupo D** estão os resíduos comuns como, papel de uso sanitário, resto alimentar de refeitório, resíduo de gesso proveniente de assistência à saúde, resíduos vegetais, etc. Os mesmos não apresentam potencial de contaminação e seguem para destinação final específica.

Por fim, o **Grupo E** apresenta os materiais perfurocortantes, como: lâminas de barbear, ampolas de vidro, agulhas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, ponteiros de micropipetas e todos os materiais de vidro quebrados nos laboratórios.

3.3.1 Resíduos de maravalha

A maravalha é o termo usado para denominar as raspas de madeiras em forma de espiral, maiores que a serragem, geralmente oriundas do processamento de madeira de Pinus ou eucalipto. A maravalha é uma biomassa lignocelulósica, comumente usada como “cama” em gaiolas para manter a higiene e a esterilização principalmente de animais de laboratório (BLOM, 1996; KAWAKANI, 2007). As pesquisas utilizando animais, são de suma importância, pois estão ligadas diretamente à saúde humana. A utilização de animais no meio científico data do século 19, entretanto, no século surgiram debates frente às questões éticas dessa atividade. Mesmo com diversas iniciativas para reduzir o uso de animais em

experimentos, nos dias atuais ainda se fazem necessários, pois contribuem de forma inquestionável para o melhoramento da qualidade de vida humana e animal (PAIXÃO, 2001).

Nesse contexto, a preocupação com o bem-estar animal encorajou experimentos, com a intenção de melhorar as condições de manuseio, objetivando assim a minimização do estresse animal (MARONA; LUCCHESI, 2003). Desde 1995, o Brasil atua na área de pesquisas e desenvolvimento biotecnológico de organismos geneticamente modificados (ODA, 2001). Como intuito de manter o bem-estar dos animais, foram criados os biotérios, que são instalações dotadas de características próprias, que atendem às exigências dos animais onde são criados ou mantidos, proporcionando-lhes bem-estar e saúde para que possam se desenvolver e reproduzir, bem como para responder satisfatoriamente aos testes neles realizados (ANDRADE; PINTO; OLIVEIRA, 2002).

Os mesmos são classificados em: de produção, manutenção e experimentação, neles são criados animais, principalmente ratos e camundongos (ANDRADE; PINTO; OLIVEIRA, 2002). Os biotérios de produção são específicos para reprodução das espécies, nele se encontram as matrizes reprodutoras de diferentes espécies, além de definir e padronizar algumas características inerentes à espécie e linhagens na prole antes de serem destinados à experimentação. Já os biotérios de manutenção são aqueles designados para acomodação de animais que vieram de fontes externas, não possuem matrizes e nem podem ser usados para procedimentos experimentais. Esses animais devem passar por um período de aclimação, para assim poderem ser utilizados. Por fim, os biotérios de experimentação, como o próprio nome sugere, é o local onde os animais são submetidos a experimentos (MENEZES, 2022).

O comportamento e a fisiologia de um animal de biotério são influenciados diretamente pelo ambiente em que vivem. Deste modo, é de extrema importância assegurar esses padrões para o desenvolvimento pleno dos animais (SHERWIN, 2004; MEDINA, 2011; ANDRADE *et al.*, 2018). Um dos fatores que os influenciam é a “cama” utilizada nas gaiolas, comumente conhecida como maravalha. Após o uso nas gaiolas, a mesma acumula uma grande quantidade de excretas. De acordo com a RDC ANVISA Nº 306/2004, a maravalha produzida nos biotérios é classificada como um resíduo infectante (A2), do serviço de saúde e, portanto, é considerada como um resíduo perigoso (RDC ANVISA nº 306, 2004). Entretanto, isso não acontece com os animais do biotério de produção, pois não são submetidos a nenhum experimento. Devido a isso essa maravalha pode ser encaminhada para uma reciclagem alternativa, como a compostagem (BLOM, 1996; KAWAKANI, 2007).

3.4 ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA RECICLAGEM DA FORSU

A reciclagem dos resíduos orgânicos não só reduz a pressão sob os aterros sanitários, mas também possibilita a preservação dos recursos naturais e a economia de energia (JUNKES, 2002). O aproveitamento desses resíduos é uma alternativa para agregar valor a novos produtos, no entanto, os mesmos apresentam diversas fontes, tipos e níveis de recalcitrância, por estes motivos não existe um único método de bioconversão (HOLWERDA *et al.*, 2019). Segundo Chaluppe (2013), existem duas formas de valorização desses resíduos: com aproveitamento energético e sem aproveitamento energético.

No aproveitamento energético, estão inclusas as tecnologias relacionadas a processos físico-químicos (briquetagem e peletização), termoquímicos (combustão, pirólise e gaseificação), bioquímicos (hidrólise e fermentação) e biológicos (digestão anaeróbia). Já em relação ao aproveitamento não energético, destaca-se a compostagem, que é considerada uma alternativa promissora na gestão e transformação dos resíduos orgânicos e na geração de um produto de valor agregado (CHALUPPE, 2013; CORTEZ, 2011; QUEIROZ *et al.*, 2009).

3.5 COMPOSTAGEM

Estima-se que entre 12 e 10 mil anos atrás, grupos de diferentes partes do planeta perceberam que era possível enterrar grãos para produzir novas plantas comestíveis, e assim iniciou-se a prática da agricultura (ABREU, 2017). Neste contexto, foi observada a existência de um fenômeno natural de fertilização do solo. Essa fertilização foi observada em locais com acúmulo de folhas, frutos, galhos, que sofrendo influência das condições climáticas, iniciava a decomposição e reciclagem natural da matéria orgânica. As atividades microbiológicas eram nítidas, gerando no decorrer do tempo o húmus, que tornava o solo mais fértil. Diante disso, supõe-se que os antigos agricultores, observaram esse processo e passaram a recolher o húmus e depositar nos locais de cultivo (COUTINHO, 2020).

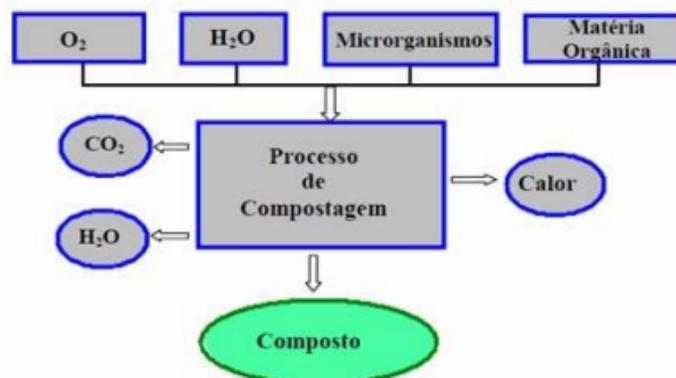
O método que é conhecido como o processo de compostagem, começou a ser estudado cientificamente e aplicado de forma racional por Albert Howard em 1947, que desenvolveu o método Indore de compostagem. Este método foi implantado na Índia para produção de fertilizante orgânico (KIEHL, 1985). No Brasil, esse processo teve início no Instituto Agrônomo de Campinas em 1888, como forma de substituir os fertilizantes minerais que eram importados (GLEISSMAN, 2000).

De acordo com a NBR 13.591/1996, a compostagem é definida como:

Processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, desenvolvido por uma vasta população 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).

Câmara (2001) define como o processo de transformação de matéria orgânica em húmus, gás carbônico, calor e água, através da ação dos microrganismos, responsáveis pela ciclagem de nutrientes no solo, ocorrendo o tempo todo na natureza (Figura 1).

Figura 1 - Esquema das entradas e saídas do processo de compostagem



Fonte: IGUCHI, 2008.

Por ordem, as proteínas solúveis, açúcares e os amidos encontrados nos resíduos orgânicos são decompostos primeiro por serem assimilados de forma mais fácil pelos microrganismos. Em seguida e mais lentamente, a celulose, hemicelulose, gorduras e resinas são decompostos e, por fim a lignina e os taninos que são considerados mais resistentes e requerem um período maior para se decompor (IGUCHI, 2008). A duração do processo depende de fatores ambientais, natureza e quantidade dos resíduos, população microbiana e balanço de nutrientes (CARVALHO, 2015).

O processo é caracterizado por apresentar 3 fases distintas: mesófila, termófila e criófila ou de maturação. A fase mesófila é caracterizada por ser a mais curta do processo, durando entre 2 a 5 dias, nela predominam fungos e bactérias mesófilos produtores de ácidos, que colonizam a matéria orgânica iniciando o processo de decomposição. Nessa fase, ocorre a liberação de calor e vapor d'água, com formação de ácidos e toxinas de curta duração (CARVALHO, 2015). O aumento da atividade microbiana eleva a temperatura acima de 40° C, dando início a fase termófila

Na fase termófila pode atingir temperaturas de 70°C, possuindo a capacidade de quebrar proteínas, gorduras, polímeros como celulose, hemicelulose e a lignina que é uma estrutura tridimensional que confere resistência às plantas. Por fim, há a morte de microrganismos patogênicos, insetos, vermes e sementes (CASTALDI *et al.*, 2005). Após a diminuição na oferta de nutrientes que fornecem energia, a população de microrganismos termófilos diminui suas atividades diminuindo a temperatura, dando lugar novamente aos microrganismos mesófilos que iniciam o processo de maturação do composto.

Na fase de maturação ou criófila, a temperatura fica entre 20 e 30°C e pode durar até 60 dias. Nela ocorre a humificação do composto orgânico, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica, como nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, que passam da forma orgânica para a inorgânica, ficando disponíveis às plantas (KIEHL, 1985). Durante o processo também pode-se observar a atividade de organismos da macrofauna como gôngolos, formigas e minhocas, que degradam os resíduos mais resistentes que não tenham sido decompostos pelos microrganismos. Ao final é obtido um substrato de alto valor químico-físico-biológico, podendo ser usado como fertilizante orgânico (PIRES; FERRÃO, 2017). O composto, nome dado a esse substrato, vem do latim “*compositu*”, que significa um complexo de vários elementos juntos (SOUZA; REZENDE, 2006).

A compostagem é considerada uma alternativa economicamente viável para a disposição ambientalmente correta da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (CORRENTE *et al.*, 2001). Além disso, é uma alternativa de baixo custo e sanitariamente eficiente, e o uso do composto favorece não somente as plantas, mas também a população microbiana do solo (OLINTO *et al.*, 2013).

3.5.1 Componentes biológicos fundamentais no processo de compostagem

O processo de transformação biológica da matéria orgânica ao estado de matéria orgânica humificada, dá-se pelo trabalho dos microrganismos que são os principais responsáveis por esta tarefa, deste modo, são influenciados por fatores que afetam suas atividades (REIS, 2005). Os microrganismos principais e mais comuns no processo de compostagem são as bactérias, os fungos e os actinomicetos (BIDONE; POVINELLI, 1999).

Além desses, a compostagem ainda conta com uma vasta gama de organismos, presentes na megafauna do solo, como: protozoários, nematóides, vermes, insetos e suas larvas (KIEHL, 1998). Esses, atuam principalmente na última fase do processo, degradando o restante dos resíduos mais resistentes. Na fase mesófila, atuam principalmente fungos e

bactérias mesófilos, que com suas atividades metabólicas elevam a temperatura a 40 °C, os mesmos produzem ácidos orgânicos e pequenas quantidades de ácidos minerais (KIEHL, 1985).

Na fase termofílica a população dominante será de actinomiceto, fungos e bactérias termófilas, que são características por suportarem altas temperaturas (70 °C). Com a diminuição da temperatura, os microrganismos mesófilos reaparecem para iniciar a fase de humificação, sintetizando os polímeros complexos, criando um substrato para futuras atividades biológicas (SHARMA *et al.*, 1997).

3.5.1.1 Fungos

Os fungos são organismos heterotróficos obrigatoriamente aeróbicos, obtém sua alimentação a partir da matéria orgânica morta nutrindo-se a partir dela. No processo de compostagem, são responsáveis por degradar resíduos lignocelulósicos, como o próprio nome diz, são aqueles ricos em celulose e lignina, onde se espalham e crescem vigorosamente, produzindo muitas células e filamentos. Os gêneros mais comuns no processo são: *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus* e *Trichoderma* (BAETA-HALL, 2003).

3.5.1.2 Bactérias

As bactérias são seres unicelulares procariontes, sendo as mais numerosas presentes na massa orgânica da compostagem. As características marcantes deste grupo para o processo são: as exigências nutritivas, condições físicas favoráveis e reprodução (DEVENS, 1995). As bactérias absorvem P, N, Mn, Fe, Zn, Cu e outros elementos de substâncias orgânicas. Quanto às exigências atmosféricas, o oxigênio e o dióxido de carbono são os principais gases que afetam o crescimento bacteriano (PELCZAR *et al.*, 1980).

3.5.1.3 Actinomicetos

Os actinomicetos são bactérias filamentosas ramificadas que se assemelham com os fungos. Não formam esporos como as outras bactérias, mas se reproduzem em ambientes com poucos nutrientes, altas temperaturas e também conseguem degradar compostos orgânicos existentes, estando presentes principalmente na fase termofílica (HASSEN, *et al.*, 2001).

3.5.2 Fatores que influenciam o processo de compostagem

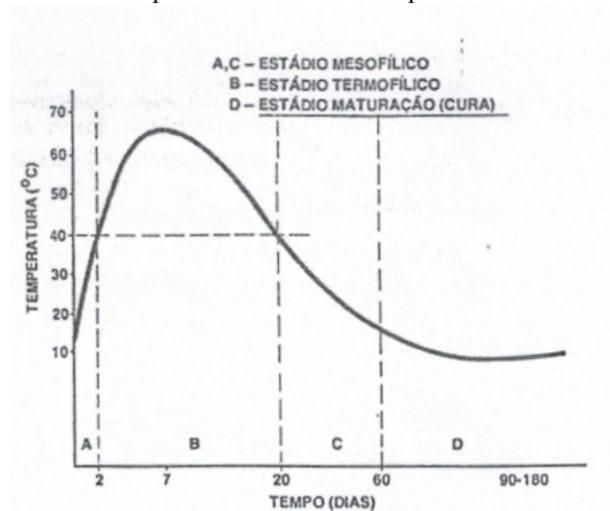
Existem vários fatores que influenciam e determinam se o processo de compostagem está ocorrendo corretamente, dentre eles estão:

3.5.2.1 Temperatura

A temperatura é considerada um fator determinante no processo de compostagem, visto que a variação da mesma promove o desenvolvimento microbológico, além de ser um parâmetro muito útil para monitorar a evolução do processo e a degradação da matéria orgânica. A temperatura varia de acordo com as fases da compostagem, podendo variar entre 40 °C a 70 °C (Figura 2). Na fase mesófila inicial, a temperatura atinge os 40 °C, nela os microrganismos mesófilos, iniciam suas atividades metabólicas decompondo compostos mais solúveis.

Na fase termófila, os microrganismos mesófilos dão lugar aos termofílicos, elevando a temperatura até 70°C, ocorrendo a degradação da lignina e celulose, além da higienização do composto, eliminação de patógenos e ervas daninhas eventualmente presentes no material (BOLLEN, 1984; MARQUES E HOGLAND, 2002). Por fim, a temperatura oscila entre 25°C e 30 °C, o que indica o início da fase de maturação ou criófila. A população bacteriana é baixa, sendo encontrados fungos e actinomicetos (SILVA, 2003). Temperaturas acima de 70°C reduzem drasticamente a população de microrganismos e conseqüentemente a eficiência do processo, causando aumento no período de compostagem e alteração da qualidade do composto (HERBERTS *et al*, 2005).

Figura 2 – Variação da temperatura na pilha durante os dias do processo de compostagem. As letras A, B, C e D representam cada fase do processo



Fonte: PEIXOTO (1998).

3.5.2.2 Aeração

O oxigênio desempenha um papel essencial na decomposição da matéria orgânica, pois é responsável pela oxidação biológica do carbono dos resíduos, gerando energia para os microrganismos presentes desenvolverem suas funções metabólicas. A regulação do oxigênio nas pilhas de compostagem em níveis adequados, tem a função de equilibrar a temperatura interna, removendo o excesso de calor, do vapor d'água e de eventuais gases produzidos pela decomposição da matéria orgânica (HERBERTS *et al.*, 2005).

A aeração das pilhas de compostagem é realizada através do revolvimento, que consiste em misturar a matéria orgânica periodicamente, deixando-a uniforme. Além do revolvimento pode ser feita por aeração forçada, que consiste na utilização de um ventilador ligado a tubos perfurados e instalados no interior da pilha (SILVA *et al.*, 2003; TEIXEIRA, *et al.*, 2002; WEI *et al.*, 2000). De acordo com Azevedo (1997), a concentração de oxigênio deve estar na faixa de 5% a 15%, sendo considerada a faixa ideal e abaixo de 5% acontece a anaerobiose na pilha.

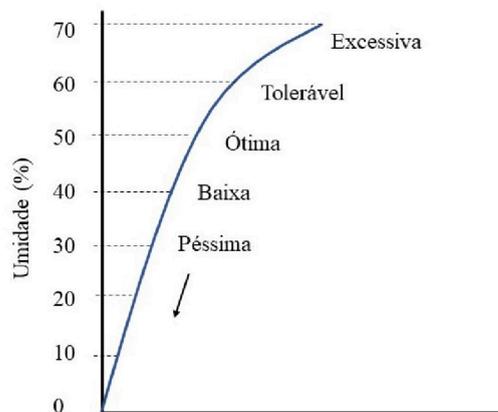
3.5.2.3 Umidade

A água é fundamental para toda e qualquer atividade, incluindo as microbiológicas, que envolvem reações bioquímicas, captação de nutrientes e divisão celular. De acordo com

Haug (1993), a porcentagem ideal de água no processo de compostagem encontra-se na faixa de 20% a 40%, entretanto, Hamoda (1998) constatou que a degradação do carbono orgânico total ocorre com a umidade em torno de 60% (Figura 3).

A umidade acima de 60% leva a condição de anaerobiose e abaixo de 40% diminui as atividades microbiológicas, aumentando o período de decomposição da matéria orgânica (REIS *et al.*, 2004). Como consequência da anaerobiose, o excesso de umidade é prejudicial para o processo, pois ocupa os espaços existentes entre as partículas orgânicas, dificultando a circulação de ar. (TEIXEIRA *et al.*, 2002; WANGEN; FREITAS, 2010).

Figura 3: Umidade no processo de compostagem



Fonte: D'ALMEIDA e VILHENA (2000).

3.5.2.4 Relação C/N

A compostagem é um processo biológico e para suprir as necessidades dos seres vivos presentes é necessário fornecer as condições ideais, principalmente em relação aos requisitos nutricionais. A relação carbono/nitrogênio é apontada com um importante indicador do potencial de disponibilização do N presente nos resíduos orgânicos (OLIVEIRA *et al.*, 2012). O Nitrogênio é um componente essencial nas proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e coenzimas necessárias ao crescimento e funcionamento celular (ESCOLAS VERDES, 2005).

A proporção considerada ideal para iniciar o processo é 30/1, pois é considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos. Kiehl (2004), estima que a proporção mais favorável para se ter uma compostagem mais rápida e eficiente seria de 26/1 e 35/1. O carbono é utilizado como fonte de energia, onde dez partes são assimilados e convertidos da forma mineral para a orgânica e incorporados no protoplasma celular do organismo, e as vinte

partes restantes são eliminadas na atmosfera na forma de gás carbônico (LIMA, 1991). Caso a relação C/N seja muito elevada o período de compostagem se torna mais extenso devido à falta de nitrogênio (EMBRAPA, 2009). Entretanto, se o nitrogênio estiver muito elevado o consumo de oxigênio se torna maior, podendo causar zonas de anaerobiose (FRITSCH, 2006).

Ao montar a leira ou pilha de compostagem com a proporção correta, o nitrogênio não se perderá, havendo a perda carbono, diminuindo assim a relação C/N até chegar na proporção de 18/1, onde o composto é considerado estabilizado. O composto estabilizado pode ser utilizado como adubo orgânico, sem oferecer qualquer risco às plantas. Caso a compostagem continue, a relação termina entre 8/1 e 12/1, considerado ponto final, onde a matéria orgânica está humificada, curada e maturada (KIEHL, 2005).

3.5.2.5 pH (Potencial hidrogeniônico)

Não é considerado um fator limitante, visto que na compostagem existe uma vasta gama de microrganismos que se adaptam a diferentes faixas de pH. Para iniciar o processo uma faixa ótima é em torno de 5,5 e 8,5, podendo ocorrer fora dela sem problemas (SILVA, *et al.* 2003). Para o desenvolvimento otimizado da maioria das bactérias, pH fica em torno de 6 a 7,5.

Entretanto, para o desenvolvimento dos fungos, o pH ideal está na faixa de 5 a 8,5. Por via de regra, durante a compostagem, o pH tende a ficar na faixa alcalina, variando de 7,5 a 9,0 (FRITSCH, 2006). Em síntese, foi observado em vários estudos utilizando a compostagem de resíduos urbanos e lodo de esgoto, que o pH varia bastante durante o processo, mas que é autorregulado através da atividade dos microrganismos. Concluindo, portanto, que o pH não é um fator crítico, mesmo sendo difícil de regular durante o processo (PEREIRA NETO, 1989).

3.5.2.6 Tamanho das partículas

O tamanho das partículas exerce uma grande influência no período de compostagem, levando em consideração que, quanto mais o resíduo estiver fragmentado mais rápido ocorrerá a decomposição do mesmo. Isso ocorre pois quanto menor for a partícula maior será a superfície de contato entre os microrganismos e os nutrientes. Entretanto, partículas muito pequenas geram problemas com a aeração, pois tendem a compactar, impedindo a circulação do oxigênio, que é necessário para que o processo ocorra (FRITSCH, 2006).

Por outro lado, resíduos grandes retardam a decomposição por conterem pouca umidade e apresentarem menor superfície de contato com os microrganismos (CARVALHO, 1999). Levando em consideração as questões de execução, a granulometria do resíduo se torna um limitante, por fatores de ordem operacional e principalmente econômico, devido aos altos custos de equipamentos para trituração (PEREIRA NETO, 1989).

3.5.3 Vantagens e desvantagens do processo de compostagem

A compostagem é considerada uma alternativa promissora na gestão e transformação dos resíduos orgânicos e na geração de um produto de alto valor agregado e ambientalmente adequado para os sistemas de produção (QUEIROZ *et al.*, 2009). De acordo com Russo (2003), a compostagem possui inúmeras vantagens como:

- Ação microbiana acelerada sobre a matéria orgânica, oxidando-a e tornando-a estável com mínima produção de odores;
- Eliminação de possíveis patógenos que podem contaminar animais ou plantas;
- Baixo consumo de energia se comparado com outras formas de tratamentos dos resíduos orgânicos;
- Melhora as propriedades do solo principalmente nos aspectos de fertilidade, estrutura, poder tampão, aumento da CTC, retenção de água e diminuição da temperatura (RICCI *et al.*, 2006).

Do ponto de vista ambiental, ocorre a diminuição da emissão do gás metano, entretanto, as emissões de amônia para atmosfera são elevadas. A disposição da amônia contribui para a acidificação e a eutrofização dos ecossistemas, além disso sua perda reduz o valor do composto (WANG, 2017). A nitrificação é um processo de oxidação biológica da amônia para o nitrato, intermediado por diversas comunidades microbianas (GE *et al.*, 2015). A nitrificação ocorre naturalmente no final do processo de compostagem (maturação), entretanto, alguns artigos mostram que pode acontecer também na fase termofílica (CÁCERES, 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

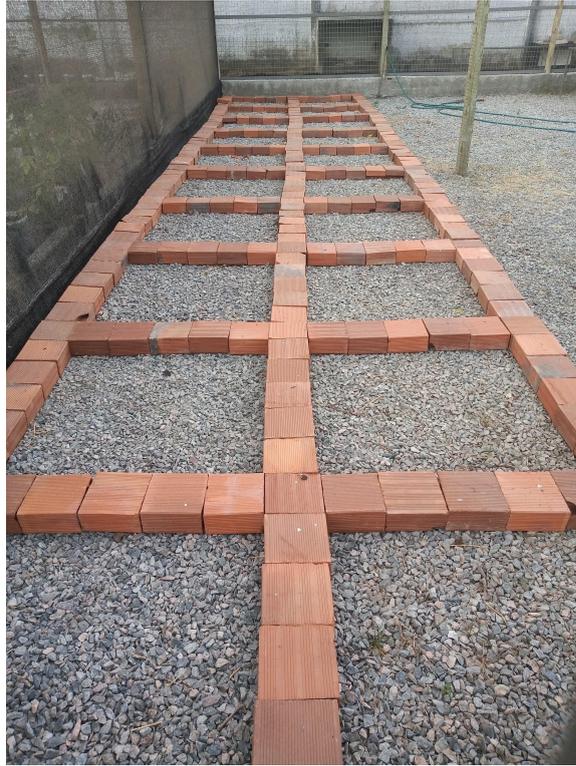
4.1 DADOS DE GERAÇÃO DE MARAVALHA, CUSTO E DESTINAÇÃO FINAL

As informações relacionadas ao quantitativo de resíduos de maravalha foram obtidas a partir de pesquisa realizada juntamente com os setores da UFPE responsáveis pelos biotérios e com o funcionário responsável pela coleta dos resíduos infectantes, classe ao qual o resíduo de maravalha está associado atualmente. Quanto aos resíduos alimentares, o quantitativo foi obtido através da Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos (BERSO), que recebe a geração total de resíduos alimentares do restaurante universitário (RU). Os custos relacionados à destinação final dos mesmos foram obtidos com o auxílio da Diretoria de Sustentabilidade Ambiental da UFPE.

4.2 LOCAL DO EXPERIMENTO

Este estudo foi desenvolvido na casa de vegetação localizada na Biorrefinaria Experimental de Resíduos Sólidos Orgânicos (BERSO), no Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE, em Recife. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima do município é 'As', ou seja, tropical quente úmido com chuvas de outono-inverno (KÖPPEN, 1931). A casa de vegetação possui 240 m². Foram realizados dois experimentos para avaliação do processo de decomposição da maravalha. Para o primeiro experimento foi montada uma base com tijolos de alvenaria de 8 furos (Figura 4), com 1 m de largura por 1 m de comprimento. Em seguida a base foi coberta com uma lona plástica preta para evitar que o chorume gerado infiltrasse no solo, permitindo assim que o mesmo fosse coletado e incorporado novamente às pilhas (Figura 5). No segundo experimento foi utilizada uma lona plástica de cor azul, mais resistente que a lona anterior, que apresentou furos durante o período do experimento.

Figura 4– Base construída com tijolos de alvenaria (1x1)



Fonte: A Autora (2022).

Figura 5– Base coberta com lona



Fonte: A Autora (2022).

4.3 PRIMEIRO EXPERIMENTO

Para a montagem do primeiro experimento foi utilizada maravalha coletada nos biotérios de produção dos departamentos Antibióticos e de Fisiologia. No biotério de antibióticos foram realizadas 7 coletas e o de fisiologia 4, entre os dias 22/08 a 22/10/2022, totalizando 211,9 Kg de resíduos de maravalha. Em ambos, são produzidos camundongos (*Mus musculus*), neste caso, suas excretas também estão presentes nesses resíduos.

A compostagem foi realizada através de pilhas de 20 kg em formatos de cone, com 50 cm de altura e 1 m de largura. Além do resíduo de maravalha também foram utilizados resíduos de podas, como folhas, capim e grama, os quais são recolhidos em grandes quantidades no campus da UFPE. Foram realizados 5 tratamentos com 4 repetições cada: T1: 100% de podas (controle); T2: 75% de podas e 25% de resíduo de maravalha; T3: 50% podas e 50% de resíduo de maravalha; T4: 25% de podas e 75% de resíduo de maravalha; T5: 100 % de resíduo de maravalha.

A montagem foi efetuada no dia 9 de novembro de 2022 (Figura 6), de acordo com as proporções de cada tratamento, sendo misturados dentro de uma caixa d'água de 1000L e umedecidos com água mantendo a porcentagem de 60%, e distribuídos em delineamento inteiramente casualizados (DIC) com 5 tratamentos e 4 repetições. Após a montagem, as pilhas foram reviradas inicialmente a cada 7 dias, até concluir o primeiro mês e, após esse período, as reviragens foram realizadas a cada 15 dias até o final do experimento. A temperatura foi aferida diariamente no primeiro mês, após esse período foi aferida de acordo com as reviragens, utilizando um termômetro tipo espeto em 3 partes da pilha: base, meio e topo, obtendo uma média.

As amostras para análise foram coletadas antes de cada reviragem, sendo colocadas em recipientes de alumínio e armazenadas em caixa de isopor, para evitar a perda da umidade. Após a coleta, as mesmas foram encaminhadas ao laboratório e pesadas em balança de precisão, em seguida colocadas em estufa de ventilação forçada a 65°C por 72 horas.

Figura 6 – 1º Experimento montado (09/11/2022)



Fonte: A Autora (2022).

4.4 SEGUNDO EXPERIMENTO

O segundo experimento foi elaborado utilizando além dos resíduos de maravalha, os resíduos alimentares e o esterco bovino. Os resíduos de maravalha foram coletados entre os dias 10/07 à 28/07/2023, nos biotérios de Nutrição e Fisiologia, os resíduos alimentares foram coletados no Restaurante Universitário, triturados e armazenados até a montagem. O esterco bovino foi coletado no Instituto Federal de Pernambuco - Campus Vitória de Santo Antão, no dia 08/08/2023. Ambos os resíduos foram previamente pesados e separados de acordo com cada tratamento.

Este experimento contou com 4 tratamentos e 5 repetições: T1: 25% de resíduo alimentar e 75% de resíduo de maravalha; T2: 50% de resíduo alimentar e 50% de resíduo de maravalha; T3: 25% de esterco bovino e 75% de resíduo de maravalha; T4: 50% de esterco bovino e 50% de resíduo de maravalha.

A montagem do segundo experimento foi realizada no dia 08/08/2023 (Figura 7), seguindo a mesma linha do primeiro. Com o auxílio de uma caixa d'água de 1000 L, os resíduos foram misturados e umedecidos com água, de acordo com a necessidade e com os

tratamentos. Os mesmos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 5 repetições. As reviragem, aferição de temperatura e coleta de amostras seguiu o mesmo protocolo descrito para o primeiro experimento.

Figura 7 – 2º Experimento montado (08/08/2023)



Fonte: A Autora (2023).

4.5 ANÁLISES LABORATORIAIS

As análises de umidade, pH, carbono orgânico e nitrogênio total, foram realizadas no Laboratório de Energia da Biomassa no DEN-UFPE. As amostras foram coletadas semanalmente, no primeiro mês e, após a cada 15 dias antes da reviragens até o final do experimento, as mesmas foram pesadas e secas em estufa de ventilação forçada (TE-394/1, Tecnal) a 65°C por 72 horas, e posteriormente trituradas em moinho tipo Wiley para passar em peneira de 100 mesh. Por fim, as análises de macro e micronutrientes (P, K, Na, Ca e Mg) foram realizadas nas amostras do último mês do processo, no Laboratório de Análise de Solo e Tecido Vegetal, localizado em Petrolina no Instituto Federal do Sertão Pernambucano.

4.5.1 Umidade e pH

O percentual de umidade foi determinado pela diferença de massa seca e massa úmida. As amostras foram coletadas, pesadas e secas, como já foi supramencionado. Após a obtenção dos valores de massa úmida e massa seca, foi utilizada a seguinte equação de acordo com a NBR 14.929 (ABNT, 2017):

$$U = \frac{AU-AS}{AU} * 100\% \quad (1)$$

Onde:

U: Percentual de umidade;

AU: Amostra Úmida;

AS: Amostra Seca;

Para obter potencial hidrogeniônico (pH) das amostras, inicialmente foi utilizado o mesmo princípio da metodologia para solos (1:2,5), no entanto devido às características da biomassa e sua tendência a se tornar pastosa com esse quantitativo de água, houve a necessidade de aumentar o volume de água e diminuir a quantidade de massa. De acordo com Souza *et al.* (2013) diluições de 1:5 e 1:10, utilizando 3 g de massa, apresentam valores de pH semelhantes e não diferem estatisticamente. Para este trabalho foi considerada a diluição de 1:5, sendo pesadas 3 gramas de amostras e adicionadas a um erlenmeyer de 50 ml, juntamente com 50 ml de água destilada. Logo após, foi agitado por cerca de 1 minuto e deixado em repouso por 30 minutos. Após esse período, o pH foi medido em cada amostra utilizando-se o pHmetro de bancada (BEL-Engineering) (SOUZA *et al.*, 2013; DONAGEMA *et al.*, 2011).

4.5.2 Carbono orgânico

Para determinação do carbono orgânico, foi utilizada a metodologia da Embrapa para solos, adaptada para a biomassa. Inicialmente, foram pesadas amostras de 0,015 mg de biomassa e transferidas para um tubo de ensaio. Após isso, foram adicionados 5,0 ml da solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ 0,167 M) e 7,5 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, sob capela. Os tubos foram levados para a placa aquecedora aquecida previamente a temperatura de 170°C, mantidos por 30 minutos e, após esse período, deixados para resfriar. Em seguida, o conteúdo do tubo foi transferido para um erlenmeyer e diluído

com cerca de 50 ml de água destilada. Adicionaram-se 4 gotas do indicador ferroin, e a titulação foi realizada com o sulfato ferroso amoniacal ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$) (EMBRAPA, 2009). Os teores de carbono orgânico foram calculados pela seguinte equação:

$$A = \frac{[(V_{ba} - V_{am}) \cdot (V_{bn} - V_{ba})]}{V_{bn}} + (V_{ba} - V_{am}) \quad (2)$$

Onde :

Vba: volume gasto na titulação do branco (controle) com aquecimento;

Vbn: volume gasto na titulação do branco (controle) sem aquecimento;

Vam: volume gasto na titulação da amostra;

4.5.3 Nitrogênio total

Para determinação do nitrogênio, foi utilizada a metodologia de Kjeldahl (THOMAS; SHEARD; MOYER, 1967). Foram pesados 0,250 mg da amostra, a qual foi transferida para um tubo de ensaio e adicionados 5 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4). O tubo seguiu para placa aquecedora a uma temperatura de 350°C por 30 minutos, logo após retirado e deixado para esfriar por 10 minutos. Em seguida adicionado 0,5 ml de peróxido de hidrogênio (35% PA) e levado novamente para a placa aquecedora por 8 minutos, logo após retirado e deixado esfriar por mais 10 minutos. O procedimento de adição do peróxido ocorreu sucessivamente até a amostra ficar transparente, e por fim o tubo permaneceu na placa digestora por 30 minutos para eliminar totalmente o peróxido. A amostra digerida foi transferida do tubo para um balão volumétrico de 50 ml, e o restante completado com água destilada.

Logo após a etapa de digestão, foi feita a destilação. Utilizou-se o aparelho de destilação de nitrogênio (TE-0363, Tecnal). Para isso, 20 ml da amostra foram pipetados em um tubo de ensaio, em paralelo foram pipetados 10 ml de solução de ácido bórico (99,5% PA) em erlenmeyer de 125 ml, e 10 ml de NaOH 13N no copo do destilador. Após ligar o equipamento, deixou-se destilar até atingir o quantitativo de 50 ml no erlenmeyer. Por fim, o líquido adquire uma coloração azulada, e a titulação foi feita com HCl 0,0743 N, até a cor mudar para rosa. O volume de HCL utilizado foi igual ao valor da porcentagem de nitrogênio.

4.5.4 Coliformes termotolerantes

Adicionalmente, foi realizada a análise para avaliar a presença de coliformes termotolerantes e de *Escherichia coli* no composto produzido. As análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA-UFPE) em parceria com a aluna de mestrado Vitória Ribeiro. Inicialmente, foi feita a pesagem de 30 g de amostra em um erlenmeyer estéril de 500 ml, e adicionados 270 ml de água deionizada, agitando manualmente por 2 minutos em baixa velocidade. Em seguida, foram realizadas as diluições em tubos de ensaio contendo 90 ml de água deionizada e 10 ml do homogeneizado do erlenmeyer, as diluições ocorreram em uma escala de até 10^{-4} , e foram reduzidas nas análises seguintes. Por fim, foi adicionado ao meio A1 de concentração dupla, e transferido para a cartela, selando e incubando por 24h a 35°C. O teste utilizado foi o Colilert[®], de presença e ausência, utilizando a tabela Quanti-Tray/2000 (IDEXX laboratories, USA).

Para determinar a presença de coliformes termotolerantes, observa-se a coloração dos poços, que devem ser consideradas positivas caso apresente coloração amarela. A detecção de *Escherichia coli*, é observada com a utilização de lâmpada UV. Os resultados foram observados e calculados de acordo com a tabela de números mais prováveis (NMP) e são expressos em NMP/100g.

4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software estatístico R 4.1.3 (Foundation for Statistical Computing, 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maravalha é um resíduo extremamente resistente e de difícil decomposição, e é justamente devido a essas características que é utilizado como material para criação de animais em biotérios, pois pode manter por mais tempo o ambiente limpo, sem mau cheiro e sem a proliferação de microrganismos. Por ser um resíduo lignocelulósico, sua estrutura é complexa, sendo composta principalmente por: celulose, hemicelulose e lignina (ANSARI *et al.*, 2023). Atualmente, entre 30% e 75% desses resíduos são reciclados em alguns países, enquanto a maioria o trata como rejeito, descartando-o de qualquer modo (GUO *et al.*, 2020). Percebe-se portanto, que essa biomassa residual lignocelulósica permanece inutilizada, necessitando de mais atenção a nível global (GUO *et al.*, 2020).

No caso da maravalha de biotérios avaliada no presente estudo, o desperdício é ainda maior por ser considerado um resíduo infectante, tendo como destinação final a incineração, possuindo um custo relativamente elevado. Entretanto, a maravalha pode ser transformada em fertilizante ou condicionador de solo, rico em nutrientes (BABLA *et al.*, 2022). Portanto, os dois experimentos realizados no presente estudo forneceram informações iniciais para embasar as decisões sobre como a maravalha pode ser destinada de forma mais adequada, no intuito de analisar seu comportamento ao ser submetida a compostagem.

5.1 QUANTITATIVO DE MARAVALHA, CUSTO E DESTINAÇÃO FINAL

A maravalha é o principal resíduo utilizado nesse experimento, sendo gerada em grandes volumes na UFPE. A universidade não possui o registro separado da geração de maravalha oriunda dos biotérios de produção e dos biotérios de pesquisa, dispondo apenas dos dados do total de maravalha produzida. Durante o ano de 2023, até o mês de dezembro, foram encaminhados cerca de 23.740 kg de maravalha, então supõe-se que o montante de saída seja ainda maior, pois é incluído o peso das excretas e restos de ração que são incorporados à maravalha durante a criação dos animais. De acordo com um levantamento feito juntamente com o colaborador da empresa terceirizada responsável pela coleta desse resíduo, nos últimos 3 meses foram coletadas uma média de 117 bombonas de 80 litros por mês, de ambos os biotérios (produção, experimentação e manutenção). A universidade conta com 8 biotérios onde ocorrem tanto a produção quanto a experimentação; dois biotérios onde ocorre apenas experimentação; e um biotério de manutenção. Levando-se em consideração que os demais biotérios recebem os animais do biotério de produção (biotério de

experimentação) ou do meio externo (biotério de manutenção), acredita-se que o maior volume desses resíduos seja gerado nos biotérios de produção.

Como foi supramencionado, o resíduo de maravalha é classificado como infectante, e a destinação final é a incineração. A empresa responsável pela coleta e incineração desses resíduos na universidade é a SIM Gestão Ambiental Serviços LTDA, sendo o custo contabilizado por bombonas, no valor de R\$61,61, pesando 25 kg cada. Anualmente são gastos anualmente em torno de R\$ 86.500,00 com a incineração desses. Espera-se, com base em estimativas preliminares, que a destinação da maravalha gerada nos biotérios de produção para a compostagem irá gerar uma economia de recursos da ordem de R\$ 57.600,00 por ano. A maravalha que propõe-se que seja destinada à compostagem será co-processada com resíduos alimentares gerados no próprio campus da UFPE, que somam em média 6 toneladas por semana e já são atualmente destinados ao processo de compostagem realizado na Berso. Portanto espera-se que seja gerada uma economia considerável com o aproveitamento desses resíduos.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIAS PRIMAS

No presente estudo foi avaliada a co-compostagem de maravalha com podas urbanas, restos de alimentos ou esterco bovino, visando-se identificar a melhor combinação para o aproveitamento da maravalha. A diversificação da matéria prima é um fator importante, pois está atrelada a intensidade das atividades microbiológicas. Na Tabela 1 são apresentadas as concentrações de nutrientes presentes nos resíduos utilizados, sendo destacado o resíduo alimentar com as maiores proporções de nutrientes. O pH dos resíduos alimentares é o menor se comparado com os demais, provavelmente pela grande quantidade de cascas e polpas de frutas, conferindo assim um pH mais ácido. Segundo Pereira e Neto (2010), resíduos como lodo de esgoto, esterco e resíduo alimentar podem apresentar alta umidade, com médias entre 70 e 80%.

Devido a sua composição distinta, a maravalha apresentou o segundo maior quantitativo de carbono e o menor quantitativo de nitrogênio, o que resultou na maior relação C/N dentre os resíduos orgânicos avaliados, o que é um indicador de materiais de decomposição mais lenta. A relação C/N dos demais resíduos apresentam condições normais para a utilização no processo de compostagem.

Tabela 1 – Caracterização e concentrações médias da maravalha, podas, resíduo alimentar e esterco bovino utilizados na montagem das pilhas nos dias 09/11/2022 e 08/08/2023.

Resíduos	Umidade (%)	pH	C (g.kg)	N(g.kg)	C/N(g.kg)
Maravalha	76	6,78	424,35	7,06	60,10
Podas	50	6,83	252,97	6,56	38,56
Res. alimentar	80	4,33	465,15	21,06	22,08
Esterco	72	7,80	375,38	11,01	34,09

Fonte: A Autora (2023).

C: Carbono; N: Nitrogênio; C/N: Relação carbono nitrogênio.

5.3 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS ESSENCIAIS PARA A COMPOSTAGEM

5.3.1 Temperatura

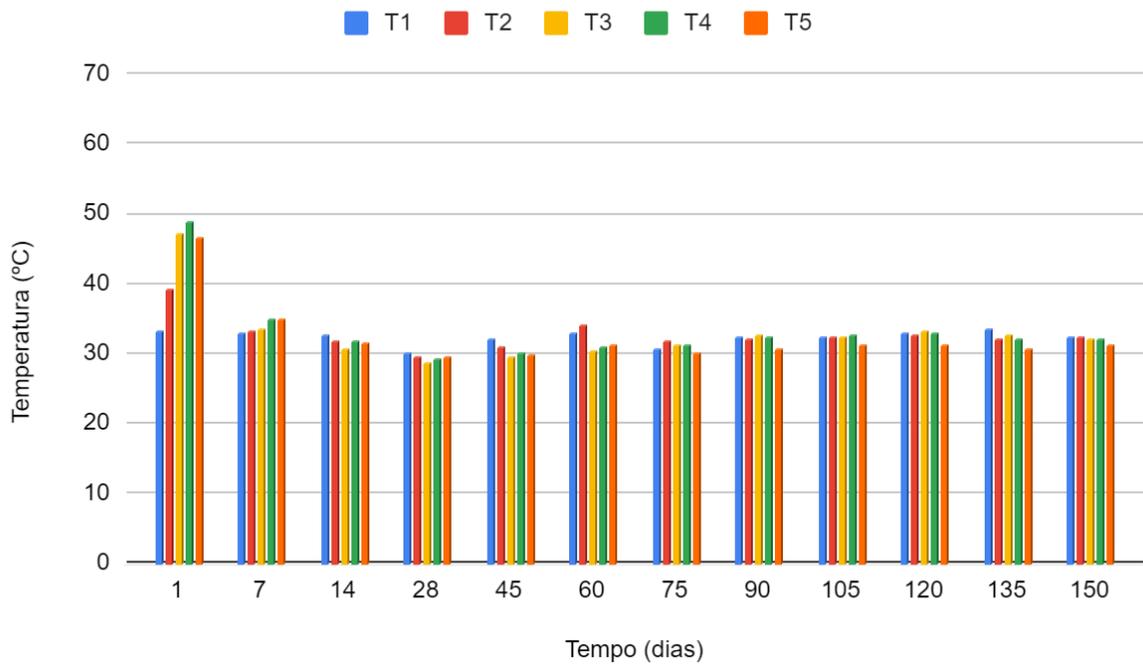
A dinâmica da temperatura das pilhas de composto foi observada durante o período dos experimentos. De acordo com Kiehl (2002), o aumento da temperatura é um indicio de que o processo de decomposição da matéria orgânica está acontecendo. Na fase inicial da compostagem, os compostos orgânicos simples são degradados rapidamente pelos microrganismos. Essas atividades metabólicas produzem calor o que resulta no aumento da temperatura, que por um tempo prolongado reduz as atividades dos microrganismos mesófilos, dando espaço aos termófilos.

No primeiro experimento foram observadas temperaturas máximas abaixo de 50°C (Gráfico 1) em todos os tratamentos, portanto não foi atingida a fase termófila, o que indica que a quantidade de excretas dos ratos e camundongos são insuficientes para fornecer o nitrogênio e formas de carbono lábil que seriam necessários para acelerar ou até mesmo para decompor a maravalha de forma adequada. Entretanto, nos primeiros dias do experimento, de forma contrária ao esperado, os tratamentos 3, 4 e 5 do primeiro experimento, ou seja, com maior proporção de maravalha do que de podas urbanas, apresentaram temperaturas por volta de 47 °C, não havendo estatisticamente diferenças significativas entre eles, mas a tendência do aumento de temperatura na primeira semana foi superior nos tratamentos com maior quantidade de maravalha.

Os microrganismos presentes na fase termofílica são responsáveis por degradar moléculas orgânicas complexas como gorduras, celulose, hemicelulose e lignina (NIU *et al.*, 2021). Devido a este fato e por não atingir uma temperatura elevada a maravalha não foi totalmente decomposta na maioria dos tratamentos do primeiro experimento. A exceção foi no

T2 em que, por possuir uma quantidade baixa de maravalha (25%), houve a decomposição da mesma ao final do experimento.

Figura 8 – Dinâmica da temperatura (°C) ao longo do processo de compostagem do 1º experimento.

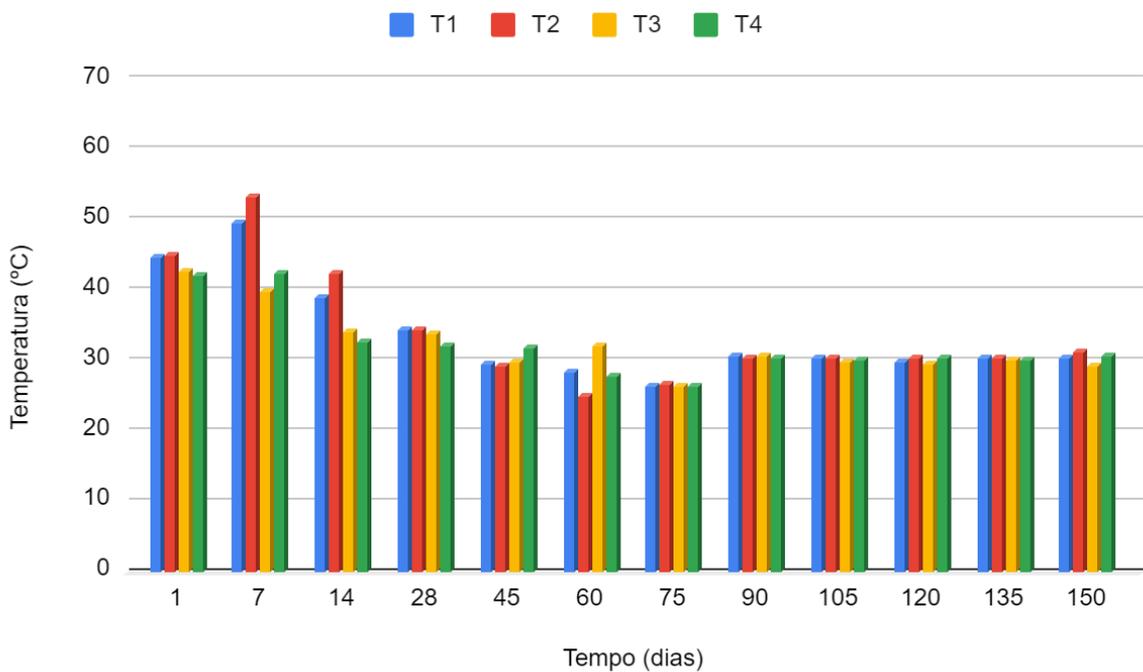


Fonte: A Autora (2023).

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M) e podas (P): T1: 100% (P); T2: 75% (P) e 25% (M); T3: 50% (P) e 50% (M); T4: 25% (P) e 75% (M); T5: 100% (M).

No segundo experimento as temperaturas foram superiores quando comparadas ao primeiro (Gráfico 2). A adição de resíduos alimentares e esterco bovino favoreceu o aumento da atividade microbiológica e, conseqüentemente, da temperatura durante a fase inicial de decomposição. Mais especificamente, os tratamentos 1 e 2 diferiram dos demais, pois apresentaram a maior faixa de temperatura inicial (53,4 °C), sendo o tratamento 2 com a maior proporção de resíduo alimentar e conseqüentemente maior oferta de nitrogênio. Foi observada neste segundo experimento uma maior duração da fase termofílica, que perdurou por volta de 7 dias.

Figura 9 – Dinâmica da temperatura (°C) ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 0, 7, 14, 28, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 dias.



Fonte: A Autora (2023).

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M), resíduo alimentar (RA) e esterco bovino (EB): T1: 25% (RA) e 75% (M); T2: 50% (RA) e 50% (M); T3: 25% (EB) e 75% (M); T4: 50% (EB) e 50% (M).

É notória a diferença da dinâmica de temperatura entre os dois experimentos, o que demonstra que a adição de resíduos alimentares e esterco bovino foi favorável para o aumento da atividade microbiológica e, conseqüentemente, da temperatura durante o processo de compostagem. Outro fator importante que justifica a oscilação dessas faixas de temperatura, é a interação com o meio externo, visto que as pilhas possuíam um tamanho relativamente pequeno e foram montadas em uma casa de vegetação. A diminuição da temperatura após o primeiro mês já era esperada, visto que os compostos orgânicos simples de fácil degradabilidade foram consumidos pelos microrganismos. Pela escassez desses compostos, as atividades microbiológicas diminuem e conseqüentemente a temperatura diminui ao longo do processo.

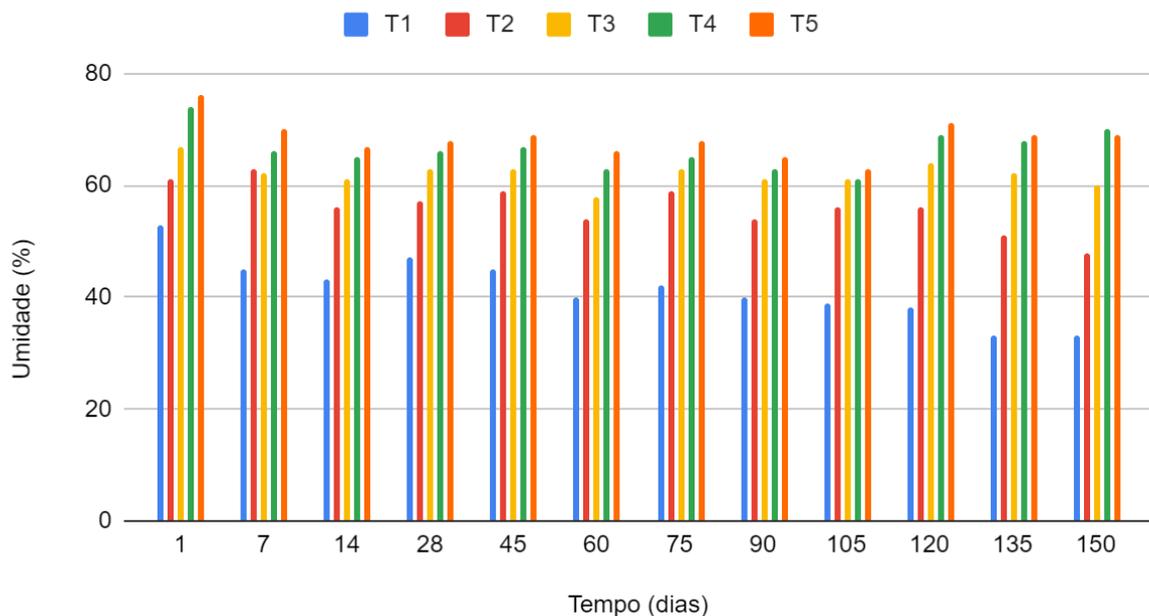
5.3.2 Umidade

A porcentagem de umidade durante o processo de compostagem afeta o consumo de oxigênio, a taxa de degradação da lignocelulose e principalmente as atividades microbiológicas. Segundo Reis (2004), a faixa ideal de umidade é entre 40% e 60%, já Wei

(2021) calculou que a umidade ideal para a decomposição da matéria orgânica ficasse entre 50% e 70%.

Nos dois experimentos a umidade apresentou-se dentro da faixa de 40% e 80%. No tratamento 1 do primeiro experimento a umidade foi diminuindo ao longo do tempo, pois o resíduo de poda adquiriu um aspecto de terra devido a decomposição, com isso a capacidade de retenção de água diminuiu (Gráfico 3). Os demais tratamentos apresentaram umidade acima de 60%, sendo o T5 com as maiores proporções, devido ao grande volume de água utilizado e pela alta capacidade de retenção de água. A água da chuva foi utilizada para o umedecimento, sendo coletada pelo sistema de captação instalado no telhado do galpão da Berso. A adição de água foi controlada durante todo o período do experimento. A frequência de umedecimento foi entre 2 a 3 vezes por semana e a quantidade de água utilizada foi de acordo com a necessidade da pilha, visando manter sempre a umidade em torno de 60%.

Figura 10 – Dinâmica da umidade (%) ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 1, 7, 14, 28, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 dias.



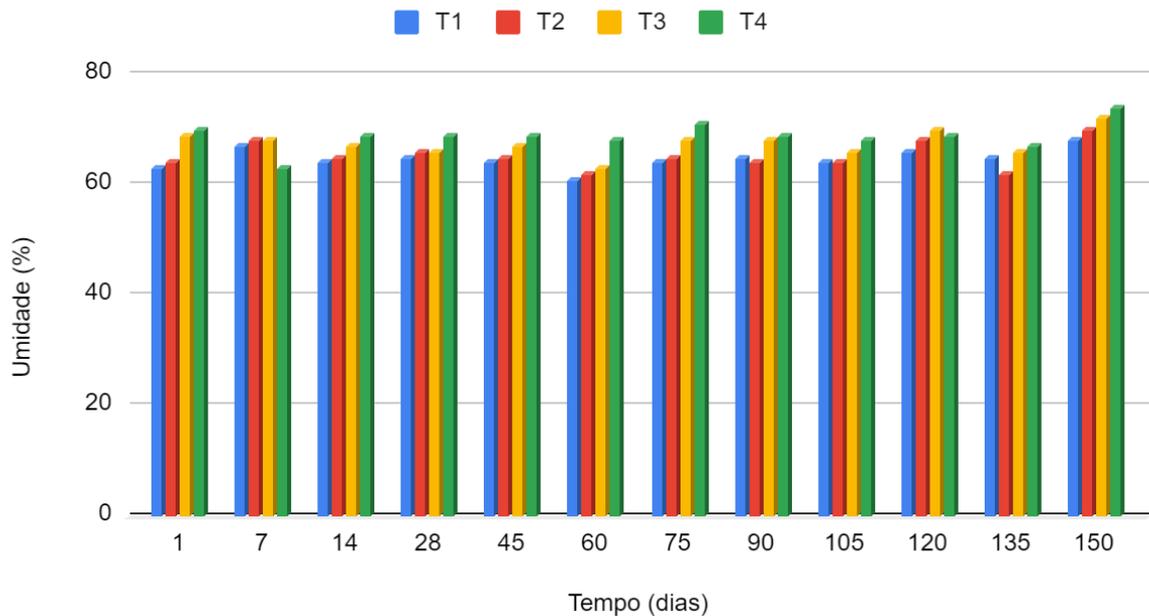
Fonte: A Autora (2023).

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M) e podas (P): T1: 100% (P); T2: 75% (P) e 25% (M); T3: 50% (P) e 50% (M); T4: 25% (P) e 75% (M); T5: 100% (M).

O segundo experimento (Gráfico 4), utilizou os resíduos alimentares e o esterco bovino, os quais já possuem umidade elevada em sua composição. Deste modo, a utilização de água foi relativamente menor que a quantidade utilizada no primeiro experimento (Gráfico 3). A frequência de irrigação foi de uma vez por semana, sendo mantido um percentual acima

60% de umidade. De acordo com a análise de variância, não houve diferença significativa entre os tratamentos em que foram utilizados resíduo alimentar ou esterco bovino.

Figura 11– Dinâmica da umidade (%) ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 1, 7, 14, 28, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 dias.



Fonte: A Autora (2023).

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M), resíduo alimentar (RA) e esterco bovino (EB): T1: 25% (RA) e 75% (M); T2: 50% (RA) e 50% (M); T3: 25% (EB) e 75% (M); T4: 50% (EB) e 50% (M).

A diferença no consumo de água entre os dois experimentos foi um resultado muito relevante no presente estudo. Devido ao aumento gradual da escassez de recursos hídricos atualmente em todo o globo, processos que demandam menor consumo de água tornam-se viáveis, principalmente em regiões que possuem menor disponibilidade de água, como na região semiárida do NE do Brasil, por exemplo. A Tabela 2 apresenta o consumo total de água durante o período de compostagem, onde observamos no 1º experimento um consumo muito elevado, com exceção dos tratamentos T1 e T2, que atingiram a maturação em 120 dias por terem uma maior proporção de resíduos de podas, que possuem maior capacidade de retenção de água e decomposição mais acelerada. Os demais tratamentos (T3, T4 e T5), obtiveram maior consumo de água, fato explicado pela maior proporção de maravalha. O consumo destes últimos foi contabilizado até os 150 dias, entretanto, mesmo com maior tempo e maior adição de água e reviragens das pilhas, não foi observada a decomposição total da maravalha para formar um composto maturado.

No segundo experimento, observou-se que o co-processamento da maravalha com resíduos de alimentos ou de esterco provocou uma redução no consumo de água para a produção do composto orgânico maturado, chegando até 25% nos tratamentos com maior proporção de resíduos de alimentos ou de esterco. Analisando-se os resultados dos dois experimentos, observa-se que, quando a maravalha foi compostada juntamente com restos de alimentos ou esterco bovino, houve uma redução de até 75% no consumo de água no processo até a maturação do composto.

Tabela 2– Consumo de água dos dois experimentos até os 150 dias.

1º Experimento				2º Experimento			
Tratamentos	Consumo total (L)	Consumo/repetição (L)	Consumo/L por kg inicial	Tratamentos	Consumo total (L)	Consumo/repetição (L)	Consumo/L por kg inicial
T1	580	144,95	5,187	T1	509	101,76	5,088
T2	724	181,04	7,242	T2	391	78,2	3,900
T3	794	198,55	7,942	T3	506	101,28	5,064
T4	933	233,18	9,327	T4	407	81,37	4,069
T5	1.253	313,36	12,535				

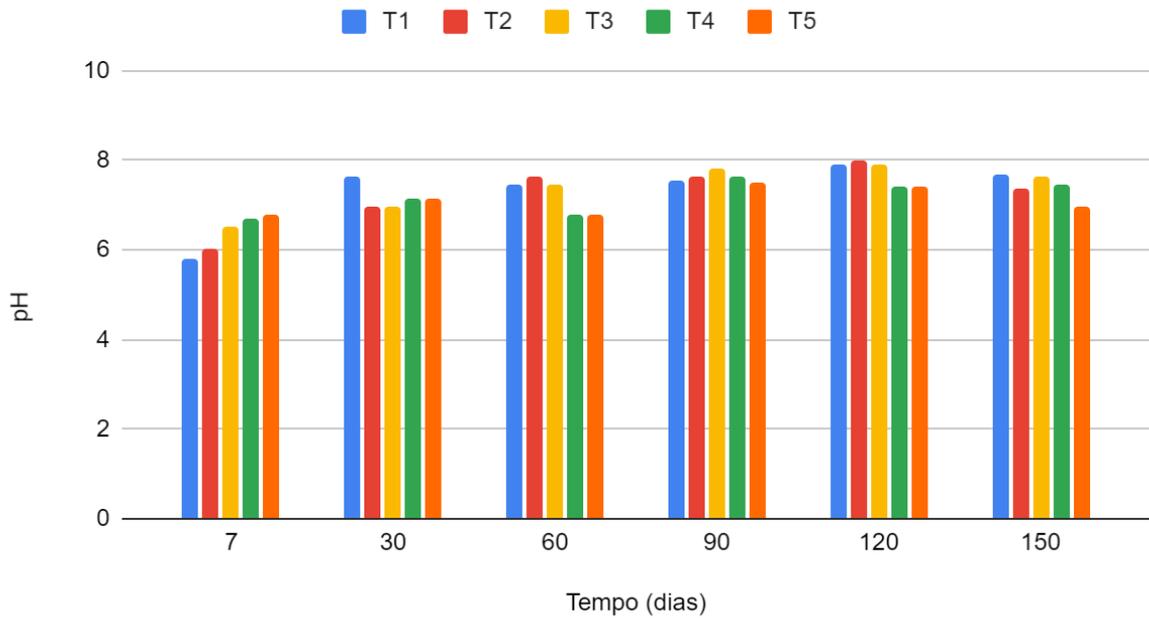
Fonte: A Autora (2023).

5.3.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH variou durante todo o processo de compostagem, sendo mais baixo na fase inicial e mais elevado na última fase do processo, conseqüentemente essa instabilidade tem influência nas atividades microbiológicas (LAN *et al.*, 2022).

Inicialmente as matérias primas apresentaram valores de pH mais baixos, como observado na tabela 1, no entanto, com a mistura entre os resíduos e com o decorrer do processo de compostagem, o pH aumentou, ficando numa faixa levemente mais alcalina (Gráfico 5). De acordo com a EMBRAPA (2009), a mistura dos resíduos deve visar atingir um pH entre 5,0 e 7,5, apresentando assim um comportamento satisfatório para as atividades microbiológicas. O pH mais elevado foi 8, no tratamento 2, aos 120 dias de compostagem, os demais apresentaram uma faixa dentro da margem estipulada pela EMBRAPA.

Figura 12– Dinâmica do pH ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 90, 120 e 150 dias.

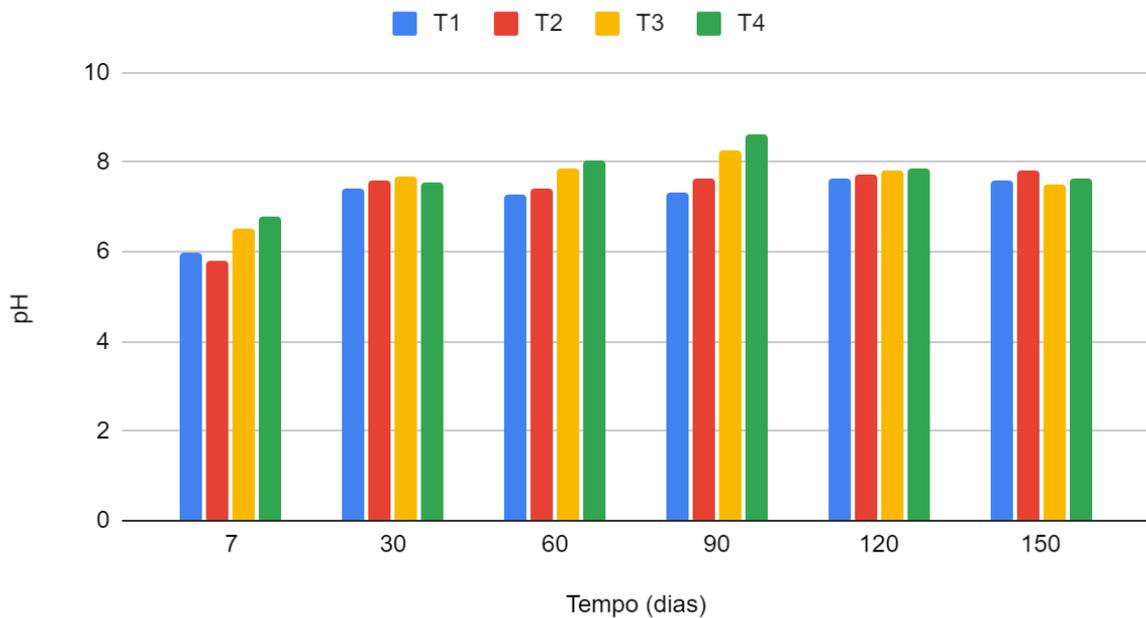


Fonte: A Autora (2023).

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M) e podas (P): T1: 100% (P); T2: 75% (P) e 25% (M); T3: 50% (P) e 50% (M); T4: 25% (P) e 75% (M); T5: 100% (M).

Durante o segundo experimento, os valores de pH dos compostos iniciais formados pelos diferentes resíduos ficaram entre 7,4 e 7,7 (Gráfico 6). A partir do segundo mês (60 dias), o tratamento 4, que possui a maior proporção de esterco bovino, teve um aumento considerável da faixa de pH, chegando a 8,62. No entanto, os próprios microorganismos presentes nas pilhas regulam o pH e o mesmo permaneceu mais próximo da neutralidade no período final do processo, como observado aos 120 dias.

Figura 13 – Dinâmica do pH ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 90, 120 e 150 dias.



Fonte: A Autora (2023).

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M), resíduo alimentar (RA) e esterco bovino (EB): T1: 25% (RA) e 75% (M); T2: 50% (RA) e 50% (M); T3: 25% (EB) e 75% (M); T4: 50% (EB) e 50% (M).

5.4 CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES

Os resultados das concentrações de nutrientes foram obtidos a partir das metodologias mencionadas no tópico 4.4, no entanto, foram observadas alterações em relação às proporções tanto de carbono quanto de nitrogênio do segundo experimento. Os resultados foram apresentados a seguir, entretanto, novas análises serão realizadas para assegurar a qualidade desses resultados.

5.4.1 Carbono orgânico

A quantidade de carbono orgânico decresceu até os primeiros 60 dias, isso ocorreu devido a grande liberação de CO_2 para a atmosfera (Tabela 3). Os tratamentos 1, 2 e 4 apresentaram um quantitativo final menor que no início do experimento. Supõe-se que a estagnação do mesmo até o final do experimento, ocorreu devido a diminuição das atividades microbiológicas causada principalmente pela ausência de resíduos ricos em nutrientes. Estatisticamente os tratamentos 2 e 3 não diferem entre si (Tabela 4).

Tabela 3 – Dinâmica da concentração de carbono (g/kg) ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 90, 120 e 150 dias.

Tratamentos	Tempo (dias)						Média	Variância
	7	30	60	90	120	150		
T1	250,45	126,49	97,93	138,73	118,33	110,17	140,3494	3102,441
T2	261,80	146,89	118,33	179,53	208,10	204,02	186,4446	2541,576
T3	270,90	257,06	224,42	244,82	289,70	273,38	260,0469	537,064
T4	298,54	281,54	412,11	444,76	371,31	289,70	349,6603	4852,044
T5	418,95	403,95	424,35	469,24	489,64	444,76	441,8143	1061,807

Fonte: A Autora (2023).

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M) e podas (P): T1: 100% (P); T2: 75% (P) e 25% (M); T3: 50% (P) e 50% (M); T4: 25% (P) e 75% (M); T5: 100% (M).

Tabela 4 – Análises estatísticas realizadas para a dinâmica de carbono (g/kg), obtida através do processo de compostagem do 1º experimento.

1. Análise de variância (ANOVA).							
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F calculado	valor-P	F crítico	Resultado
Entre grupos	357572,3975	4	89393,0993	36,9547761	0,00000000037	2,75871047	Fcalc
Dentro dos grupos	60474,659	25	2418,98636				> Fcrit, logo H=1
Total	418047,0565	29					

2. Teste de Tukey				
Tratamentos	Diferenças grupos	Média	DMS (2 a 2)	
T5	a	441,81		
T4	b	349,66	92,15	> DMS
T3	c	260,05	89,61	> DMS
T2	c	186,44	73,60	< DMS
T1	d	140,35	119,70	> DMS

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

($p < 0,05$). DMS: Diferença Mínima Significativa.

Fonte: A Autora (2023).

O segundo experimento (Tabela 5) apresentou uma diminuição gradual da quantidade carbono orgânico até o final do experimento, o que é esperado durante o processo, visto que os microrganismos o utilizam como fonte de energia, além disso foram adicionados os resíduos alimentares e o esterco bovino. Os tratamentos 3 e 4 demonstraram os maiores valores no dia 7 e os menores valores aos 150 dias. Fato explicado por apresentarem maior taxa de decomposição, sendo a do T4 ainda mais visível que as demais. Neste caso, a adição de esterco bovino com proporções superiores a 50%, colaboram na decomposição dos

resíduos de maravalha. Em relação às análises estatísticas, foi observado que os tratamentos não diferem entre si (Tabela 6).

Tabela 5 – Dinâmica da concentração de carbono (g/kg) ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 90, 120 e 150 dias

Tratamentos	Tempo (dias)						Média	Variância
	7	30	60	90	120	150		
T1	383,55	326,43	338,67	368,04	350,91	312,14	346,623	700,175
T2	395,79	369,68	354,99	367,23	358,25	317,45	360,564	652,753
T3	408,03	399,06	341,93	375,39	371,31	297,86	365,597	1639,329
T4	412,11	403,95	359,07	367,23	321,94	288,89	358,864	2239,743

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M), resíduo alimentar (RA) e esterco bovino (EB): T1: 25% (RA) e 75% (M); T2: 50% (RA) e 50% (M); T3: 25% (EB) e 75% (M); T4: 50% (EB) e 50% (M).

Fonte: A Autora (2023).

Tabela 6 – Análises estatísticas realizadas para a dinâmica de carbono (g/kg) , obtida através do processo de compostagem do 2º experimento.

1. Análise de variância (ANOVA).							
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F calculado	valor-P	F crítico	Resultado
Entre grupos	1166,5970	3	388,8657	0,29729793	0,82690661	3,09839121	Fcalc
Dentro dos grupos	26159,9975	20	1307,9999				< Fcrit, logo H=0
Total	27326,5944	23					

2. Teste de Tukey a 5% de probabilidade				
Tratamentos	Diferenças grupos	Média	DMS (2 a 2)	
T3	a	365,597		
T2	a	360,564	5,03	< DMS
T4	a	358,864	6,73	< DMS
T1	a	346,623	18,97	< DMS

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

($p < 0,05$). DMS: Diferença Mínima Significativa.

Fonte: A Autora (2023).

5.4.2 Nitrogênio total

A tabela 7 apresenta os teores de nitrogênio durante o processo de compostagem do 1º experimento. Foi observado um aumento do teor de N nos compostos até o final do experimento se comparado com os valores iniciais, no entanto, não houveram diferenças estatísticas (Tabela 8). Apesar da maravalha ter recebido adição de nitrogênio devido às excretas dos animais nos biotérios, aparentemente isso não foi suficiente para acelerar o processo de compostagem, ao contrário do trabalho realizado por Mahmoud (2007), que constatou que a presença das excretas acelerou o processo de compostagem, obtendo o tempo mínimo de decomposição da maravalha de 165 dias.

Tabela 7 – Teor de nitrogênio (g/kg) ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias.

Tratamentos	Tempo (dias)						Média	Variância
	7	30	60	90	120	150		
T1	6,5	4,2	4,0	3,88	4,68	4,28	4,5875	0,95319
T2	6,0	4,23	4,03	5,15	5,18	5,93	5,0833	0,68367
T3	4,8	4,6	4,6	5,9	5,28	6,25	5,2375	0,49394
T4	4,7	4,73	3,98	5,3	5,0	6,28	4,9958	0,58635
T5	4,4	4,38	4,0	5,03	4,03	5,05	4,4792	0,21535

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M) e podas (P): T1: 100% (P); T2: 75% (P) e 25% (M); T3: 50% (P) e 50% (M); T4: 25% (P) e 75% (M); T5: 100% (M).

Fonte: A Autora (2023).

Tabela 8 – Análises estatísticas realizadas para a dinâmica de nitrogênio (g/kg), obtida através do processo de compostagem do 1º experimento.

Continua

1. Análise de variância (ANOVA).							
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F calculado	valor-P	F crítico	Resultado
Entre grupos	2,572416667	4	0,64310416	1,096511793	0,3799412114	2,75871047	Fcalc
Dentro dos grupos	14,6625	25	0,5865				< Fcrit, logo H=0
Total	17,23491667	29					

Teste de Tukey a 5% de probabilidade				Conclusão
Tratamentos	Diferenças grupos	Média	DMS (2 a 2)	
T3	a	5,24		
T2	a	5,08	0,15	< DMS
T4	a	5,00	0,24	< DMS
T1	a	4,59	0,65	< DMS
T5	a	4,48	0,76	< DMS

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

($p < 0,05$). DMS: Diferença Mínima Significativa.

Fonte: A Autora (2023).

Na tabela 9, observam-se os valores de nitrogênio para o 2º experimento, constatando-se um decréscimo dos teores de N, do T1 e T2 até os 120 dias. A adição de resíduos alimentares e esterco bovino promovem a elevação dos teores desse macronutriente. Resultados semelhantes foram encontrados por Primo et al. (2010), na compostagem de talos de fumo e esterco bovino. As análises estatísticas mostraram que não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos 1, 2 e 4, pois, os dois primeiros continham resíduo alimentar e o último maior proporção de esterco bovino (Tabela 10).

Tabela 9 – Teor de nitrogênio (g/kg) ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias.

Tratamentos	Tempo (dias)						Média	Variância
	7	30	60	90	120	150		
T1	9,2	7,44	7,3	7,52	8,26	8,02	7,9567	0,50615
T2	10,0	8,76	8,1	8,34	8,72	8,46	8,73	0,44716
T3	7,42	6,94	7,06	8,06	7,92	8,06	7,5767	0,25639
T4	7,44	7,0	7,32	8,26	7,88	8,62	7,7533	0,37547

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M), resíduo alimentar (RA) e esterco bovino (EB): T1: 25% (RA) e 75% (M); T2: 50% (RA) e 50% (M); T3: 25% (EB) e 75% (M); T4: 50% (EB) e 50% (M).

Fonte: A Autora (2023).

Tabela 10 – Análises estatísticas realizadas para a dinâmica de nitrogênio (g/kg), obtida através do processo de compostagem do 2º experimento.

Continua

1. Análise de variância (ANOVA).							
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F calculado	valor-P	F crítico	Resultado
Entre grupos	4,648583333	3	1,54952777	3,910085487	0,02389092312	3,098391212	Fcalc
Dentro dos grupos	7,9258	20	0,39629				> Fcrit, logo H=1
Total	12,57438333	23					

				Conclusão
2. Teste de Tukey a 5% de probabilidade				
Tratamentos	Diferenças grupos	Média	DMS (2 a 2)	
T2	a	8,73		
T1	a	7,957	0,77	< DMS
T4	a	7,753	0,98	< DMS
T3	b	7,577	1,15	> DMS

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

($p < 0,05$). DMS: Diferença Mínima Significativa.

Fonte: A Autora (2023).

5.4.3 Relação C/N

A relação C/N dos resíduos lignocelulósicos sempre é maior antes da compostagem devido a disponibilidade do carbono orgânico, no entanto à medida que os microrganismos consomem o carbono, o mesmo é transformado em dióxido de carbono (CO_2) e liberado para a atmosfera (LI *et al.*, 2021). Ao mesmo tempo, o nitrogênio presente em certas moléculas pode ser convertido em amônia e outros gases, que também são liberados (XU *et al.*, 2022).

Na compostagem a relação C/N mais elevada sugere a presença de materiais em excesso que não foram consumidos, enquanto que, relações abaixo de 20:1 indicam estabilidade do composto. Neste caso, é de suma importância verificar a relação C/N do composto, que deve estar entre 25:1 e 30:1 (AMUAH *et al.*, 2022). No entanto Kiehl (2002), diz que um composto maturado possui uma relação C/N entre 8:1 e 12:1.

Os tratamentos T1 e T2 do 1º experimento (Tabela 11) apresentaram a relação C/N no valores de 25,7 e 34,4, respectivamente, no entanto são diferentes estatisticamente (Tabela 12). Os demais tratamentos apresentaram relação C/N superior a 40, considerada muito elevada, indicando acúmulo excessivo de substrato resultando no retardo do processo, além de indicar deficiência nutricional para os microrganismos.

Até o final do primeiro experimento foi observada uma redução da relação, sendo T1 o único que finalizou o processo com a relação C/N no valor de 25,7, e visualmente adquiriu um aspecto de composto maturado (Figura 8). Os tratamentos que possuíam maior quantidade de maravalha não foram decompostos nem mesmo após 150 dias de processo. No entanto o T2 (75% de podas e 25% de maravalha), mesmo com a relação C/N ainda relativamente elevada no final do processo, também adquiriu um aspecto de composto maturado (Figura 8).

Tabela 11 – Dinâmica da relação C/N ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 90, 120 e 150 dias.

Tratamentos	Tempo (dias)						Média	Variância
	7	30	60	90	120	150		
T1	38,5	30,1	24,4	35,8	25,3	<u>25,7</u>	29,9667	35,5667
T2	43,6	34,7	29,3	34,8	40,2	<u>34,4</u>	36,1667	25,1627
T3	56,4	55,8	48,7	41,4	54,9	43,7	50,15	42,763
T4	63,5	59,5	103,6	83,9	74,2	46,1	71,8	408,816
T5	95,2	92,3	106	93,3	121,6	88	99,4	154,324

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M) e podas (P): T1: 100% (P); T2: 75% (P) e 25% (M); T3: 50% (P) e 50% (M); T4: 25% (P) e 75% (M); T5: 100% (M).

Fonte: A Autora (2023).

Tabela 12 – Análises estatísticas realizadas para a dinâmica da relação C/N, obtida através do processo de compostagem do 1º experimento.

1. Análise de variância (ANOVA).							
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F calculado	valor-P	F crítico	Resultado
Entre grupos	19363,908	4	4840,977	36,30919742	0,00000000044	2,75871047	Fcalc > Fcrit,
Dentro dos grupos	3333,1617	25	133,326466				logo H=1
Total	22697,0697	29					

2. Teste de Tukey a 5% de probabilidade				
Tratamentos	Diferenças grupos	Média	DMS (2 a 2)	
T5	a	99,40		
T4	b	71,80	27,60	> DMS
T3	c	50,15	21,65	> DMS
T2	c	36,17	13,98	< DMS
T1	d	29,97	20,18	> DMS

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% (p<0,05). DMS: Diferença Mínima Significativa.

Fonte: A Autora (2023).

Figura 14 – Decomposição dos T1 e T2 até 120 dias (1º experimento).



Proporção dos resíduos: T1: 100% podas; T2: 75% podas e 25% maravalha;

Fonte: A Autora (2023).

No segundo experimento (Tabela 13) foi observada uma relação C/N inicial mais baixa em relação ao primeiro. No entanto, observou-se um decréscimo até os 150 dias, sendo mais notável no T4, encerrando o com a relação C/N de 33,51, obtendo também a aparência de um composto maturado (Figura 9), além disso, de acordo com as análises estatísticas, o mesmo se diferiu dos demais (Tabela 14). Logo, a adição de resíduos ricos em nutrientes e principalmente do esterco, foi benéfico para o processo de compostagem, constatando que a maravalha deve ser usada como um complemento aos demais resíduos e não como o resíduo principal a ser decomposto, apesar da presença das fezes e urina dos animais criados nos biotérios.

Tabela 13 – Dinâmica da relação C/N ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 7, 30, 60, 90, 120 e 150 dias.

Tratamentos	Tempo (dias)						Média	Variância
	7	30	60	90	120	150		
T1	41,69	43,87	46,39	48,94	42,48	38,92	43,7172	12,6242
T2	39,58	42,20	43,83	44,03	41,08	37,52	41,3742	6,3784
T3	54,99	57,50	48,43	46,57	46,88	36,96	48,5561	52,5449
T4	55,39	57,71	49,05	44,46	40,85	<u>33,51</u>	46,8299	83,0420

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M), resíduo alimentar (RA) e esterco bovino (EB): T1: 25% (RA) e 75% (M); T2: 50% (RA) e 50% (M); T3: 25% (EB) e 75% (M); T4: 50% (EB) e 50% (M).

Tabela 14 – Análises estatísticas realizadas para a dinâmica da relação C/N, obtida através do processo de compostagem do 2º experimento.

1. Análise de variância (ANOVA)							
Fonte da variação	SQ	GL	MQ	F calculado	valor-P	F crítico	Resultado
Entre grupos	184,375364	3	61,4584545	1,590234819	0,2231091219	3,098391212	Fcalc
Dentro dos grupos	772,948169	20	38,6474084				< Fcrit, logo H=1
Total	957,323532	23					

2. Teste de Tukey a 5% de probabilidade				
Tratamentos	Diferenças grupos	Média	DMS (2 a 2)	
T3	a	48,5560		
T4	b	46,8298	1,73	< DMS
T1	c	43,7171	4,84	< DMS
T2	c	41,3741	7,18	< DMS

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% ($p < 0,05$). DMS: Diferença Mínima Significativa.

Fonte: A Autora (2023).

Figura 15 – Decomposição do T4, primeira e terceira repetição até 150 dias (2º experimento).



Proporção dos resíduos: T4: 50% esterco bovino e 50% maravalha.

Fonte: A Autora (2023).

5.4.4 Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Sódio

A quantificação de nutrientes é de suma importância, visto que o composto orgânico é utilizado como adubo em diversos tipos de culturas. A diversidade de nutrientes em um adubo varia de acordo com a matéria prima utilizada e do processo de produção (PRIMO *et al.*, 2010). A tabela 9 apresenta os valores dos nutrientes presentes no composto final do primeiro experimento, que foi finalizado com 150 dias. Observa-se que ambos os tratamentos obtiveram valores elevados, destacando os tratamentos 3 e 4, que possuem 50 e 75% de maravalha, respectivamente. Concentrações equilibradas desses nutrientes favorecem o desenvolvimento vegetal e são relevantes para manter a qualidade do solo.

Tabela 15 – Concentração de nutrientes do composto ao final do 1º experimento. Experimento finalizado com 150 dias.

Tratamentos	Nutrientes (mg/kg)				
	Fósforo (P)	Potássio (K)	Cálcio (Ca)	Magnésio (Mg)	Sódio (Na)
T1	1,28	11,25	45,11	7,47	6,75
T2	1,97	17,5	50,28	11,10	8
T3	2,55	18,0	46,77	15,87	7,5
T4	2,99	19,5	49,93	15,00	8,25
T5	2,88	10,5	51,64	16,71	5,75

Fonte: A Autora (2023).

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M) e podas (P): T1: 100% (P); T2: 75% (P) e 25% (M); T3: 50% (P) e 50% (M); T4: 25% (P) e 75% (M); T5: 100% (M).

5.5 QUANTIFICAÇÃO MICROBIOLÓGICA

O tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos através do processo de compostagem é comumente utilizado, pois realiza um melhor aproveitamento desses resíduos, que normalmente possuem uma destinação ineficiente e muitas vezes inadequada. A compostagem é um processo muito característico, possuindo a capacidade de degradar, higienizar e estabilizar essa matéria orgânica. O processo utilizando métodos convencionais em clima temperado é viável, tendo uma média de duração de 120 dias (PEREIRA E NETO, 2013).

A compostagem é realizada por uma vasta gama de microorganismos, como fungos, bactérias e actinomicetos, que se modificam nas diferentes fases da compostagem e

desenvolvem principalmente o papel de decompositores. No entanto, devido às características dos resíduos utilizados ocorre também a presença de microorganismos patogênicos que causam danos à saúde humana, como os coliformes termotolerantes, dentro deste grupo destaca-se a *Escherichia coli*, bactéria originária do trato gastrointestinal de animais de sangue quente.

Neste trabalho foi analisada a presença de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* nas pilhas de compostagem ao longo do período do experimento. No primeiro experimento as análises foram realizadas a cada 15 dias (Tabela 10), sendo observado que os tratamentos 1 e 2, compostos em maior proporção pelas podas possuíam o maior valor de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, pois esses resíduos foram coletados no campus, onde ficam expostos a outros resíduos, como recicláveis, metralha, fezes de animais e rejeitos, aumentando assim probabilidade de contaminação.

A maravalha, ao contrário das podas, possuíam o menor quantitativo desses patógenos, pois foram coletadas nos biotérios de produção da universidade. Os biotérios de produção são laboratórios que fornecem um local de criação e desenvolvimento estritamente controlado, para que os animais que nele estão não venham a contrair nenhum tipo de contaminação. As diluições utilizadas para o primeiro experimento foram de 10^2 e 10^3 , inicialmente, após 60 dias a diluição aumentou para 10^4 para se obter valores mais aproximados da realidade dos coliformes termotolerantes.

A quantidade elevada desses patógenos se deu provavelmente porque o processo de compostagem não aconteceu corretamente, não atingindo a fase termofílica, principal fator responsável por eliminar esses microorganismos. Observa-se que até os 60 dias do primeiro experimento, os tratamentos 4 e 5 possuíam menos de 100 NMP/g (número mais provável) de *Escherichia coli*. Após o aumento da diluição foi observado que os valores subiram e assim permaneceram até o final do experimento, ressaltando a importância da fase termofílica, ressaltando que o quantitativo de *Escherichia coli* já havia reduzido significativamente e só voltou a aparecer devido ao aumento da diluição.

Resultados semelhantes a esses foram obtidos por Miguel *et al.* (2022), que utilizou resíduos de podas e resíduos alimentares em pilhas estáticas de compostagem. A quantidade de coliformes permaneceu praticamente constante durante todo o processo, enquanto que, as concentrações de *Escherichia coli* reduziram consideravelmente. Este autor ainda destacou que a temperatura não foi homogênea nas pilhas, por este fato, esses patógenos permanecem no composto e proliferaram com o tempo.

Tabela 16 – Dinâmica de coliformes totais e *Escherichia coli* ao longo do processo de compostagem do 1º experimento, em intervalos de 30, 60, 90, 120 e 150 dias.

Tratamentos										
Organismos/ Dias	T1		T2		T3		T4		T5	
	C.T	E.C	C.T	E.C	C.T	E.C	C.T	E.C	C.T	E.C
30 dias	>241.960	8.390	>241.960	241.960	>241.960	9.590	198.630	630	38.730	520
	>2.419.600	14.200	120.300	7500	41000	< 1000	12590	200	>241.960	100
60 dias	2.419.600	< 1000	119.800	< 1000	> 2.419.600	< 1000	> 241.960	< 100	> 241.960	< 100
	1.553.100	< 1000	424.500	< 1000	1.046.200	< 1000	> 241.960	< 100	> 241.960	< 100
90 dias	> 2.419.600	< 1000	437.400	< 1000	> 2.419.600	< 1000	1.046.200	< 1000	152.900	< 1000
	4.106.000	< 10000	2.584.000	< 10000	1.918.000	< 10000	3.448.000	< 10000	1.732.900	< 1000
120 dias	17.329.000	< 10000	4.245.000	< 10000	11.199.000	< 10000	> 24.196.000	< 10000	> 24.196.000	< 10000
	6.131.000	< 10000	3.873.000	< 10000	2.723.000	< 10000	813.000	< 10000	1.515.000	< 10000
150 dias	4.352.000	< 10000	1.223.000	< 10000	4.160.000	< 10000	14.329.000	< 10000	2.595.000	< 10000
	> 2.419.600	< 1000	1.119.900	< 1000	2.419.600	< 1000	> 2.419.600	< 1000	> 2.419.600	< 1000

Os tratamentos variam as proporções de resíduos de maravalha (M) e podas (P): T1: 100% (P); T2: 75% (P) e 25% (M); T3: 50% (P) e 50% (M); T4: 25% (P) e 75% (M); T5: 100% (M).

C.T: Coliformes totais; E.C: *Escherichia coli*

Fonte: Vitória Ribeiro, 2022.

O segundo experimento (Tabela 11) apresentou uma dinâmica um pouco diferente devido ao acréscimo dos resíduos alimentares e o esterco bovino. Os tratamentos 3 e 4 apresentaram maior quantificação de coliformes termotolerantes, pois foi utilizado esterco bovino fresco. Até o final do primeiro mês foi observada uma redução significativa dos coliformes, isso ocorreu porque a temperatura se manteve elevada por um período mais longo. A diminuição da *Escherichia coli* foi ainda mais evidenciada chegando a <100 NMP/g, até o quarto mês para ambos os tratamentos e até o quinto mês para o T4.

Como observado na tabela 11, ocorreu uma maior variação nos resultados da avaliação da concentração da *Escherichia coli*. Observou-se, entretanto, que as maiores concentrações ocorreram nos dias de coleta das amostras, após as pilhas serem irrigadas, e as menores concentrações ocorreram nas coletas em que as pilhas de composto ainda não haviam sido umedecidas. O teste de Colilert foi realizado na água utilizada para umedecimento, sendo constatada a presença dos coliformes termotolerantes. O aumento desses quantitativos associados à água é bem relevante, visto que, a mesma é provinda da chuva coletada no telhado do galpão da biorrefinaria. Foi observada a chegada de inúmeros pombos ao telhado onde o sistema de captação está instalado. Neste caso, de acordo com as análises microbiológicas, constatou-se que a água contribuiu para essa variação.

Uma informação importante a ser destacada é que dentre os coliformes termotolerantes, a *Escherichia coli* praticamente zerou até o final de ambos os experimentos, deste modo os coliformes presentes não são de origem gastrointestinal. As bactérias do grupo dos coliformes termotolerantes originados de ambientes naturais diversos como *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Serratia*, não estão presentes em água potável, o que nos leva a refletir que a água captada da chuva, não é potável e poderia causar danos à saúde humana se consumida diretamente.

É de suma importância citar que o Brasil não possui especificações claras sobre os quantitativos desses patógenos. As únicas informações que podem ser usadas como base é uma proposta de Resolução do CONAMA que define Critérios para produção de composto a partir de resíduos sólidos orgânicos. Essa proposta estabelece o quantitativo de coliformes termotolerantes (<1000 NMP/g), *Salmonella sp.* (ausente) e ovos de helmintos (<0,25 ovos viáveis/4g) (CONAMA, 2017). Para a *Escherichia coli*, Bidone e Povinelli (1999) citam que “o composto é considerado seguro do ponto de vista sanitário quando esse patógeno apresenta concentrações menores que $1,0 \times 10^2$ NMP/g”.

Tabela 17 – Dinâmica de coliformes totais e *Escherichia coli* ao longo do processo de compostagem do 2º experimento, em intervalos de 30, 60, 90, 120 e 150 dias.

Tratamentos								
	T1		T2		T3		T4	
Organismos/ Dias	C.T	E.C	C.T	E.C	C.T	E.C	C.T	E.C
30 dias	226.000	211.000	75.000	52.000	2.382.000	1.414.000	> 24.196.000	> 24.196.000
	488.400	365.400	14.900	17.500	175.300	74.300	20.000	20.000
	5.200	5.200	9.600	< 1000	56.300	< 1000	11.000	2.000
	61.310	< 100	22.470	630	173.290	310	4.800	310
60 dias	> 241.960	850	> 241.960	1.750	> 241.960	1.750	61.310	2.990
	> 241.960	< 100	12.120	< 100	> 241.960	< 100	> 241.960	< 100
90 dias	> 241.960	750	> 241.960	54.750	> 241.960	800	> 241.960	< 100
	> 241.960	< 100	> 241.960	< 100	> 241.960	< 100	> 241.960	< 100
120 dias	> 241.960	13.340	> 241.960	9.600	> 241.960	310	> 241.960	1100
	> 241.960	<100	> 241.960	< 100	> 241.960	< 100	> 241.960	< 100
150 dias	> 241.960	< 100	> 241.960	<100	> 241.960	200	> 241.960	200
	> 241.960	410	> 241.960	750	> 241.960	200	> 241.960	<100

Fonte: Vitória Ribeiro, 2023.

6 CONCLUSÕES

De acordo com as pesquisas e análises realizadas neste trabalho pode-se concluir que os resíduos de maravalha dos biotérios de produção podem ser usados no processo de compostagem. Não especificamente como resíduo principal, mas co-processado com outros resíduos ricos em nutrientes como os resíduos alimentares e o esterco bovino. A mistura com os demais resíduos permitirá uma relação C/N mais adequada, tendo em vista que a melhor proporção de maravalha a ser utilizada é até 25%, de acordo com o tratamento 2 do primeiro experimento, que teve sua decomposição total em 120 dias. Em relação a decomposição da maravalha, a adição de esterco bovino obteve o melhor desempenho, até os 150 dias de experimento.

No que diz respeito às análises microbiológicas, a maravalha demonstrou resultados interessantes, pois o quantitativo de patógenos encontrados nas podas, que já são comumente utilizadas no processo de compostagem, foram superiores aos encontrados na maravalha, o que nos leva refletir sobre a sua atual classificação (resíduos infectantes) e sua destinação final (incineração), que não condiz com suas características físico-químicas e microbiológicas. O segundo experimento obteve quantitativos elevados de patógenos devido ao uso de esterco bovino, resíduo que já possui naturalmente teores bem elevados destes microrganismos. No entanto, até o final do mesmo houve um decréscimo significativo ficando abaixo de <100 NMP/g, o que é considerado aceitável para um adubo orgânico.

O primeiro experimento demonstrou que a maravalha, por apresentar um longo tempo para decomposição e não conseguir reter umidade, necessita de um quantitativo maior de água durante o processo de compostagem. Neste caso, a adição de resíduos alimentares e esterco bovino contribuiu para reduzir a relação C/N e aumentou a retenção da umidade, o que resultou em uma economia de até 75% na quantidade de água necessária para a compostagem.

No que se refere a viabilidade econômica, o encaminhamento da maravalha dos biotérios de produção para o processo de compostagem reduziria consideravelmente os custos atuais com a incineração desses resíduos. Por fim, sugere-se que mais trabalhos como esse sejam realizados para que se possa adequar as proporções ideais de resíduos e que análises microbiológicas mais específicas para os demais coliformes sejam realizadas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.591**: Compostagem. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 4 p.
- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004**: Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: 2004.
- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14929 Determinação do Teor de Umidade de Cavacos - Método por Secagem em Estufa**. Rio de Janeiro, 2017.
- ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2022**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>.
- ABREU, M. F. **Do lixo à cidadania: estratégias para a ação**. Brasília: Caixa, 2007.
- ABREU, M. J. de. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: Manual de orientação**. 168p. Ministério do Meio Ambiente, MMA, Brasília, 2017.
- ALCANTARA, P. B. **Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.
- ALCÂNTARA, A. J. O. **Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos e caracterização química do solo da área de disposição final do município de Cáceres-MT**. Cáceres, 2010. Dissertação (Programa de pós-graduação em Ciências Ambientais), Universidade do Estado do Mato Grosso.
- AMUAH, E.E.Y.; FEI-BAFFOE, B.; SACKEY, L.N.A.; DOUTI, N.B.; KAZAPOE, R.W. 2022. **A review of the principles of composting: understanding the processes, methods, merits, and demerits**. Organic Agriculture 2022 1–16. <https://doi.org/10.1007/S13165-022-00408-Z>.
- ANDRADE, A.; PINTO, S. C.; OLIVEIRA, R. S. **Animais de Laboratório: criação e experimentação** [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2002. 388 p. ISBN: 85-7541-015-6. Disponível em: <<http://books.scielo.org>>. acessado em: 24/10/2022.
- ANDRADE, J. F. A.; PINHEIRO, A.B.; FARIAS, M. N. A. C.; DAMASCENO, A.V. B.S.; MONTEIRO, A. M.; COSTA, M. A. R. C.; ANDRADE, M. A. H.; SOARES, R. H. F.C. **Aspectos relacionados à qualidade ambiental em biotério: revisão de literatura**. RESBCAL. 2018; 6(1):9-15.
- ANSARI, A. A.; SHAKEEL, A.; SAWARKAR, R.; MADDALWAR, S.; KHAN, D.; SINGH, L. **Additive facilitated co-composting of lignocellulosic biomass waste, approach towards minimizing greenhouse gas emissions: an up to date review**. Environmental Research. Review article. 2023.

ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 306, de 07 de dezembro de 2004.** Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Publicada no Diário Oficial da União de 10/12/2004.

ANVISA- Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 222, de 11 de junho de 2018.** Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras Providências. 11 jun. 2018.

AZEVEDO, M. A. **Compostagem de resíduos sólidos orgânicos - aspectos teóricos e operacionais.** Departamento de Engenharia civil, Ed. universitária Federal de Viçosa, Viçosa, 44 p. 1997.

BABLA, M.; KATWAL, U.; YONG, M.T.; JAHANDARI, S.; RAHME, M.; CHEN, Z.H.; TAO, Z. **Value-added products as soil conditioners for sustainable agriculture.** Resour. Conserv. Recycl. 178, 106079 <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.106079>. 2022.

BAETA-HALL, L.; SÁÁGUA, M. C.; BARTOLOMEU, M. L.; ANSELMO, A. M. ROSA, M. F. A compostagem como processo de valorização dos resíduos na extração de azeite em contínuo. **Boletim de Biotecnologia**, UME, UB, 31-37, 2003.

BALAGURUMURTHY, B. et al. **Recent Advances in Thermo -Chemical Conversion Biomass.** Elsevier, 2015.

BANU, R. J.; PREETHI, K. S.; TYAGI, V.K.; GUNASEKARAN, M.; KARTHIKEYAN, O.P.; KUMAR, G. 2021. **Lignocellulosic biomass based biorefinery: A successful platform towards circular bioeconomy.** Fuel. 302, 121086.

BIDONE, F. R. A; POVINELLI, J. 1999. **Conceitos básicos de resíduos sólidos.** São Carlos, São Paulo: EESC – USP.

BOLLEN, G. J. **Lethal temperatures of soil fungi.** In: Parker CA (ed.). Ecology and management of soil-borne plant pathogens. Am. Phytopathol. Soc. 191-193, 1984.

BLOM, H. J. M.; VAN TINTELEN, G.; VAN VORSTENBOSCH, C. J. A. H. V.; BAUMAS, V.; BEYNEN, A.C. **Preferences of mice and rats for types of bedding material.** Lab Anim. 1996; 30: 234-244.

BRASIL. **Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, 2010a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.html

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **18º Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos.** Brasília, DF, 2020. 244 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixazero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen - Total. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 2: chemical and microbiological properties**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 595-624.

CÁCERES, R.; MALINSKA, K.; MARFÀ, O. **Nitrification within composting: A review**. waste management, 2017. Barcelona- Espanha.

CÂMARA, Maria José Tôrres. **Diferentes compostos orgânicos e plantimax como substrato na produção de mudas de Alface**. 2001. 42p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Mossoró, Mossoró, 2001.

CARVALHO, C.R.B. **Compostagem de resíduos verdes e orgânicos alimentares**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de pós graduação e pesquisa de engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CASTALDI, P.; ALBERTI, G.; MIRELLA, R.; MELIS, P. **Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity**. Waste Management, v. 25, p. 209-213, 2005.

CHALUPPE, M.A.C. (2013). **Análise da Implantação do Projeto “Valorização dos Resíduos Sólidos Orgânicos no Município de Florianópolis Através do Beneficiamento dos Resíduos de Podas”**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia sanitária e ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

CONAMA- Conselho Nacional de Meio Ambiente . **Resolução nº 481/2017**. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. 2017.

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005). **Resolução CONAMA nº 358 de 29 de abril de 2005**. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências
<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=462>

CONAMA- Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Proposta de Resolução que define critérios para produção de composto de Resíduos Sólidos Orgânicos** - Processo: 02000.001228/2015-37. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acessada em dezembro de 2023.

CORRENTE, J.E.; NOGUEIRA, M.C.S.; COSTA, B.M. **Contrastes ortogonais na análise do controle de volatilização de amônia em compostagem**. Scientia Agricola, v. 58, n. 2, p. 407- 412, 2001.

CORTEZ, L. C. **Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda de árvores urbanas para a geração de energia: Estudo de Caso: AES ELETROPAULO**. São Paulo, 2010. 246p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

CORTEZ, Juan Waldir Mendoza. **Esterco de bovino e nitrogênio na cultura de rabanete**. 2009. Disponível em <http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/pv/m/3777.pdf>

COUTINHO, Marcela Luz. **Revisão da literatura: Fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, impactos em aterros sanitários e compostagem como solução.** Trabalho de conclusão de curso, Juiz de Fora-MG, 2020.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

DATTA, P.; MOHI, G.; CHANDER, J. **Biomedical waste management in India: Critical appraisal.** Journal of Laboratory Physicians, v. 10, n. 01, p. 006–014, 2018.

DEVENS, D. C. **Aplicação do processo de compostagem com aeração forçada positiva aos resíduos sólidos da indústria de café solúvel.** Dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em engenharia ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. p.169 1995.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

DUTRA, D. E, MENEZES, C.S.R, PRIMO, C.D. **Adições de nutrientes na compostagem de podas de árvores na região semiárida do NE do Brasil,** Revista Scientia Plena.v.11 n.7 p.1-10. 2013.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes.** Brasília, p. 627, 2009.

ESCOLAS VERDES. **Compostagem doméstica.** Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Católica Portuguesa. <http://www.escolasverdes.org> (acessado em 31/10/2022).

FAO- Food and Agriculture Organization of The United Nations – 2015. **Food wastage footprint & climate change.** Disponível em: <http://www.fao/a-bb144e.pdf> .org/3.

FRITSCH, P. R. C. **A temperatura como parâmetro acessível e possível de ser utilizado no controle do processo de compostagem em municípios de pequeno e médio porte.** Rio de Janeiro: s.n., 2006.

GE, S.; WANG, S.; YANG, X.; QIU, S.; LI, B.; PENG, Y. **Detection of nitrifiers and evaluation of partial nitrification for wastewater treatment: a review.** Chemosphere 140, 85–98. 2015.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia, processos ecológicos em agricultura sustentável.** Porto Alegre: Editora Universidade. p. 613, 2000.

GUIMARÃES, Gabriel dos Anjos. **Composição Gravimétrica e Valorização Econômica dos Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de caso na região central de Itacoatiara/AM.** 78p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária), Universidade Federal do Amazonas, UFAM, Amazonas, 2019.

GUO, S.; PAN, J.; ZHAI, L.; KHOSHNEVISAN, B.; WU, S.; WANG, H.; YANG, B.; LIU, H.; LEI, B. **The reactive nitrogen loss and GHG emissions from a maize system after a**

long-term livestock manure incorporation in the North China Plain. *Sci. Total Environ.* 720, 137558 <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.137558>. 2020.

GUSTAVSSON, J., CEDERBERG, C., SONESSON, U., VAN OTTERDIJK, R., MEYBECK, A. **Global food losses and food waste.** *Food and Agriculture Organization of the United Nations.* Swedish Inst. Food Biotechnol. 2011.

HAMODA, M. F; ABU QDAIS, H. A, NEWHAM, B. J. **Evaluation of municipal solid waste composting kinetics.** *Res., Conserv. and Recycling.* 23: 209-223, 1998.

HASSEN, A.; BELGUITH, K.; JEDIDI, N. CHERIF, A.; CHERIF, M. BOUDABOUS, A. **Microbial characterizations during composting solid waste.** *Biores. Techn.* 80: 217-225, 2001.

HAUG, R. T. **The practical handbook of compost engineering.** Lewis publisher London, 350 p. 1993.

HERBETS, R.A.; COELHO, C.R. de A.; *MILETTI, L.C.; MENDONÇA, M.M. de. **Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos.** *Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal*, v.6, n.1, 2005.

HOLWEDA, E. K.; WOTTHEN, R. S.; KOTHARI, N.; LASKY, R.C.; DAVISON, B.H.; FU, C.; WANG, Z.Y.; DIXON, R.A.; BISWAL, A.K.; MOHNEN, D.; NELSON, R.S.; BAXTER, H.L.; MAZAREI, M.; STEWART Jr.; MUCHERO, W.; TUSKAN, G.A.; CAI, C.M.; GJERSING, E.E.; DAVIS, M.F.; HIMMEL, M.E.; WYMAN, C.E.; GILNA, P.; LYND, L.R.; 2019. **Multiple levers for overcoming the recalcitrance of lignocellulosic biomass.** *Biotechnol. Biofuels.* 12, 15.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022. **Produção Agropecuária.** Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/pe>> Acesso em: 1 de out 2023.

IDEXX LABORATORIES. **Colilert.** EUA, 2002. Disponível em: <https://www.idexx.com/pdf/en_us/water/64063001.pdf>. Acesso em: 15 de nov de 2023.

IEA, 2019. **World energy outlook 2019.** Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>.

IGUCHI, C. Y. **Considerações gerais sobre a aplicação de esterco no processo de compostagem dos resíduos de poda e capina.** (Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de Formatura do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto de Geociências e Ciências Exatas). UNESP, Campus de Rio Claro, 2008.

IKUTA, F. A. **Resíduos sólidos urbanos no Pontal do Paranapanema – SP: inovação e desafios na coleta seletiva e organização de catadores / Flávia Akemi Ikuta.** - Presidente Prudente : [s.n], 2010 235 f. : il.

ILHA, R.; SOARES, J. F. **Manejo de resíduos de serviços de saúde: Uma revisão das estratégias de tratamento.** 6º CONRESOL- Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, Nova Iguacu- PR, 2023.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2019 Refinement to the 2006 IPCC **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. v. 5, c. 2, 2019.

ITEP – Instituto de Tecnologia de Pernambuco. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos**. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade, 2012.

JUNKES, M. B. et al. **Procedimentos para aproveitamento de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

KAWAKANI, K.; SHIMOSAKI, S.; TONGU, M.; KOBAYASHI, Y.; NABIKA, T.; NOMURA, M. Y. T. **Evaluation of bedding and nesting materials for laboratory mice by preference tests**. Exp Anim. 2007; 56(5): 363-368.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres, p. 482, 1985.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 3ª Edição. Piracicaba, p. 171, 2002.

KIEHL E.J. **Manual de compostagem** – Maturação e qualidade do composto, Piracicaba: 4ª ed. do autor ; 2004.

KIEHL E.J. **Adubação Orgânica** – 500 perguntas e respostas, Piracicaba: E. J. Kiehl; 2005.

KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science. **Berlin: Walter de Gruyter**, 1931. 388 p.

LAN, T.; XIE, N.; CHEN, C.; HE, X.; DENG, O.; ZHOU, W.; CHEN, G.; LING, J.; YUAN, S.; HUANG, R.; TIAN, Z.; ANDERSON, C.W.N.; GAO, X.; 2022. **Effects of biological nitrification inhibitor in regulating NH₃ volatilization and fertilizer nitrogen recovery efficiency in soils under rice cropping**. Sci. Total Environ. 838, 155857
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.155857>

LI, G.; ZHU, Q.; NIU, Q.; MENG, Q.; YAN, H.; WANG, S.; LI, Q. **The degradation of organic matter coupled with the functional characteristics of microbial community during composting with different surfactants**. Bioresour. Technol. 321, 124446
<https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.124446>. 2021.

LI, K.; LIU, R.; CUI, S.; YU, Q.; MA, R. **Anaerobic co-digestion of animal manures with corn stover or apple pulp for enhanced biogas production**. Renewable Energy, v. 118, p. 335- 342, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j>.

LIMA, L.M.A. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. Caxias do Sul: Ed. Do Autor. p. 240, 1991.

LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R. **Alternative treatment for the municipal solid waste and domestic sewage in Campinas, Brazil**. Resources, Conservation and Recycling. v. 81, p. 24- 30, 2012. Disponível em:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344913001882>>.

MAGALHÃES, J. Z.; CAMUSSO, J. R.; ARNOLD, A. J. T.; RIBEIRO, M. O.; FUKUSHIMA, A. R.; BERNARDI, M. M.; SPINOSA, H. de S.; RICCI, L. Avaliação comportamental do impacto de diferentes tipos de substrato para gaiolas no bem-estar de ratos de laboratório. **Revista da Sociedade Brasileira de Ciência em Animais de Laboratório / Sociedade Brasileira de Ciência em Animais de Laboratório.** – v. 7, n. 2 (2019) - São Paulo : SBCAL, 2012.

MARONA, H.R.N.; LUCCHESI, M.B.B. **Refining the intestinal motility test in mice to reduce animal stress.** Rev Cienc Farm 24: 79-82.2003.

MARQUES, M.; HOGLAND, W. **Processo descentralizado de compostagem em pequena escala para resíduos domiciliares em áreas urbanas.** XXXXVIII Inter-American Congress of Sanitary and Environmental Engineering, 2002.

MAZZEI, H. G.; SPECCHIA, S. **Latest insights on technologies for the treatment of solid medical waste: A review.** Journal of Environmental Chemical Engineering, v. 11, n. 2, p. 109309, 2023.

Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação.** Ministério do Meio Ambiente, Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio/SC. - Brasília, DF: MMA, 2018.

MEIRA, A. M. **Gestão de resíduos da arborização urbana.** 179p. Tese de Doutorado (Ciências: Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de Produtos Florestais) – 2010. Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

MENEZES, D. A. **Parâmetros ambientais determinantes ao bem-estar de animais mantidos em um biotério specific pathogen free de uma instituição pública brasileira.** Universidade Federal do Ceará. Trabalho de conclusão de curso, 2022.

MIGUEL, N.; LÓPEZ, A.; JOJOA-SIERRA, S.D.; FERNÁNDEZ, J.; GÓMEZ, J.; ORMAD, M.P. **Physico-Chemical and Microbiological Control of the Composting Process of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste: A Pilot-Scale Experience.** Int. J. Environ. Res. Public Health 2022, 19, 15449. <https://doi.org/10.3390/ijerph19231544>

NIU, Q.; YAN, H.; MENG, Q.; WANG, S.; LI, G.; ZHU, Q.; LI, X.; LI, Q. **Hydrogen peroxide plus ascorbic acid enhanced organic matter deconstructions and composting performances via changing microbial communities.** J. Environ. Manag. 295, 113126 <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.113126>. 2021.

ODA, L. **Biossegurança no Brasil Segue Padrões Científicos Internacionais.** Biotecnol Ciênc Desenvolv. 2001; 3(18):5-8.

OJHA, S.; BUßLER, S.; SCHLÜTER, O. K. **Food Waste Valorisation and Circular Economy Concepts in Insect Production and Processing.** Waste Management. n° 118, p. 600 – 609, 2020.

OLINTO, F.A.; ANDRADE, F.D.; SOUSA JÚNIOR, J.R.; da SILVA, S.S. **Compostagem de resíduos sólidos**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 7, n. 5, p. 40-44, 2013.

OLIVEIRA, L. B. de; ACCIOLY, M. de A.; MENEZES, R. S. C.; ALVES, R. N.; BARBOSA, F. S.; SANTOS, C. L. R. dos. **Parâmetros indicadores do potencial de mineralização do nitrogênio de compostos orgânicos**. IDESIA (Chile) volume 30, Nº 1. 2012.

PAIXÃO, R. L. **Experimentação animal: razões e emoções para uma ética**. 2001. 189 f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2001.

PEIXOTO, R. T. G. **Compostagem: Opção para manejo orgânico do solo**. IAPAR, Londrina, PR, 15 p. 1998.

PELCZAR, M. J.; REID, R.; CHAN, E. C. S. **Microbiologia**. São Paulo. Mcgraw-Hill. V. 1. p. 576 1980.

PEREIRA, A. I. C. **Co-digestão anaeróbia de resíduos verdes e lamas de ETAR para produção de biogás**. 2013. P.98. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal.

PEREIRA-NETO, J.T. **Conceitos Modernos de Compostagem**. Revista Engenharia Sanitária, vol. 28(2), p. 104 - 109 Rio de Janeiro; 1989.

PIRES, I. C. G.s; FERRÃO, G. da E.. **Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental**. Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas, p.01-18, v. 09, n. 01, 2017. Disponível em:
<<http://www.periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/5685/4110>>. Acesso em: 21 set 2023.

PRIMO, D. C; FADIGAS F. S; CARVALHO, R. C. J; SHMIDT, S. D. C; FILHO, B. S. C. A. **Avaliação da qualidade nutricional de composto orgânico produzido com resíduos de fumo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande- PB, v.14, n.7, p.742-746, 2010.

QUEIROZ, E.S. **Produção de composto orgânico a partir de resíduos da poda fitossanitária de cupuaçuzeiros infectados por *Moniliophthora perniciosa* para utilização como substrato para mudas**, 2016.

QUEIROZ, K.S.; VENCESLAU, E.A.D.J.; SILVA, F.; TRINDADE, A.V.; ARAUJO, L.; LEDO, C. **Estruturação da Unidade de Compostagem e Produção de Composto Orgânico no Projeto Volta à Terra/PVT**. Cadernos de Agroecologia, v. 4, n. 1, 2009.

R Development Core Team. 2019: **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, <https://www.rproject.org/>.

RAJABI, H.; HADI MOSLEH, M.; MADAL, P.; LEA-LANGTON, A.; SEDIGHI, M. **Emissions of volatile organic compounds from crude oil processing – global emission inventory and environmental release**. 2020, Sci. Total Environ. 727, 138654.

RANDHAWA, G. K.; KULLAR, S. J. Bioremediation of Pharmaceuticals, Pesticides, and Petrochemicals with Gomeya/Cow Dung. **ISRN Pharmacology**, p. 1-8, 2011. Doi: <https://doi.org/10.5402/2011/362459>. 2011.

REIS, M. F. P. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Instituto de pesquisas hidráulicas- UFRGS. Rio Grande do Sul, 2005.

REIS, P. B. **Diagnóstico da viabilidade econômica da compostagem dos resíduos sólidos orgânicos gerados no município de Passira-PE**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021.

REZENDE, J. H. et al. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2013.

RICCI, M. dos Santos Freire.; NEVES, M. C. M.; AGUIAR-MENEZES, E. de Lima. **Embrapa Agroecologia Sistemas de Produção**. 2ª Ed. Dez. 2006.

RODRIGUES, Alexandre Couto; et al. **Compostagem de resíduos orgânicos: eficiência do processo e qualidade do composto**. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 22, p.759-770, Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015c/agrarias/compostagem%20de%20residuos.pdf>. Acesso em: 21 set 2023.

RUSSO, T. A. M. **Tratamento de resíduos sólidos**, Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia Departamento de Engenharia Civil. Portugal, 2003.

SAINT-EXUPÉRY, Antoine de. **O pequeno príncipe**. 48. ed. Rio de Janeiro: Agir, 2009. 91, [2] p.

SANTOS, Izabel Aparecida dos; NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Estudo energético do esterco bovino: seu valor de substituição e impacto da biodigestão anaeróbia**. Revista Agrogeoambiental, Pouso Alegre, v. 4, n. 1, p. 41-49. 2012.

SILVA, M. C.; PINTO, E. A.; PEREIRA, M.; QUENTAL, L. N. CHAVES, B. **Compostagem em Portugal**. Escola Superior de Biotecnologia, 23 jun 2003.

SHARMA, V. K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA. . **Processing of Urban and Agro-Industrial Residues by aerobic composting: Review**. In: Energy Conversion and Management, Inglaterra, v. 38, n. 5, p. 453-478, 1997.

SHERWIN, C. M. **The influence of standard laboratory cages on rodents and the validity of research data**. **Anim Welf**. 2004; 13(1):9-15.

SNIS- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Relatório Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos**. 2019. Disponível em: <https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>. Acesso: 02 de janeiro de 2024.

SOUSA, M. H. de. **Avaliação de ciclo de vida e análise exergética na gestão de RSU: Um estudo de caso no agreste de Pernambuco**. Tese de doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

SOUZA, J.L.; REZENDE, P.L. **Manual de Horticultura Orgânica**. 2ª ed. Viçosa: Aprenda Fácil, p. 843, 2006.

SOUZA, P. O. de; INÁCIO, C. de T.; ANDRADE, L. de S. **Determinação de pH com amostra reduzida de resíduos orgânicos e composto**. III SIGER- Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos agropecuário e Agroindustriais. São Paulo, 2013.

RIBEIRO, V. M. de S. **Avaliação microbiológica e parasitológica da maravalha de um biotério da Universidade Federal de Pernambuco destinada ao processo de compostagem**. Dissertação de mestrado/ UFPE. Recife, 2025.

TEIXEIRA, L. B.; GERMANO, V.L.C; OLIVEIRA, R. F.; FURLAN, J. **Processo de compostagem a partir de lixo urbano e caroço de açaí**. Circular Técnica 29, Embrapa, Belém, 8 p. 2002.

The World Bank, 2019. **Solid waste management**.

<https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>

THOMAS, R. L.; SHEARD, R. W.; MOYER, J. R. **Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus, and potassium analysis of plant material using a single digestion**. Agron. J. v. 59, 1967.

XU, M.; YANG, M.; SUN, H.; MENG, J.; LI, Y.; GAO, M.; WANG, Q.; WU, C. **Role of multistage inoculation on the co-composting of food waste and biogas residue**. Bioresour. Technol. 361, 127681 <https://doi.org/10.1016/J. BIORTECH.2022.127681>. 2022.

WANG, X.; ZHAO, Y.; WANG, H.; ZHAO, X.; CUI, H.; WEI, Z. **Reducing nitrogen loss and phytotoxicity during beer vinasse composting with biochar addition**. Waste Manage. 61, 150–156. 2017.

WANGEN, D. R. B.; FREITAS, I. C. V.; **Compostagem doméstica: alternativa de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos**. Rev. Brasil de Agroecologia. 5(2): 81-88 p. 2010.

WEI, Y. S.; FAN, Y. B.; WANG, M. J. **Composting and compost application in China**. Res. Conser. and Recycling 30: 277-300, 2000.

YAASHIKAA, P. R. et al. **Bioconversion of municipal solid waste into bio-based products: A review on valorisation and sustainable approach for circular bioeconomy**. Science of The 63 Total Environment, v. 748, 141312, Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720348415>. Acesso em: 16 out. 2023.

YAO, Y.; XU, J.-H.; SUN, D.-Q. **Untangling global levelized cost of electricity based on multi-factor learning curve for renewable energy: Wind, solar, geothermal, hydropower and bioenergy**. J. Clean. Prod. 285, 124827. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124827>.