

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**WILKER MARCOLINO NASCIMENTO**

**AVALIAÇÃO DO PAPEL E DO PAPELÃO COMO FONTES ALTERNATIVAS DE  
CARBONO NA COMPOSTAGEM DOMÉSTICA**

Vitória  
2022

WILKER MARCOLINO NASCIMENTO

**AVALIAÇÃO DO PAPEL E DO PAPELÃO COMO FONTES ALTERNATIVAS DE  
CARBONO NA COMPOSTAGEM DOMÉSTICA**

Monografia apresentada à Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vitória, como requisito parcial para a obtenção do título Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Jacqueline R. Bringhenti

Vitória

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Nilo Peçanha do Instituto Federal do Espírito Santo)

N244a Nascimento, Wilker Marcolino.  
Avaliação do papel e do papelão como fontes alternativas de carbono na compostagem doméstica / Wilker Marcolino Nascimento. – 2022.  
52 f. : il. ; 30 cm

Orientadora: Jacqueline Rogéria Bringhenti.

Monografia (graduação) – Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria de Saneamento Ambiental, Curso Superior de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, 2022.

1. Resíduos sólidos. 2. Compostagem. 3. Compostos orgânicos. 4. Papel. 5. Papelão. 6. Engenharia sanitária. I. Bringhenti, Jacqueline Rogéria. II. Instituto Federal do Espírito Santo. III. Título.

CDD 21 – 628.44

Elaborada por Ronald Aguiar Nascimento – CRB-6/MG – 3.116


**WILKER MARCOLINO NASCIMENTO**

**AVALIAÇÃO DO PAPEL E DO PAPELÃO COMO FONTES ALTERNATIVAS  
DE CARBONO NA COMPOSTAGEM DOMÉSTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenadoria do Curso de Engenharia Sanitária e  
Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo,  
Campus Vitória, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Sanitária e Ambiental.


Aprovado em 22 de dezembro de 2022.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 JACQUELINE ROGERIA BRINGHENTI  
Data: 26/12/2022 10:44:56-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>


---

Dra. Jacqueline Rogéria Bringhenti  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Orientadora

Documento assinado digitalmente  
 ADRIANA MARCIA NICOLAU KORRES  
Data: 26/12/2022 20:37:51-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

---

Dra. Adriana Marcia Nicolau Korres  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Membro interno

Documento assinado digitalmente  
 MARCIA TONON  
Data: 26/12/2022 23:05:12-0300  
Verifique em <https://verificador.itl.br>

---

Eng<sup>a</sup>. Esp. Márcia Tonon  
Central de Negócios Ambientais  
Membro externo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela minha vida, por me proporcionar saúde e me guiado nesta jornada. Pois sem ele nada somos.

Aos meus pais, que estiveram ao meu lado dando suporte, incentivo, amor e orientação. Sou grato a todos os momentos e possibilidades que me proporcionaram.

O minha tia Adriana que deu auxílio na escolha do curso e foi uma inspiração de estudo.

Ao meu tio Milton Pedrozo que sempre me proporcionou conversas interessantes, sábias e aprendizagem. Além de toda a alegria e calma transmitidas.

Ao meu primo Caio, por sempre me apoiar e me ouvir nos momentos mais difíceis.

À Ana Caroline, que adquiriu alguns materiais de confecção e sugeriu algumas ideias. Além de toda a paciência comigo.

Aos meus professores, que foram mais que essenciais na minha jornada acadêmica. Compartilharam grande parte do meu conhecimento e me orientaram sobre assuntos pertinentes nessa jornada.

À professora Jacqueline Bringhenti, que deu a oportunidade de participar da iniciação científica e aceitou me orientar nessa monografia. Além de ser superpaciente e atender minhas dúvidas.

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes.”

-Isaac Newton

## RESUMO

Práticas sustentáveis como a compostagem doméstica vem despertando atenção neste início de século. Estudos que visam tornar a sua operação simplificada, de baixo custo e minimizar eventuais problemas com odores e presença de vetores contribuem para sua disseminação. O bom funcionamento deste tratamento biológico depende também do equilíbrio entre as parcelas de restos orgânicos que atuam como fontes de nitrogênio (N) como cascas de vegetais (frequentes em domicílios) e as fontes de carbono (C) de modo a obter a relação de C/N adequada. A serragem adquirida no mercado ou em marcenarias tem sido a principal de fonte de carbono utilizada, sendo importante avaliar o uso de outros resíduos gerados nas residências para tornar o processo menos custoso e mais acessível. O estudo objetivou avaliar o uso do papelão (rolo de papel toalha) e papel de pão (tipo kraft) como alternativas de carbono na compostagem doméstica. Consistiu na confecção de sete composteiras artesanais e monitoramento de parâmetros físicos e sanitários ao longo de 48 dias. Foram testados três tratamentos preenchidos por batelada com diferentes fontes de carbono: T1 que utilizou papelão picado, T2 papel de pão picado e T3 com serragem. Os tratamentos T1 e T2 produziram mais chorume apresentando odor desagradável/forte e coloração escura, enquanto no T3 o chorume possuía coloração mais clara, odor menos intenso e foi produzido em menor quantidade. Tal fato foi atribuído a característica física da serragem de atuar como material estruturante no processo, o que ficou evidenciado por apresentar também estrutura mais definida e aspecto de “terra fofa” desde o início da operação. Por sua vez T1 e T2 apresentaram aspecto pastoso até o 18º dia, passando gradativamente para o aspecto de “terra fofa”. Em todos os tratamentos foi observada uma redução de massa superior a 70% do valor inicial. Os resultados obtidos evidenciaram que ocorreu a biodegradação em todas as composteiras, não sendo possível realizar o adequado controle da aeração e da umidade preconizados na técnica da compostagem nos tratamentos T1 e T2. Recomenda-se repetir o experimento, testando diferentes granulometrias do papel e do papelão, bem como o uso combinado com outras fontes como folhas secas e poda de grama, uma vez que o estudo indicou possibilidade do seu emprego como fontes alternativas de carbono. Palavras-chaves: Resíduos Orgânicos, Compostagem doméstica, Relação C/N, Papelão, Papel de pão.

## ABSTRACT

Sustainable practices such as domestic composting have attracted attention at the beginning of this century. Studies aimed at simplifying its operation, at low cost and minimizing possible problems with odors and the presence of vectors contribute to its dissemination. The good functioning of this biological treatment also depends on the balance between the portions of organic remains that act as sources of nitrogen (N) such as vegetable peelings (frequent in households) and the sources of carbon (C) to obtain the ratio of C /N suitable. Sawdust purchased on the market or in carpentry shops has been the main source of carbon used, and it is important to evaluate the use of other waste generated in homes to make the process less expensive and more accessible. The study aimed to evaluate the use of cardboard (paper towel roll) and bread paper (kraft type) as carbon alternatives in domestic composting. It consisted of making seven homemade composters and monitoring physical and sanitary parameters over 48 days. Three treatments filled by batch with different carbon sources were tested: T1 using shredded cardboard, T2 shredded bread paper and T3 with sawdust. Treatments T1 and T2 produced more manure with an unpleasant/strong odor and dark color, while in T3 the manure had a lighter color, less intense odor and was produced in smaller quantities. This fact was attributed to the physical characteristic of sawdust acting as a structuring material in the process, which was evidenced by its more defined structure and appearance of "soft earth" from the beginning of the operation. In turn, T1 and T2 presented a pasty appearance until the 18th day, gradually changing to a "soft dirt" appearance. In all treatments, a mass reduction greater than 70% of the initial value was observed. The results showed that biodegradation occurred in all composters, and it was not possible to carry out the adequate control of aeration and humidity recommended in the composting technique in treatments T1 and T2. It is recommended to repeat the experiment, testing different particle sizes of paper and cardboard, as well as their combined use with other sources such as dry leaves and grass clippings, since the study indicated the possibility of their use as alternative sources of carbon.

Keywords: Organic waste, Domestic composting, C/N ratio, Cardboard, Bread paper.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Desenho experimental .....	23
Figura 2 - Fluxograma das etapas do experimento .....	24
Figura 3 - Baldes utilizados para confecção das composteiras .....	25
Figura 4 - Esquema dos furos realizados nos fundos das composteiras. ....	26
Figura 5 - Vista superior da composteira (vazia) .....	27
Figura 6 - Feira de Paul, Vila Velha (ES).....	28
Figura 7 - Balde com casca.....	29
Figura 8 – Picagem do material orgânico .....	29
Figura 9 - Mistura dos resíduos orgânicos .....	30
Figura 10 - Marcação realizada no balde .....	31
Figura 11 - Localização das composteiras no laboratório.....	32
Figura 12 - Layout das composteiras .....	33
Figura 13 - Mosca em cima da tela mosquiteira.....	36
Figura 14 - Tamanho das larvas encontradas .....	36
Figura 15 - Chorume gerado nas composteiras .....	38
Figura 16 – Película branca nos tratamentos T1 e T2.....	38
Figura 17 – Aspecto visual do chorume .....	39
Figura 18 - Gráfico de variação de massa.....	40
Figura 19 - Umidade das composteiras.....	41
Figura 20 - Temperatura interna nas composteiras .....	42
Figura 21 – Aspecto visual dos tratamentos durante o 8º monitoramento .....	43
Figura 22 - Aspecto visual dos tratamentos durante o 10º monitoramento.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação de C/N e umidade por material.....	19
Tabela 2 - Características físicas do papelão.....	19
Tabela 3 - Etapas da pesquisa.....	21
Tabela 4 – Distribuição dos tratamentos realizados .....	23
Tabela 5 - Dados de partida do experimento .....	32
Tabela 6 - Datas do monitoramento .....	33
Tabela 7 - Relação de C/N dos materiais .....	34
Tabela 8 - Relação de C/N de partida do experimento.....	34
Tabela 9 – Média da variação de massas em porcentagem.....	40
Tabela 10 - Resultados das análises do composto final obtido segundo tratamento e parâmetros de referência da IN DAS/MAPA 25/2009.....	45
Tabela 11 – Parâmetros avaliados segundo os diferentes tratamentos testados. ....	46

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
2.	<b>OBJETIVO</b> .....	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3.	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: PANORAMA MUNDIAL.....	15
3.2	RESÍDUOS SÓLIDOS NO TERRITÓRIO NACIONAL.....	15
3.3	COMPOSTAGEM.....	16
3.4	PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A COMPOSTAGEM.....	17
3.4.1	<b>Relação carbono e nitrogênio</b> .....	18
3.4.2	<b>Granulometria</b> .....	20
3.4.3	<b>Umidade</b> .....	20
3.4.4	<b>Aspectos sanitários</b> .....	20
4.	<b>METODOLOGIA</b> .....	20
4.1	DELINEAMENTO METODOLÓGICO.....	20
4.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	21
4.2	ETAPAS DO EXPERIMENTO.....	21
4.2.1	<b>Seleção do material e construção das composteiras (E1)</b> .....	24
4.2.3	<b>Coleta, preparo dos RO e partida do experimento (E2)</b> .....	27
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	34
5.1	AMBIENTE DE INSTALAÇÃO DAS COMPOSTEIRAS.....	34
5.2	ASPECTOS SANITÁRIOS.....	35
5.3	GERAÇÃO DE CHORUME.....	37
5.4	MASSA.....	39
5.5	UMIDADE.....	40
5.6	TEMPERATURA.....	42
5.7	GRANULOMETRIA.....	42
5.8	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.....	44
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	46
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	49
	APÊNDICE A – Tabela Resumo.....	52

## 1. INTRODUÇÃO

A adequada gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tem sido um grande desafio para as cidades ao longo dos séculos, devido ao ritmo de crescimento de sua geração ser superior ao próprio crescimento populacional (POLZER, 2016). Esses resíduos são, geralmente, tratados como rejeitos e destinados aos aterros sanitários, à incineração ou dispostos de modo incorreto, prejudicando a qualidade do ambiente.

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2022), a geração per capita de RSU no Brasil em 2018 foi de 1,039Kg/hab/dia e os resíduos orgânicos (RO) representam aproximadamente 45% deste montante. Uma das alternativas de tratamento da porção biodegradável é a compostagem, que é o técnica de decomposição e estabilização da matéria orgânica, resultando em um produto final estável que pode ter aplicabilidade no solo (HAUG, 1993).

Visto que cerca da metade dos resíduos sólidos gerados no território nacional são orgânicos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), lei N° 12.305/2010, estabeleceu no seu art. 36, inciso V, que cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana a implementação de sistemas de compostagem e maneiras de utilização do composto produzido (BRASIL, 2010). Após uma década da promulgação da PNRS, no entanto menos de 2% do RSU são destinados ao tratamento por compostagem (BRASIL, 2022). Na prática os RO ainda são majoritariamente dispostos em aterros, colocando em risco o ambiente e a saúde com a geração de substâncias indesejadas como chorume e o gás metano (MASSUKADO, 2008).

Uma alternativa de tratamento pela compostagem é a descentralização, ou seja, o tratamento da parcela orgânica é realizado pelo próprio gerador. Essa metodologia otimiza o processo de beneficiamento da matéria orgânica e reduz os custos com o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos (SMITH; JASIM, 2009), uma vez que reduz a quantidade de RSU coletados e transportados e contribui para o desvio de RO dos aterros sanitários.

Apesar de ser uma prática sustentável que vem ganhando visibilidade na mídia e nas redes sociais, na literatura encontra-se relatos de dificuldades e descontinuidades de iniciativas de compostagem motivadas, em grande parte, por problemas operacionais (GONÇALVES; TANAKA; AMEDOMAR, 2013). Neste contexto, destaca-se a importância do equilíbrio da relação de carbono e nitrogênio (C/N) no processo de compostagem. Segundo Francou et al., (2008) essa proporção influencia diretamente a degradação do material orgânico, minimiza problemas de geração de chorume e odor, interferindo no desempenho e na experiência da compostagem.

Na compostagem doméstica os cidadãos são encorajados a tratar, com uso de equipamentos artesanais ou de mercado (denominados composteiras), os RO produzidos em sua rotina, seja em sua residência ou local de trabalho. Ocorre que, geralmente, a maior parcela dos RO gerados nestes ambientes são fonte de nitrogênio para o processo, como cascas de frutas, verduras, folhas, dentre outros. Sendo necessário a utilização de fontes de carbono complementar que na maioria das vezes precisam ser buscadas em outros locais ou compradas, como a serragem. Como na Relação C/N a parcela do carbono representa 2 a 3 partes dos RO a serem adicionados a composteira, a eventual dificuldade em sua obtenção ou aquisição no mercado também contribui para a descontinuidade no seu uso.

Avaliar fontes alternativas de carbono para a compostagem doméstica, com foco em resíduos gerados rotineiramente nas casas, escolas, escritórios dentre outros, traz comodidade e economia e representa contribuição para o avanço desta importante modalidade de compostagem. Neste contexto despertou atenção as caixas e/ou suportes de papelão dentro de rolos de papel toalha e os sacos de papel de padaria.

A partir da análise da composição gravimétrica dos RSU brasileiros, observa-se que o papel e o papelão representam 13,1 % do montante (BRASIL, 2019). Considerando-se que o papelão utilizado como suporte em rolos de papel toalha geralmente não está impregnado de tinta e não foi contaminado biologicamente, seria uma alternativa promissora a ser explorada. Logo, o presente estudo avaliou a viabilidade do uso do papel e do papelão como fontes alternativas de carbono na compostagem doméstica.

## 2. OBJETIVO

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização do papelão e papel de pão como fonte alternativa de carbono, na compostagem em ambientes domésticos.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Montar e operar composteiras no local de estudo;
- Realizar o monitoramento de parâmetros físicos e sanitários;
- Avaliar as características do composto, durante o processo de compostagem assim como sua qualidade ao final do processo;
- Quantificar o composto produzido ao final do processo (balanço de massa);
- Identificar a fonte de carbono com melhor desempenho em relação aos parâmetros monitorados.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: PANORAMA MUNDIAL

Visando alcançar a agenda 2030, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que funcionam como base para o estabelecimento de políticas públicas voltadas ao alcance da sustentabilidade. Dentre esses objetivos, destaca-se a ODS 12 intitulada “Consumo e produção responsáveis” que possui como um de seus indicadores o consumo doméstico material per capita, que vem aumentando ao longo dos anos e tornando uma problemática a destinação final desses resíduos (GONÇALVES; TANAKA; AMEDOMAR, 2013).

#### 3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS NO TERRITÓRIO NACIONAL

A geração de resíduos sólidos em território brasileiro vem crescendo ao longo dos anos. Segundo o Panorama da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) de 2020, a geração de RSU passou de 67 milhões de toneladas em 2010 para 79 milhões toneladas em 2019 representando um acréscimo de 9,5 % na geração de resíduos sólidos.

A cobertura de coleta também foi ampliada, passando de 88% para 92% do total de resíduos gerados nos anos de 2010 e 2019, respectivamente. O Panorama de 2022 informa que 40,5% dos resíduos coletados eram dispostos inadequadamente e 59,5% eram dispostos adequadamente, porém, cabe ressaltar que, a solução adequada considerada pelo panorama são os aterros sanitários (BRASIL, 2022).

A representatividade da parte orgânica é de grande expressividade na composição gravimétrica do RSU, chegando a 45,30% do total, sendo o segundo material mais expressivo o plástico, com 16,80% (Brasil, 2022). Os valores da composição do RSU demonstram a importância do tratamento da parcela orgânica no território nacional, devido à grande quantidade gerada.

Conforme informado pelo plano nacional de resíduos sólidos de 2022, a parcela orgânica representa 45,30% dos RSU e menos de 2% são destinados a compostagem (BRASIL, 2022), que é uma alternativa ao tratamento tradicionalmente adotado. Portanto os resíduos orgânicos são majoritariamente tratados como rejeitos tendo sua disposição final pela metodologia de aterramento.

A representatividade do papel e papelão foi de 10,4% da composição gravimétrica segundo o plano nacional de resíduos sólidos (BRASIL, 2022). O papel/papelão são materiais recicláveis que majoritariamente são recuperados pelas associações de catadores (BRASIL, 2019). Sendo essas associações um dos principais agentes para a recuperação de materiais recicláveis no Brasil e em países em desenvolvimento em geral.

Uma vez que a coleta seletiva municipal está presente em apenas 1.438 municípios brasileiros (SNIS, 2020), boa parte do papelão produzido nas residências não são recuperados e acabam destinados a aterros sanitários, pois a principal fonte de papelão para os catadores é originada de áreas comerciais das cidades e de instituições. Assim o uso desse material como fonte de carbono seria uma alternativa para desviar esses resíduos dos aterros sanitários.

### 3.3 COMPOSTAGEM

A compostagem é o processo de decomposição da matéria orgânica, sob condições que permitem a estabilização da matéria, gerando como produto final o composto livre de patógenos e com a capacidade de beneficiar o solo (HAUG, 1993). Segundo Polzer (2016), os resíduos gerados nas residências podem ser classificados em três grupos, sendo eles: matéria orgânica, materiais recicláveis e rejeitos. Sendo a parcela constituída pelo material biodegradável passiva de tratabilidade pela compostagem.

No território brasileiro, segundo o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, a representatividade da matéria orgânica na composição gravimétrica do RSU é de 45,30% (BRASIL, 2022). Apenas uma pequena parcela é destinada ao tratamento



realizado com a compostagem, sendo o aterramento do material, o tratamento convencionalmente aplicado (ABRELPE, 2020).

Massukado (2008) relata que no Brasil existem poucas plantas de compostagem, sendo majoritariamente caracterizadas pela centralização do tratamento do resíduo orgânico, proveniente da coleta regular. As principais dificuldades apontadas pela autora nessa metodologia de tratamento, enfrentadas pela administração municipal de gestão dos resíduos sólidos, são a insuficiência de recursos humanos, pequeno repasse orçamentário e a falta do sistema de apoio à decisão.

A descentralização da compostagem visa reduzir a concentração de material orgânico e facilitar a tratabilidade do resíduo. Conforme Massukado (2008, p. 45), “[...] a compostagem doméstica ou caseira é um tipo de compostagem descentralizada, uma vez que os resíduos são tratados no local onde foram gerados”. A adesão à compostagem doméstica como estratégia do município para o tratamento de resíduos orgânicos, possui a vantagem de reduzir os custos da gestão dos resíduos sólidos (SMITH; JASIM, 2009).

Moh e Abd (2014) afirmam que a reciclagem, incluindo a compostagem, é uma prática sustentável na gestão dos resíduos sólidos, com a crescente geração e espaços limitados para a disposição final dos resíduos. Além disso, impacta socialmente e economicamente, com a geração de empregos e desenvolvimento da consciência ambiental da população.

O tratamento da parcela orgânica no local de geração, sendo o caso dos ambientes domiciliares e institucionais, levanta a problemática da fonte de material seco a ser utilizado. As cidades sendo caracterizadas por ambientes urbanizados, podem levar a necessidade de aquisição de fonte de carbono externa para a adição no processo de compostagem.

### 3.4 PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM A COMPOSTAGEM

O processo de decomposição da matéria orgânica é influenciado por diversas condições do material e ambiente em que ocorre. Além do tipo de material que está

sendo compostado, propriedades como relação de C/N, granulometria, umidade e aeração, dentre outros (VALENTE et al., 2008).

A seguir tem-se a descrição dos parâmetros de maior interesse para a compostagem doméstica.

#### 3.4.1 Relação carbono e nitrogênio

Segundo Massukado (2008) a relação entre o carbono e nitrogênio, na mistura que sofrerá a biodegradação, é essencial para garantir o crescimento e a síntese proteica dos organismos decompositores. De acordo com Gomes (2011) a razão ideal inicial da relação C/N é geralmente de 30:1, que está dentro da faixa proposta por Kiehl (2004) de 25/1 a 35/1.

Durante o processo de compostagem, os resíduos palhosos, como vegetação seca e serragem, são comumente adotados como a fonte de carbono no processo (MARAGNO; TROMBIN; VIANA, 2007). A adição desses resíduos ocorre com a finalidade de controlar a umidade, a relação de carbono e nitrogênio e a textura da massa em compostagem (RYNK, 1992 apud Nunes, 2003). Existem poucos estudos que exploram diferentes fontes de carbono na compostagem em pequena escala, que são de extrema importância para o processo de compostagem.

As fontes de nitrogênio, por sua vez são abundantes, sendo representadas pelos restos vegetais e cascas de frutas, produzidas nas atividades de consumo e preparo dos alimentos. Outro aspecto a ser avaliado, refere-se a dificuldade de se realizar a adequada dosagem das parcelas de carbono e de nitrogênio na compostagem doméstica, sendo uma alternativa o uso de critério de partes em volume.

Experimentos realizados com composteiras cilíndricas com 40 cm de diâmetro e 75 cm de comprimento, utilizando serragem como fonte de carbono, identificaram a relação ideal em aproximadamente 6 partes de orgânico e 1 parte de serragem (MARAGNO; TROMBIN; VIANA, 2007). O desenvolvimento adequado da compostagem, depende diretamente do equilíbrio da disponibilidade desses materiais, pois para o carbono orgânico ser degradado deve ocorrer o crescimento

dos microrganismos (MASSUKADO, 2008). Portanto conhecer a relação de C/N nos materiais compostados auxilia no equilíbrio da mistura.

A Tabela 1 identifica os materiais comumente usados na compostagem e sua relação de C/N e umidade.

Tabela 1 - Relação de C/N e umidade por material

Resíduo	Umidade (%)	Relação C/N
Resíduo do RU	58	12/1
Capim	12	52/1
Serragem/Maravalha	14	240/1

Fonte: Adaptado de Lima (2015, p.36)

O papelão, conforme a Tabela 2, é uma excelente fonte de carbono por possuir elevada relação de C/N em sua composição e possui um pH próximo a neutralidade, tendendo a influenciar pouco o pH da mistura.

Tabela 2 - Características físicas do papelão

	C/N	pH	% da Massa total			
			CELL	SOLU	LIGN	HEMI
Papelão	386/1	8,7	68,4	9,2	11,4	11

CELL, substâncias semelhantes à celulose; SOLU, substâncias solúveis; LIGN, substâncias do tipo lignina; HEMI, substâncias semelhantes à hemicelulose;

Fonte: Adaptado de Francou et al (2008, p.8927)

O excesso de materiais como papel e papelão, como material seco no processo de compostagem, pode afetar a estabilização do composto pelas suas altas proporções de C/N (FRANCOU et al., 2008). A presença de resíduos químicos no material pode inibir a biodegradação, além da dificuldade de biodegradabilidade proveniente da densidade de fibras do material (ALVAREZ et al., 2009). Portanto, identificar a melhor fonte de carbono proveniente do papelão e sua proporção na composição da mistura é de extrema importância. O presente estudo utilizou como fonte de papelão, rolos de papel toalha e sacolas de pão como fonte de papel.

### 3.4.2 Granulometria

A dimensão das partículas interfere na superfície de contato disponível para a ocorrência do fenômeno microbiológico, portanto quanto menor as dimensões do resíduo maior será a degradação biológica (VALENTE et al., 2008). Porém a textura do material deve manter a porosidade permitindo a passagem de ar, evitando assim condições de anaerobiose (OLIVEIRA, 2018). Portanto segundo Valente (2008), a mistura de diferentes tipos de resíduos orgânicos favorece a homogeneização da massa, adquirindo melhor porosidade.

### 3.4.3 Umidade

A umidade é essencial para a ocorrência das atividades metabólicas e fisiológicas dos microrganismos, por este motivo torna-se um dos fatores importantes na compostagem (COSTA et al., 2006). Relaciona-se fortemente com outros aspectos físicos do material composto, como a aeração e temperatura (VALENTE et al., 2008), o que pode acarretar na interferência no processo de compostagem. A umidade da massa deve estar entre 50 e 60% (BUENO, 2021), resultados fora dessa faixa implicarão na lentidão do processo de compostagem.

### 3.4.4 Aspectos sanitários

A compostagem tem o objetivo de realizar a estabilização do material orgânico por meio da decomposição. Durante esse processo, a degradação dos resíduos orgânicos pode acarretar a geração de maus odores, geração de chorume e atração de vetores (NETO et al., 2007). O que pode ser um empecilho para adoção do tratamento em escala doméstica.

## **4. METODOLOGIA**

### 4.1 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

O estudo foi desenvolvido a partir da confecção e operação de composteiras artesanais. Portanto, a presença do objeto de estudo, variáveis, condições controladas e conhecidas pelo investigador; com a finalidade de observar os

resultados decorrentes das variáveis, classifica a pesquisa como constituída por um experimento (GIL, 2008).

A pesquisa, quanto a sua natureza pode ser considerada como aplicada, pois possui o objetivo de construir aplicações práticas dirigidas a soluções de problemas específicos. Levando em consideração sua abordagem da problemática, pode ser entendida como quantitativa, dado que quantifica as variáveis abordadas (GIL, 2008).

#### 4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental para a avaliação do uso de papel e papelão na compostagem em ambientes domésticos e institucionais considerou a construção, partida e operação de composteiras artesanais, em um mesmo ambiente controlado, de modo a permitir a comparação do desempenho dos tratamentos com uso de diferentes fontes de carbono.

A parte experimental foi desenvolvida no Laboratório de Monitoramento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo – campus Vitória, que sendo um ambiente fechado, simula as características e limitações da realização da compostagem em ambientes domésticos e institucionais.

#### 4.2 ETAPAS DO EXPERIMENTO

O estudo foi desenvolvido em 4 etapas, como visualizado na Tabela 3.

Tabela 3 - Etapas da pesquisa

Etapa	Descrição
Primeira - E1	Seleção do material e construção das composteiras
Segunda - E2	Coleta, preparo dos RO, partida do experimento e operação
Terceira - E3	Cálculo C/N, sistematização e análise de resultados
Quarta - E4	Avaliação da fonte de carbono com melhor desempenho

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Durante a primeira etapa (E1), foi definido o modelo da composteira a ser construída e utilizada, a partir de materiais recicláveis disponíveis no Ifes ou que sejam de fácil

aquisição. Como critério foi dada preferência a materiais com capacidade volumétrica inferior a 5 litros, em função de limitação de espaço no laboratório de monitoramento ambiental e para assemelhar a compostagem em pequena escala.

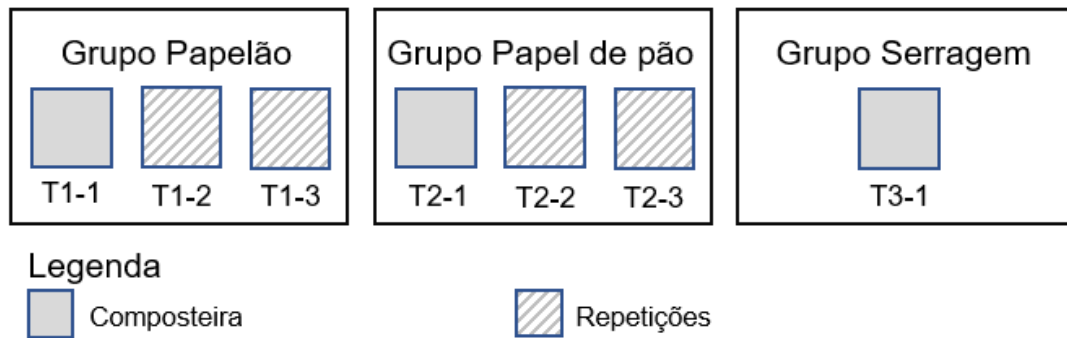
Após a escolha do modelo, foram confeccionadas 7 composteiras, sendo elas divididas em 3 tratamentos representativos das diferentes fontes de carbono utilizadas, bem como do tratamento convencional com uso de serragem. Os grupos contendo papelão e papel de pão como fonte de material seco foram compostos por 3 composteiras cada, o grupo contendo o tratamento com serragem ficou representado por 1 composteira por questões que não puderam ser solucionadas na partida do experimento.

A segunda etapa (E2) foi constituída pela fase de coleta dos resíduos orgânicos, tratamento do material, partida do experimento e operação; essa fase teve duração de 48 dias. As composteiras foram instaladas e operadas no laboratório de monitoramento ambiental e preenchidas uma única vez (batelada) tendo como base as proporções consideradas ideais para o processo de minicompostagem, conforme Maragno, Trombin e Viana (2007), adaptada a situação submetida na partida do experimento.

A operação das composteiras consistiu no monitoramento dos parâmetros selecionados, registro em planilha e revolvimento do material. O monitoramento ocorreu duas vezes por semana no primeiro momento, devido a geração excessiva de chorume e posteriormente, uma vez por semana. Os parâmetros físicos monitorados foram: cor; odor; presença e proliferação de vetores; temperatura; presença de mofo; redução de volume; massa da mistura; e geração de chorume. A temperatura no ambiente e a ocorrência de chuvas nas últimas 24 horas também foram registradas.

A Figura 1 representa o desenho experimental dos tratamentos propostos e a Tabela 4 apresenta os tratamentos com seus respectivos materiais utilizados.

Figura 1 – Desenho experimental



Fonte: O próprio autor

Tabela 4 – Distribuição dos tratamentos realizados

Tratamento	Identificação	Descrição
Tratamento 1	T1-1	Matéria orgânica + Papelão
Tratamento 1	T1-2	Matéria orgânica + Papelão (Repetição)
Tratamento 1	T1-3	Matéria orgânica + Papelão (Repetição)
Tratamento 2	T2-1	Matéria orgânica + Papel de Pão
Tratamento 2	T2-2	Matéria orgânica + Papel de Pão (Repetição)
Tratamento 2	T2-3	Matéria orgânica + Papel de Pão (Repetição)
Tratamento 3	T3-1	Matéria orgânica + Serragem

Fonte: O próprio autor

A terceira etapa (E3) foi caracterizada pelo cálculo da relação de C/N, conforme Massukado (2016). Utilizou-se a equação 1 para conhecer a relação inicial da mistura.

$$\left(\frac{C}{N}\right) = \frac{(M^1 * RCN^1) + (M^2 * RCN^2) + (M^3 * RCN^3)}{(Mtotal)} \quad (1)$$

Onde:

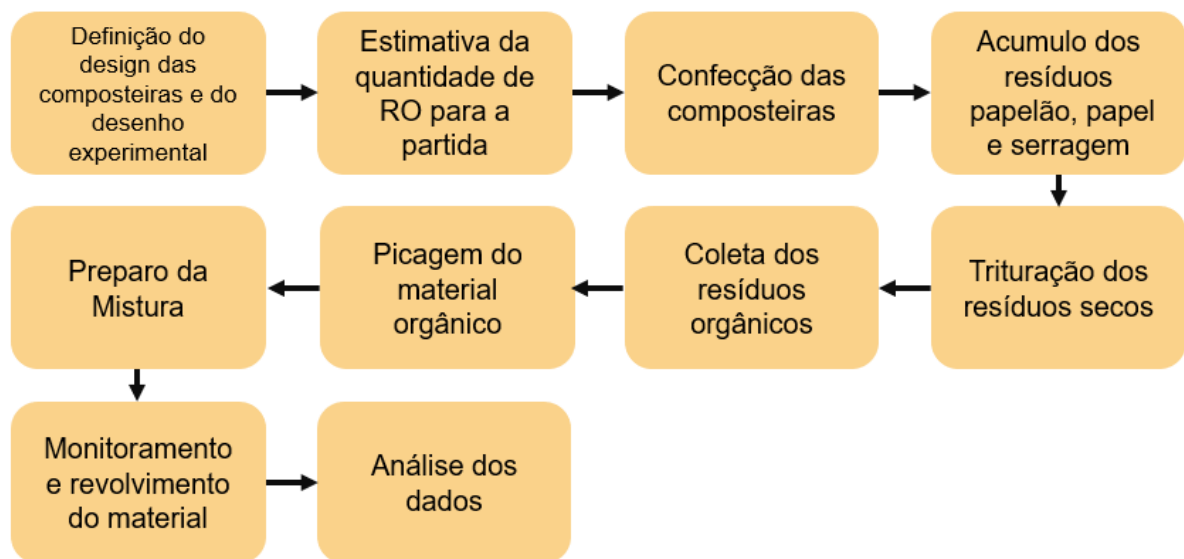
- C/N é a relação de carbono e nitrogênio da mistura
- M<sup>1</sup> é a massa de material orgânico
- RCN<sup>1</sup> é a relação de C/N do material orgânico
- M<sup>2</sup> é a massa de serragem
- RCN<sup>2</sup> é a relação de C/N da serragem
- M<sup>3</sup> é a massa da fonte de carbono alternativa

- RCN<sup>3</sup> é a relação de C/N da fonte de carbono alternativa

Os resultados do monitoramento das diferentes composteiras foram sistematizados, avaliados individualmente e em conjunto, além de serem discutidos com base na literatura. Também foram comparados os resultados registrados nas composteiras com papelão, papel de pão e a composteira de serragem, a fim de identificar similaridades e diferenças durante o processo de compostagem.

A Figura 2 contém o fluxograma representativo do processo de preparo e execução do experimento.

Figura 2 - Fluxograma das etapas do experimento



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

#### 4.2.1 Seleção do material e construção das composteiras (E1)

A capacidade da composteira foi definida entre 3 e 5 Litros para os recipientes, visando se adequar ao espaço disponível. Realizando essas considerações, foram adquiridos baldes de aproximadamente 4 Litros, que contiveram originalmente massa de pão de queijo, chocolate e maionese. Na Figura 3 pode-se visualizar o material antes da higienização e modificações.



Figura 3 - Baldes utilizados para confecção das composteiras

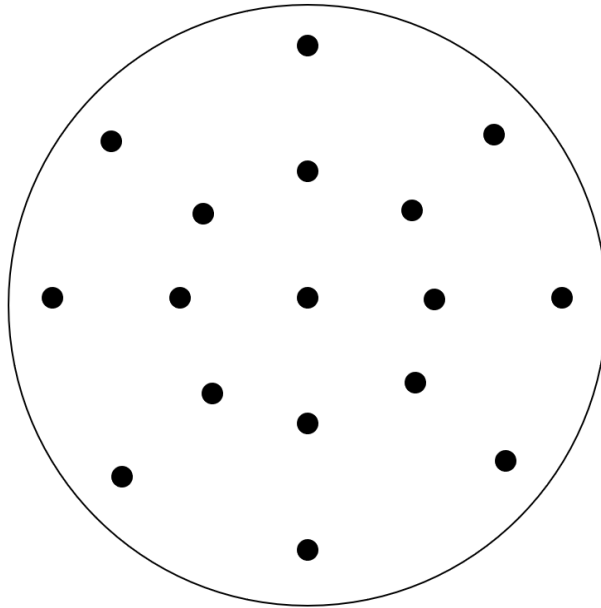


Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

A higienização dos baldes, foi realizada com água e sabão, visando garantir que não apresentasse substâncias que pudessem contaminar ou dificultar o processo de compostagem. O material adquirido seria descartado após seu uso pelo estabelecimento, portando cabe destacar o aspecto de sustentabilidade.

No fundo de cada um dos baldes, foram realizados 17 furos com o objetivo de permitir a passagem do chorume gerado pela degradação da matéria orgânica. As aberturas foram realizadas ao longo de duas circunferências com os centros coincidentes ao centro do fundo, além do furo realizado no centro da parte inferior do pote. A Figura 4 mostrar o esquema seguido.

Figura 4 - Esquema dos furos realizados nos fundos das composteiras.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Durante a concepção do modelo das composteiras, teve-se a preocupação da coleta do chorume eventualmente gerado pelo processo de compostagem que foi feita com uso das tampas dos baldes como anteparo. Sendo monitorada a presença ou não do chorume ao longo do processo.

Visando favorecer a troca gasosa, a livre passagem de ar, a visualização do interior da composteira e impossibilitar o acesso de vetores em seu interior, as composteiras foram cobertas com uso de tela mosquiteira e tecido elástico. Na Figura 5 pode-se observar uma vista superior da estrutura montada.

Figura 5 - Vista superior da composteira (vazia)



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

#### 4.2.3 Coleta, preparo dos RO e partida do experimento (E2)

Os resíduos orgânicos possuem a características, de serem facilmente biodegradáveis, o que dificulta o seu armazenamento por longos períodos. Sendo esta dificuldade um limitante para a aquisição dos orgânicos, optou-se por adquirir o material no mesmo dia da partida do experimento, a partir da estimativa de 24,57 litros de RO para a partida do experimento.

As feiras livres caracterizam-se da comercialização com a infraestrutura removíveis, ocorrendo frequentemente em vias públicas. Geralmente esses ambientes apresentam uma alta disponibilidade de vegetais e frutas, sendo parte destes não vendidos ou consumidos. A altas porções de resíduos orgânicos gerados pelas feiras é uma problemática que necessita de solução, ao invés de destiná-las como rejeito (HINO et al., 2017). Portanto tornando-se uma ótima opção para coleta dos orgânicos usados como fonte de nitrogênio no experimento.

A quantidade de material necessário para preencher as composteiras foi adquirida no dia 21/10/2022 em uma feira popular na região de Paul - Vila Velha (ES), como pode-se visualizar na Figura 6.

Figura 6 - Feira de Paul, Vila Velha (ES)



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

A primeira etapa de tratamento do material ocorreu na própria localidade de aquisição. A fim de recolher apenas as cascas, utilizou-se uma faca para descascar as frutas e vegetais disponibilizados pelos feirantes e/ou presentes no chão. Durante o processo de seleção dos orgânicos evitou-se o recolhimento de material que estivesse em visível estado de decomposição ou com presença de insetos. A Figura 7 mostra as cascas sendo acumuladas.

Figura 7 - Balde com casca



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

Posteriormente, com o objetivo de aumentar a superfície de contato do material, o orgânico foi picado. Esse processo ocorre manualmente com o auxílio de facas de cozinha e tesouras, o tamanho do material foi reduzido conforme a Figura 8.

Figura 8 – Picagem do material orgânico



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)



Vislumbrando uma representatividade semelhante em toda as partes da massa de orgânico, misturou-se dentro de uma bacia todo fragmento proveniente da picagem. A mistura ocorreu até atingir uma satisfação visual, conforme visualizado na Figura 9.

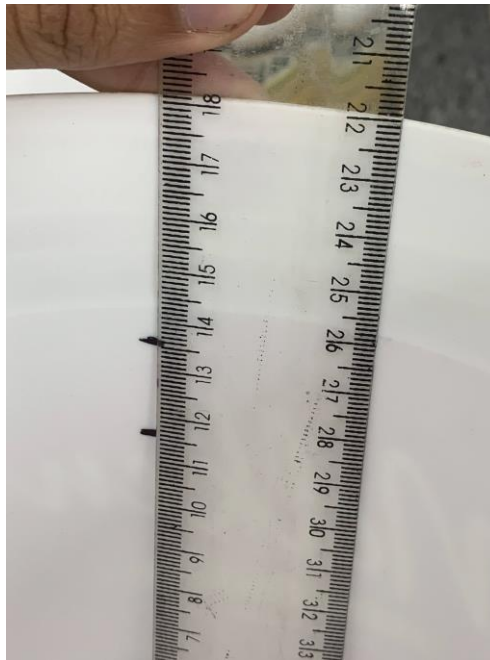
Figura 9 - Mistura dos resíduos orgânicos



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

Os orgânicos foram transportados até o laboratório de monitoramento ambiental e foi dada a partida no experimento. Segundo Magno (2005) que realizou trabalhos voltados a sistemas de minicompostagem, a relação ideal de resíduo orgânico/serragem está por volta de 6 partes de orgânico e 1 parte de material seco (6:1). Foram marcados na composteira a altura necessária para atingir essa relação, tendo como altura de referência  $\frac{3}{4}$  do tamanho do balde. A Figura 10 exhibe a marcação realizada.

Figura 10 - Marcação realizada no balde



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

As composteiras do tratamento com papelão foram preenchidas até atingir  $\frac{3}{4}$  de sua capacidade máximas. As demais composteiras tiveram a altura de preenchimento de orgânico reduzido em 2 partes, pois adquiriu-se a quantidade de resíduos orgânicos estimada previamente (em volume) a qual sofreu significativa redução após passar por procedimento de picagem. Tal foi observado na partida do experimento e após a montagem do tratamento T1, havendo necessidade de ajustar o volume de orgânicos nos tratamentos T2 e T3. A quantidade de material seco não sofreu alteração. Logo as composteiras com papel de pão e serragem, deram partida com 4 partes de orgânico e 1 parte de resíduo seco.

Previamente ao enchimento dos recipientes, pesou-se as composteiras vazias. Elas foram preenchidas individualmente, tendo os materiais de inserção pesados e registrados em planilha. Após o preenchimento o material foi revolvido e posteriormente medidas a temperatura e umidade da massa, por meio do termohigrômetro. A Tabela 5 possui as informações de partida do experimento.

Tabela 5 - Dados de partida do experimento

Composteira	Quantidade de orgânico (g)	Material Seco (g)	Altura ocupada no balde (cm)	Proporções (RO/Material seco)	Temperatura inicial (C°)	Umidade
T1-1	1235	30	12,4	6:1	22,9	39%
T1-2	1464	60	12,7	6:1	22,9	39%
T1-3	1578	60	12,7	6:1	22,9	36%
T2-1	926	15	9,6	4:1	22,8	35%
T2-2	1029	17	9,6	4:1	22,8	35%
T2-3	971	17	9,6	4:1	22,8	35%
T3-1	1116	49	8,7	4:1	22,8	34%

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Utilizou-se a tela de proteção e o elástico para realizar o fechamento da parte superior da composteira e colocou-se a tampa do balde como retentor do chorume gerado. As composteiras foram postas abaixo da bancada do laboratório de monitoramento, porém acima do nível do chão conforme a Figura 11 e Figura 12. O ordenamento foi realizado por tratamentos e separado em “colunas”, tendo o tratamento T1 a esquerda, T2 na coluna central e T3 na coluna da direita.

Figura 11 - Localização das composteiras no laboratório



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)



Figura 12 - Layout das composteiras



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

O monitoramento e revolvimento do material foram realizados conforme a datas da Tabela 6.

Tabela 6 - Datas do monitoramento

Monitoramento	Data	Quantidade de dias após a partida
	21/10/2022	
1º	(Partida)	0
2º	25/10/2022	4
3º	27/10/2022	6
4º	01/11/2022	11
5º	04/11/2022	14
6º	08/11/2022	18
7º	11/11/2022	21
8º	17/11/2022	27
9º	25/11/2022	35
10º	01/12/2022	41
11º	08/12/2022	48

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

#### 4.2.4 Cálculo da relação de C/N (E3)

Utilizando a equação 1, as informações de preenchimento das composteiras e as relações de C/N apresentadas na Tabela 7. Obteve-se os resultados da relação de C/N da mistura de cada composteira no momento da partida, apresentados na Tabela 8.

Tabela 7 - Relação de C/N dos materiais

Material	C/N	Referência
Restos vegetais	20/1	Massukado (2008)
Papelão	386/1	Francou et al (2008)
Papel	150/1	Massukado (2016)
Serragem	240/1	Lima (2015)

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela 8 - Relação de C/N de partida do experimento

Composteira	Quantidade de orgânico (g)	Quantidade de Material Seco (g)	C/N
T1-1	1235	30	28,68
T1-2	1464	60	34,41
T1-3	1578	60	33,41
T2-1	926	15	22,07
T2-2	1029	17	22,11
T2-3	971	17	22,24
T3	1116	49	29,25

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 AMBIENTE DE INSTALAÇÃO DAS COMPOSTEIRAS

Inicialmente a pesquisa seria desenvolvida no Laboratório de Biotecnologia e Sustentabilidade do Ifes – campus Vitória (Labiotechs), ambiente com livre circulação de ar, entretanto problemas relacionados a infraestrutura do local e a presença de gatos, fatores que poderiam interferir diretamente nos resultados da pesquisa levaram a necessidade de realocar o experimento.

Assim, o laboratório de monitoramento ambiental que é um ambiente fechado e climatizado foi a alternativa encontrada. O local possui baixa circulação de ar natural e o aparelho de ar-condicionado fica desligado quando não está em uso, podendo ficar semelhante a uma estufa. Fatores estes que foram considerados durante a avaliação dos resultados.

## 5.2 ASPECTOS SANITÁRIOS

Durante o experimento foi observada a presença de moscas e larvas (no interior e fora das composteiras). Considerando que a tela de proteção instalada (barreira física) nas composteiras não permitiriam o acesso de tais insetos acredita-se que eles já possuíam seus ovos presentes na parte orgânica do material.

A maior quantidade desses vetores ocorreu durante o monitoramento do dia 01/11/2022, sendo verificada a queda drástica da população no próximo monitoramento (dia 04/11/2022). Os animais foram observados ao longo de todo o experimento.

Os tratamentos com papelão e papel, apresentaram o maior número de indivíduos durante todo o experimento. Enquanto a composteira com serragem manteve o número de indivíduos reduzido ao longo do tratamento. A diferença entre as texturas dos compostos (conforme o capítulo 5.6) foi um dos fatores que favoreceram a proliferação dos animais nos tratamentos que ocorreram com papel e papelão. As figuras 13 e 14, apresentam o aspecto visual dos animais encontrados.

Figura 13 - Mosca em cima da tela mosquiteira



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

Figura 14 - Tamanho das larvas encontradas



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

O odor foi uma característica marcante do experimento, sendo mais desagradável quanto maior a produção de chorume. Durante a primeira semana, o chorume de todos os tratamentos apresentou odor “ácido”, perdendo essa característica posteriormente ao terceiro monitoramento. As composteiras também apresentavam odor, porém não tanto desagradável como o chorume.

Cabe destacar que o tratamento com serragem teve o odor mais agradável durante todo o experimento, se aproximando ao odor de terra revolvida proporcional a evolução da compostagem. Os demais tratamentos apresentaram odor desagradável na composteira até o 6º monitoramento (18 dias após a partida), posteriormente, a intensidade do odor foi tornando-se menor e conseqüentemente mais agradável.

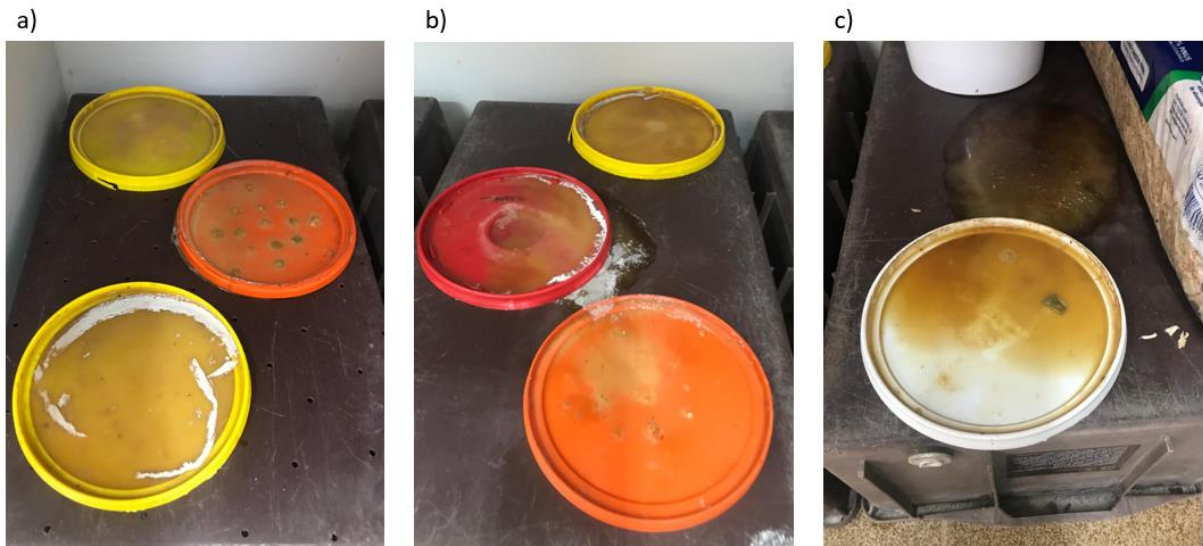
### 5.3 GERAÇÃO DE CHORUME

A massa do conjunto é diretamente influenciada pelo processo de decomposição que acarreta a liberação de substâncias voláteis e elementos minerais ou químicos simples (EMBRAPA, 1986). Provocando a perda de massa por meio da liberação de principalmente dióxido de carbono, nitrogênio e água.

A geração de chorume foi observada excessiva durante os dois primeiros monitoramentos (dias 25/10 e 27/10), o volume gerado passou a capacidade do coletor de chorume localizado abaixo da composteira. Cabe destacar que durante os dois primeiros monitoramentos o líquido apresentava odor ácido em todos os tratamentos, porém as composteiras não possuíam o mesmo odor.

Nos monitoramentos citados acima, também foi observado uma “película” branca em todas as composteiras dos tratamentos T1 e T2, diferenciando apenas na quantidade. A Figura 15 representa a quantidade de volume gerado na primeira semana, enquanto na Figura 16 é possível visualizar a película encontrada nos tratamentos apontados.

Figura 15 - Chorume gerado nas composteiras



a) Chorume gerado pelo tratamento T1; b) Chorume gerado pelo tratamento T2; c) Chorume gerado pelo tratamento T3.

Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

Figura 16 – Película branca nos tratamentos T1 e T2

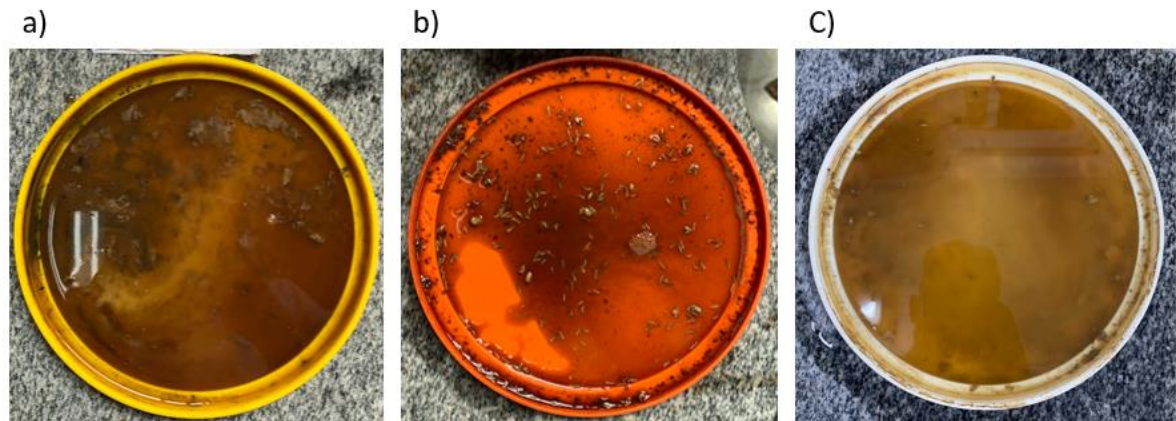


Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

Nos monitoramentos posteriores, o volume gerado foi reduzindo gradualmente em todas as composteiras. Porém os tratamentos T1 e T2 apresentaram o escurecimento do líquido comparado ao tratamento T3. O odor apresentou-se mais intenso no chorume com a coloração mais escura, na Figura 17 pode-se visualizar a diferença no aspecto visual do chorume entre os tratamentos.



Figura 17 – Aspecto visual do chorume



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)  
 a) T1-1 (01/11/22); b) T2-3 (01/11/22); c) T3-1 (01/11/2022).

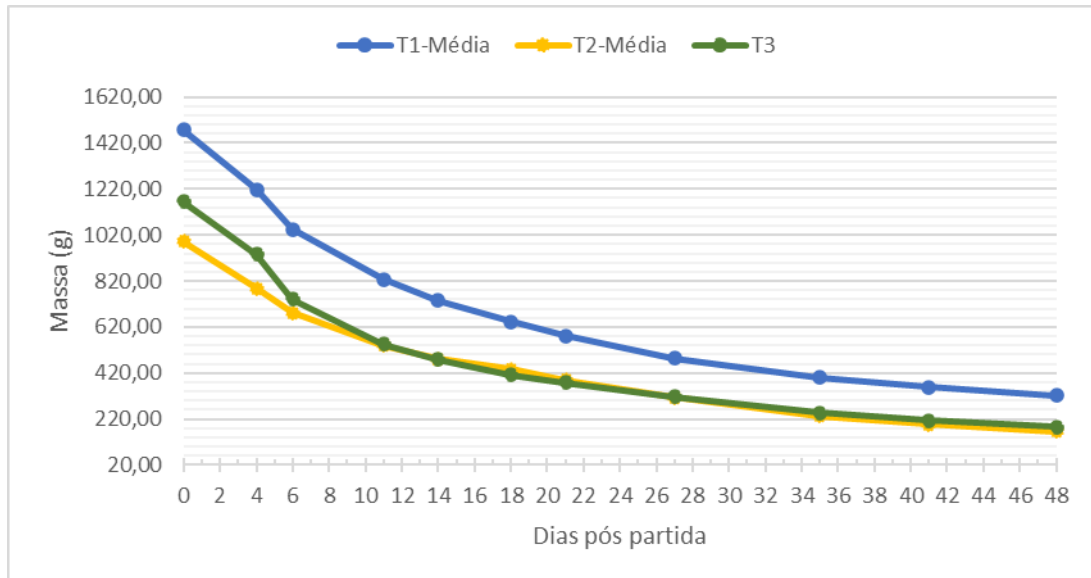
#### 5.4 MASSA

Durante o processo de compostagem, ocorre a oxidação da matéria orgânica que é convertida em CO<sub>2</sub>, água, amônia e biomassa de novos microrganismos (PETRIC; ŠESTAN; ŠESTAN, 2009). Segundo Kiehl (2004), a mistura deve ter redução superior a 50% da sua massa inicial para ser considerada uma compostagem eficiente.

A massa das composteiras reduziu gradualmente, tendo o tratamento com papelão e papel comportamentos semelhantes, redução de aproximadamente 78% e 83% respectivamente. A composteira com serragem, apresentou uma maior variação chegando a 84%. Bueno (2021), durante experimento de compostagem em pequena escala obteve uma redução máxima de 33,07%. Oliveira (2018), realizando compostagem com borra de café e outros resíduos orgânicos alcançou faixas de aproximadamente 80% na redução da massa. Portanto, a redução de massa obtida durante o experimento mostra-se satisfatória e coerente com a literatura.

O gráfico da Figura 18 apresenta a variação de massa ao longo dos monitoramentos e a Tabela 9 apresenta a variação de massas em porcentagens.

Figura 18 - Gráfico de variação de massa



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela 9 – Média da variação de massas em porcentagem

Compoteiras	Varição
T1-Média	78,10%
T2-Média	83,20%
T3	84,12%

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A geração de chorume teve influência direta no peso até o quarto monitoramento (11 dias após a partida), posteriormente a este monitoramento percebeu-se uma menor geração e conseqüentemente a redução da variação das massas.

Cabe destacar que o tratamento T1 teve partida com a proporção de 6:1 (material orgânico: material seco) enquanto os tratamentos T2 e T3 foram preenchidos com 4:1. Porém foi observado uma semelhança no comportamento de variação de massa ao longo do experimento, podendo ser visualizada na Figura 18.

## 5.5 UMIDADE

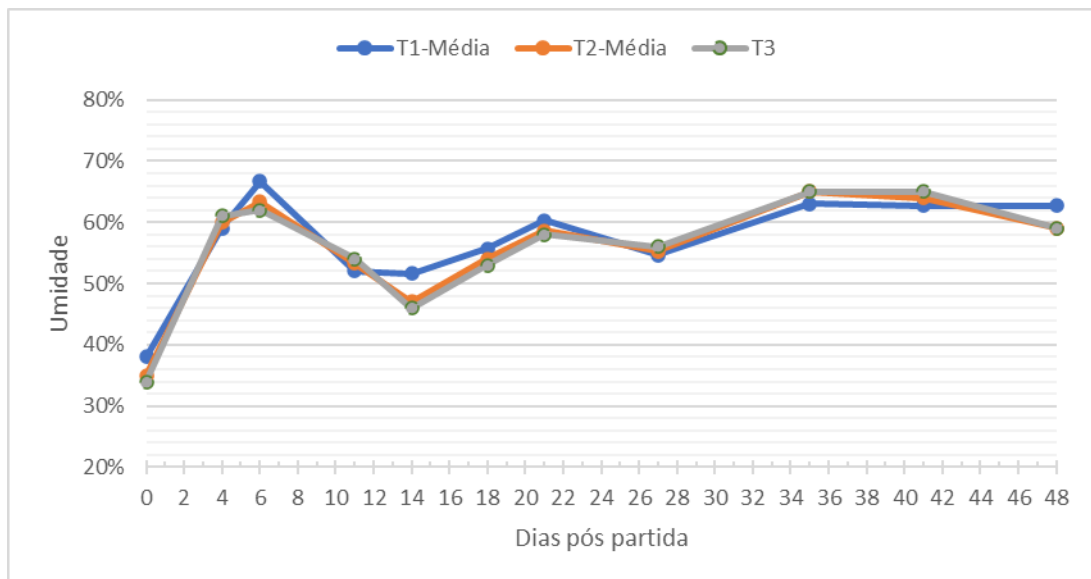
A umidade quando fora da faixa de 40% a 65%, interfere diretamente nas condições de degradação da matéria orgânica. Teores acima de 65% tornam-se um empecilho no processo de aeração, podendo gerar zonas de anaerobiose (BERNARDI, 2011).



Enquanto misturas apresentando teores abaixo de 40%, inibem a atividade microbiana (OLIVEIRA, 2018).

No experimento percebeu-se dois momentos em que os tratamentos fugiram da faixa de umidade ideal. O primeiro durante a partida do experimento, ficando todas abaixo dos 40% de umidade, e o segundo momento que apenas o tratamento com papelão apresentou a umidade de 70%. Como não houve acréscimo de material seco nas composteiras, as únicas medidas de controle da umidade foram o revolvimento e o aumento da circulação de ar no local. Nos demais dias a umidade ficou dentro da faixa esperada, conforme visualizada na Figura 19.

Figura 19 - Umidade das composteiras



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

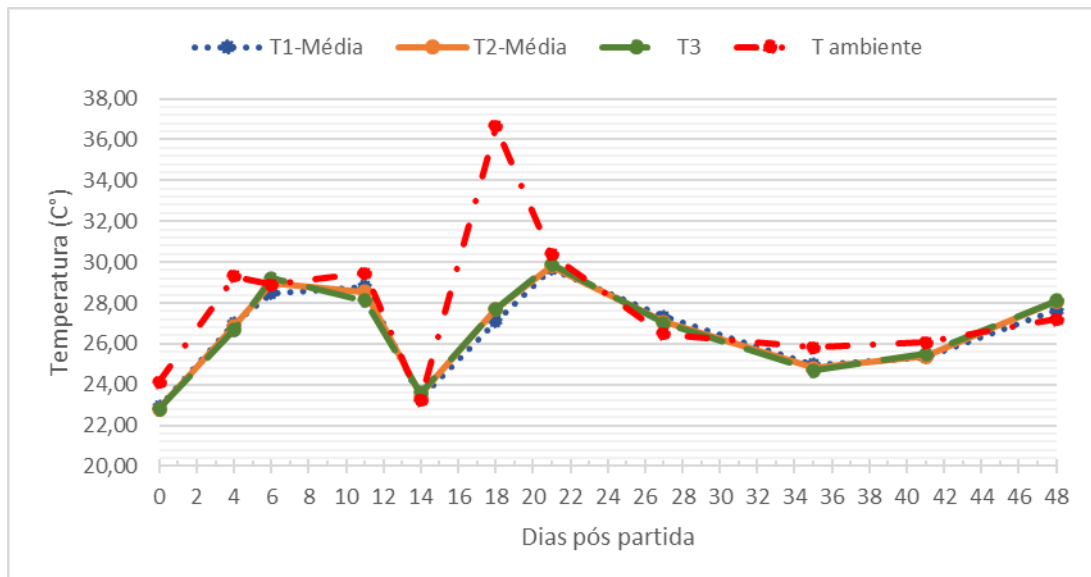
O experimento teve 6 dos seus monitoramentos marcados com a ocorrência de chuva nas últimas 24 horas. Sendo eles, o terceiro (6 dias pós partida), quinto (14 dias pós partida), oitavo (27 dias pós partida), nono (35 dias pós partida) e decimo monitoramento (41 dias pós partida). O fenômeno aumentou a umidade relativa no ar, o que pode ter contribuído para valores mais altos no parâmetro de umidade.

## 5.6 TEMPERATURA

A medição foi realizada com um termo-higrômetro com a sonda inserida no material de cada tratamento, esperou-se em torno de 2 minutos para a estabilização e registrou-se as leituras.

A temperatura dos tratamentos ficou próxima a temperatura ambiente, diferenciando apenas em alguns graus celsius (Figura 20). Esse fenômeno ocorreu devido a escala reduzida do experimento, onde houve a troca de calor do reator para o ambiente o que manteve a temperatura estável com o ambiente. Fato observado também em sistemas de compostagem em pequena escala por Oliveira (2018), Filogônio (2019) e Bueno (2021). Portanto não havendo diferença de comportamento nos diferentes tipos de tratamento.

Figura 20 - Temperatura interna nas composteiras



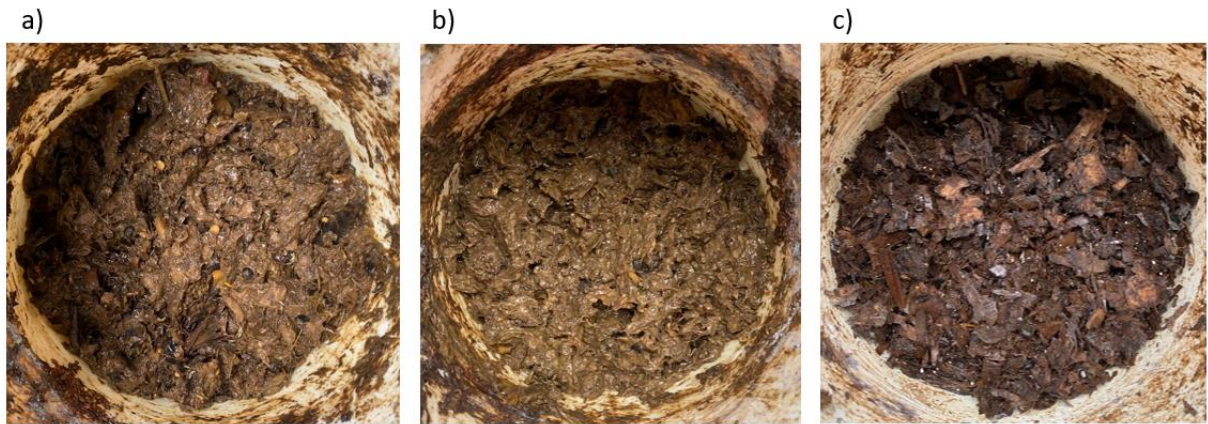
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

## 5.7 GRANULOMETRIA

Os resíduos orgânicos coletados foram picados em partes em torno de 1 a 2 cm, as fontes alternativas de carbono também foram submetidas a um processo semelhante. Os tratamentos com papelão (T1) e papel (T2), tiveram textura do material semelhante ao longo do experimento. Ambos se apresentavam com uma textura pastosa, diferentemente do tratamento de serragem (T3) que se

assemelhava a “terra fofa”. A Figura 21 apresenta os aspectos visuais dos tratamentos durante o 8º monitoramento (27 após a partida).

Figura 21 – Aspecto visual dos tratamentos durante o 8º monitoramento

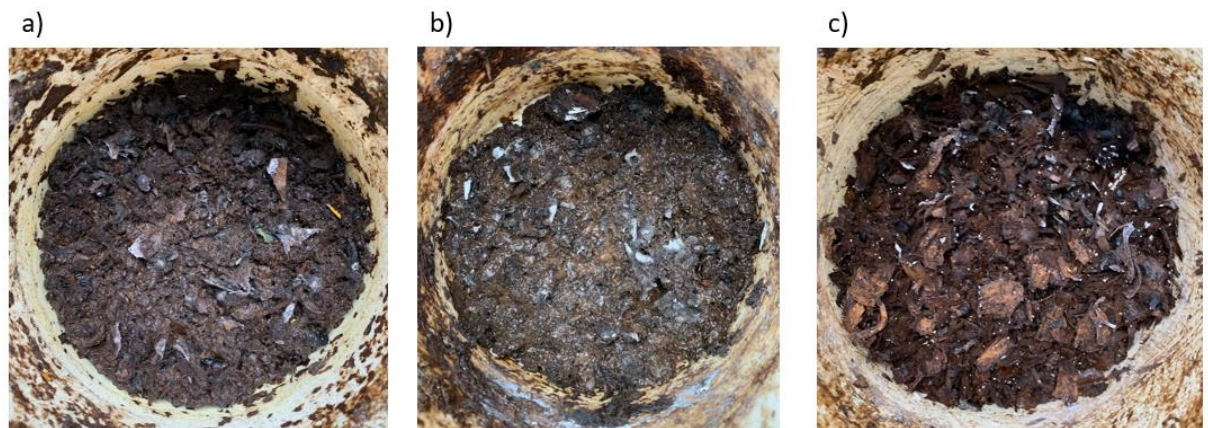


Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

a) T1-1; b) T2-1; c) T3-1.

Durante todo o experimento, o tratamento com serragem apresentou a mesma textura, de “terra fofa”. Caracterizada pela manutenção do aspecto de granulometria e possibilitando a aeração da massa. Na Figura 22, pode-se visualizar o aspecto visual durante o 10º monitoramento (41 dias após a partida).

Figura 22 - Aspecto visual dos tratamentos durante o 10º monitoramento



Fonte: Acervo Pessoal do autor (2022)

a) T1-3; b) T2-3; c) T3-1.

O aspecto pastoso, dos tratamentos com papelão e papel, sugere que agregou-se as partículas, funcionando como uma liga na massa. Mesmo mantendo a umidade dentro da faixa ideal (conforme explorado no item 5.4) houve a dificuldade do

processo de aeração, pela compactação do resíduo, gerando zonas de anaerobiose (VALENTE et al., 2008) e tornando o revolvimento essencial. Essa característica parou de ser observada no 9º monitoramento (35 dias após a partida), sendo substituída pelo aspecto de “terra fofa”, nos tratamentos T1 e T2.

## 5.8 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

A avaliação de desempenho consistiu no compilado dos parâmetros monitorados, por composteira no apêndice A e as características gerais por tratamento na Tabela 10. O tratamento contendo papelão (T1) obteve uma variação média de 78%, enquanto o tratamento com papel (T2) teve como resultado a variação de massa de 83%. A serragem (T3) alcançou a maior variação de massa, chegando a 84% do valor inicial. Todos os tratamentos obtiveram resultados coerentes com a literatura e uma proximidade percentual.

A umidade das composteiras com papelão (T1) e papel (T2), apresentaram comportamento semelhante com o tratamento de serragem (T3). Diferenciando na umidade máxima especificamente no tratamento T1-2 que atingiu a faixa de 70%, ocorrendo no dia 27/10 (6 dias após a partida).

Amostras dos tratamentos foram enviadas para o laboratório e obteve-se os seguintes resultados, conforme a Tabela 10. O tratamento com serragem (T3) mostrou-se mais poroso, obtendo 44,91% do material retido na peneira 4,80mm enquanto os demais tratamentos reteram menos que 15% na mesma peneira. A relação de C/N obtida no final do tratamento foi de 13/1, 9/1 e 21/1; para as composteiras T1, T2 e T3 respectivamente.

Tabela 10 - Resultados das análises do composto final obtido segundo tratamento e parâmetros de referência da IN DAS/MAPA 25/2009

Amostra	Parâmetros					
	Umidade a 60 - 65 °C (%)	pH	Capacidade de troca Catiônica (CTC)	Carbono orgânico (%)	Relação C/N	Nitrogênio total (%)
T01	61,58	9,15	655	27,75	13/1	2,22
T02	61,06	9,5	898	30	9/1	3,37
T03	43,28	9,3	685	42,38	21/1	1,99
<b>Padrão de referência (IN DAS/MAPA 25/2009)</b>	<b>50 % (Max)</b>	<b>6,5 (min.)</b>	<b>-</b>	<b>15 (mín.)</b>	<b>20 (máx.)</b>	<b>0,5 (mín.)</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A IN DAS/MAPA 25/2009 normatiza os requisitos a serem atendidos por um composto orgânico para ser considerado como fertilizante orgânico. A partir dos resultados sistematizados na tabela 10, fica evidenciado que apenas o tratamento T03 (com serragem) atende ao parâmetro de umidade ficando uma unidade acima do limite máximo estabelecido para a relação C/N. Cabe destacar que segundo Kiehl (2004), a relação C/N em torno de 10:1 é característica de um produto acabado ou humificado. Assim, apesar dos demais tratamentos apresentarem umidade elevada, observa-se que a relação C/N está mais próxima do esperado para um composto maturado, evidenciando a viabilidade do uso de tais fontes alternativas mediante ajustes para melhoria na estrutura e ventilação da massa a ser compostada.

Todos os tratamentos apresentaram geração de chorume e presença de odor, porém nas composteiras com fontes alternativas de carbono (T1 e T2) o líquido, resultante da biodegração dos orgânicos, apresentou cor escura e odor mais desagradável. A presença de insetos foi notada em todas as composteiras, todavia o tratamento contendo serragem teve um número de indivíduos perceptivelmente menor, o que pode estar relacionado à maior facilidade no controle da umidade pela função estruturante desta fonte de carbono.

Tabela 11 – Parâmetros avaliados segundo os diferentes tratamentos testados.

Parâmetro	T1 - Papelão	T2 - Papel	T3 - Serragem
C/N inicial (Média)	32,17	22,14	29,25
Composto final (g)	321	166	185
Variação de Massa	78%	83%	84%
Faixa de variação de umidade	36% - 70%	35% - 65%	34% - 65%
Presença de chorume	Sim+	Sim+	Sim
Presença de odor	Sim+	Sim+	Sim
Presença de vetores	Sim+	Sim+	Sim
Granulometria	Pastosa	Pastosa	Terra Fofa

Escala: chorume - sim = pequena quantidade e cor clara; sim+ = grande quantidade e cor escura;  
odor - sim = aceitável; sim+ = forte e desagradável (ácido ???)  
vetores - sim = pequena quantidade e esporádica; sim+ = frequente;

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Durante o experimento, a granulometria foi um aspecto visivelmente diferente nas composteiras com fonte alternativa de carbono. Ambos os tratamentos apresentaram-se com aspecto pastoso, o que tornou essencial o revolvimento. A composteira com serragem (T3), manteve o aspecto de terra fofa ao longo de todo monitoramento. Os tratamentos com fonte alternativa de carbono foram semelhantes durante todo período do experimento, não apresentando vantagem significativa dentre eles.

## 6 CONCLUSÃO

O experimento foi realizado com uso de composteiras artesanais em ambiente fechado simulando uma residência ou escritório e foi operado e monitorado por, 48 dias apresentando aspecto visual homogêneo, indicativo da degradação dos diferentes materiais orgânicos utilizados nos tratamentos.

Em termos de parâmetros físicos monitorados, destaca-se a significativa redução da massa inicial das amostras (maior que 70%) e do comportamento semelhante para

os tratamentos T1 (papelão) e T2 (papel de pão), tal resultado mostrou-se coerente com a literatura.

Porém durante o processo foi nítida a diferença do tratamento com serragem em relação aos demais, o que foi atribuído a sua característica de material estruturante do processo. Sendo possível visualizar diferenças de comportamento entre T1 e T2 em relação a T3 quanto aos aspectos de geração de chorume, odor, granulometria e presença de insetos.

Os tratamentos com fontes alternativas de carbono (T1 e T2) produziram mais chorume, com odor forte desagradável/forte e coloração escura; enquanto o tratamento com serragem, além de ter menor geração de chorume e de cor mais clara, o odor foi menos agressivo. Tais fatores influenciaram diretamente nos aspectos sanitários dos reatores estudados, que foram marcados pela presença de moscas e larvas.

A granulometria dos diferentes materiais utilizados, bem como o comportamento do papel e do papelão durante o processo de biodegradação contribuíram para o aspecto visual pastoso da massa de RO compostadas com fontes alternativas de carbono, sugerindo a agregação das partículas presentes na amostra. Apesar de tal comportamento, ao final do período de monitoramento tal característica foi se modificando e se aproximando de “terra fofa”, o que foi atribuído a frequência de revolvimento adotada. O tratamento com serragem por sua vez resultou em uma mistura com estrutura mais definida, proporcionando melhor aeração, com aspecto de “terra fofa” desde o início da operação, indicativo da evolução do processo de compostagem.

Ao final do processo de monitoramento foram obtidos compostos com odor menos intensos, nenhuma produção de chorume, aspecto de terra fofa e com a média de peso de 321 g (Tratamento com papelão), 166 g (Tratamento com papel) e 185 g (Tratamento com serragem). Comparando os parâmetros obtidos em laboratórios com a IN DAS/MAPA 25/2009, percebe-se que a amostra T03 foi a única que atendeu ao limite de umidade. Todavia, os demais tratamentos obtiveram a relação

de C/N em torno de 10:1, característica que segundo Kiehl (2004) é de um produto acabado ou humificado.

Com base no experimento realizado e resultados obtidos, conclui-se que existe a possibilidade do uso de papelão e papel de pão como fontes alternativas de carbono, porém não fornecem estrutura para a massa a ser decomposta. Portanto deve-se aprofundar estudos sobre essa temática ainda pouco explorada na literatura, visando principalmente reduzir as problemáticas de granulometria, odor e geração de chorume.

Para estudos futuros recomenda-se testar misturas com diferentes proporções (relação C:N) e granulometrias bem como soluções para otimizar a aeração da mistura.



## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, J. V. L. et al. Biodegradation of paper waste under controlled composting conditions. **Waste Management**, v. 29, n. 5, p. 1514–1519, maio 2009.
- BERNARDI, F. H. **Uso do processo de compostagem no aproveitamento de resíduos de incubatório e outros de origem agroindustrial**. 2011. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.
- BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Plano Nacional De Resíduos Sólidos. 2019. Disponível em: [https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano\\_nacional\\_de\\_residuos\\_solidos-1.pdf](https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf). Acesso em: 15 out. 2022.
- BUENO, B. A. **Biodegradabilidade de misturas entre casca de coco, outras fontes de carbono e resíduos sólidos orgânicos com e sem inoculante comercial utilizando a respirometria de bartha**. 104 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021
- COSTA, M. S. S. DE M. et al. Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaça de aves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 692–698, set. 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido**. Pesquisas sobre utilização e conservação do solo na Amazônia Oriental: relatório final do convênio EMBRAPA-CPATU-GTZ.; Belém: Embrapa CPATU, 1986, 291p.
- FILOGÔNIO, I. M. C. **Uso de inoculantes biológicos de compostagem em pequena escala**. 2020. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologias Sustentáveis, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.
- FRANCOU, C. et al. Influence of green waste, biowaste and paper–cardboard initial ratios on organic matter transformations during composting. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 18, p. 8926–8934, dez. 2008.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008. v. 6
- GOMES, A. P. D. O. **Monitorização de uma instalação laboratorial de compostagem**. [s.l.] Universidade De Coimbra, 2011.
- GONÇALVES, M. A.; TANAKA, A. K.; AMEDOMAR, A. DE A. A destinação final dos resíduos sólidos urbanos: alternativas para a cidade de São Paulo através de casos de sucesso. **Future Studies Research Journal: Trends and Strategies**, v. 5, n. 2175–5825, p. 96–129, 2013.
- HAUG, R. T. **The Practical Handbook of Compost Engineering**. 2. ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993.

HINO JUNIOR, J. R., PASCHE, A., JORDAN, E. N., & CUBAS, S. A. III-390-gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos de feiras-estudo de caso: secretaria municipal de abastecimento do município de curitiba. **Congresso Abes**, 2017.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: Maturção e Qualidade do Composto**. 4. ed. Piracicaba: UFV, 2004.

MARAGNO, E. S. O Uso Da Serragem em Sistema de Minicompostagem. **Monografia (Especialização em Gestão de recursos Naturais) Universidade do Extremo Sul Catarinense-UNESC**. Criciúma, 2005.

MARAGNO, E. S.; TROMBIN, D. F.; VIANA, E. O uso da serragem no processo de minicompostagem. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 355–360, dez. 2007.

MASSUKADO, L. **Compostagem: nada se cria, nada se perde, tudo se transforma**. 1. ed. Brasília: Editora IFB, 2016.

MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 22 ago. 2008.

MOH, Y. C.; ABD MANAF, L. Overview of household solid waste recycling policy status and challenges in Malaysia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 82, p. 50–61, jan. 2014.

NETO, H.C.A.; MARQUES, C.C.; ARAÚJO, P.G.C.; GONÇALVES, W.P.; MAIA, R.; BARBOSA, E. A. Caracterização de resíduos sólidos orgânicos produzidos no restaurante universitário de uma instituição pública (estudo de caso). In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2007.

NUNES, M.L. Appendino. **Avaliação de procedimentos operacionais na compostagem de dejetos de suínos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 101f. 2003.

OLIVEIRA, M. M. de. **Compostagem de borra de café e outros resíduos orgânicos com microrganismos eficientes**. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018

PETRIC, I.; ŠESTAN, A.; ŠESTAN, I. Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 87, n. 3, p. 206–212, maio 2009.

POLZER, V. R. Compostagem: uma necessidade dos centros urbanos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 40, p. 124–136, jun. 2016.

SMITH, S. R.; JASIM, S. Small-scale home composting of biodegradable household

waste: overview of key results from a 3-year research programme in West London. **Waste Management & Research**, v. 27, n. 10, p. 941–950, dez. 2009.

VALENTE, B. S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, n. 224, p. 59–85, 17 set. 2008.

