



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

JOÃO PEDRO FREIRE ALVES DA SILVA

**MANUAL DE COMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA: ESTUDO DE CASO EM
UMA CRECHE DE FORTALEZA/CE**

FORTALEZA

2023

JOÃO PEDRO FREIRE ALVES DA SILVA

MANUAL DE COMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA: ESTUDO DE CASO EM
UMA CRECHE DE FORTALEZA/CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S58m Silva, João Pedro Freire Alves da.
Manual de compostagem em pequena escala : estudo de caso em uma creche de Fortaleza/CE / João Pedro Freire Alves da Silva. – 2023.
47 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti.
1. Composto orgânico. 2. Resíduos orgânicos. 3. Restos de alimentos. 4. Podas trituradas. I. Título.
CDD 628
-

JOÃO PEDRO FREIRE ALVES DA SIVA

MANUAL DE COMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA: ESTUDO DE CASO EM
UMA CRECHE DE FORTALEZA/CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Keivia Lino Chagas (Mestre em Engenharia Agrícola)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Sarah Maia Pianowski (Engenheira Ambiental)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Ana Carmen e Renato, e minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ronaldo Stefannuti, pela excelente atenção e orientação.

As Engenheiras participantes da banca examinadora, Me. Keivia Lino Chagas e Sarah Maia Pianowski, pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos pesquisadores Lucas, João, Débora, Keivia e Lauren do NUTEC, pelo auxílio nas análises do trabalho.

À amiga Sarah, pelo auxílio no projeto da compostagem e na coleta das amostras na creche *Treehouse* Fortaleza.

As donas da creche *Treehouse* Fortaleza, Mariana Barros e Bárbara Porro, por viabilizarem a pesquisa e auxiliarem no que foi preciso.

Ao funcionário da creche *Treehouse* Fortaleza, João, que foi responsável pela adequada operação da composteira no dia a dia.

Aos meus pais e minha família, pelo importante apoio durante essa caminhada da graduação.

À minha namorada, Adriana, pelo carinho e apoio.

Aos meus amigos, pelo apoio e incentivo.

“A sabedoria começa na reflexão.”

Sócrates

RESUMO

A compostagem em pequena escala é uma solução que pode ser empregada nos centros urbanos brasileiros, reduzindo a quantidade de resíduos orgânicos que seriam encaminhados para aterros sanitários, aumentando sua vida útil. No presente trabalho, foi realizado um estudo de caso de uma compostagem *in situ* de pequena escala em uma creche de Fortaleza/CE. O objetivo do trabalho foi desenvolver uma composteira compacta e funcional para ser implementada em empreendimentos que desejem tratar seus resíduos orgânicos internamente, reduzindo a geração desses. Além disso, foi elaborado um manual de operação da composteira e foram analisados, ao longo do processo de compostagem, importantes parâmetros relacionados ao composto, sendo: temperatura, umidade e relação C/N. A composteira foi dimensionada tomando como base a geração de resíduos orgânicos do local de estudo, no qual haviam 34 funcionários e 140 crianças na creche, totalizando 178 indivíduos gerando resíduos orgânicos ao longo de oito horas semanalmente. Também foi levado em consideração a proporção de poda triturada de árvores relacionada na relação 1:1,5 de resíduos orgânicos e poda, respectivamente. Chegou-se a um número de quatro composteiras com volume unitário de 725L. Foram realizados treinamentos com funcionários da creche com relação a separação das frações orgânicas na cozinha e quanto a operação da composteira. No início foram observados problemas operacionais, mas logo foram corrigidos. As análises e acompanhamento dos parâmetros foram feitos mediante visitas ao local de estudo e coleta de amostras ao longo do processo de compostagem, em geral, os parâmetros do composto se mantiveram dentro dos limites estabelecidos pela literatura, e conforme a resolução CONAMA nº 481/2017 e a Instituição Normativa nº 61/2020 do MAPA. Com o presente trabalho, foi possível constatar que o manual de compostagem foi efetivo quanto a qualidade final do composto e a operação da composteira foi satisfatória durante o processo. Para comercialização do composto, análises mais detalhadas devem ser feitas conforme a Instrução Normativa nº 61/2020 do MAPA.

Palavras-chave: composto orgânico; resíduos orgânicos; restos de alimentos; podas trituradas.

ABSTRACT

Small-scale composting is a solution that can be used in Brazilian urban centers, reducing the amount of organic waste that would be sent to landfills, increasing its useful life. In the present work, a case study of a small-scale in situ composting was carried out in a day care center in Fortaleza/CE. The objective of the work was to develop a compact and functional compost bin to be implemented in enterprises that wish to treat their organic waste internally, reducing the generation of waste generated. A composter operating manual was also prepared and important parameters related to the compost were analyzed throughout the composting process: temperature, humidity and C/N ratio. The compost bin was sized based on the generation of organic waste at the study site, in this case there were 34 employees and 140 children at the daycare center, totaling 178 individuals generating organic waste over eight hours a week. The proportion of crushed tree pruning related to the 1:1.5 ratio of organic waste and pruning, respectively, was also taken into account. A number of four composters with a unit volume of 725L were reached. Training was carried out with day care center employees regarding the separation of organic fractions in the kitchen and the operation of the compost bin. In the beginning operational problems were observed, but they were soon corrected. The analyzes and monitoring of the parameters were carried out through visits to the study site and collection of samples throughout the composting process, in general, the parameters of the compost remained within the limits established in the literature and in accordance with Conama Resolution No. 481/2017 and Normative Institution No. 61/2020 of MAPA. With the present work, it was possible to verify that the composting manual was effective regarding the final quality of the compost, and the operation of the composter was satisfactory during the process. For commercialization of the compound, more detailed analyzes must be carried out in accordance with Normative Instruction No. 61/2020 of MAPA.

Keywords: organic compost; organic waste; leftover food; crushed pruning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição final dos RSU no Brasil em 2021.....	16
Figura 2 - Usina de biometano GNR Fortaleza.....	17
Figura 3 - Esquema simplificado do processo de compostagem.....	20
Figura 4 – Evolução de temperatura em uma leira de compostagem.....	22
Figura 5 - Índice pH ao longo da compostagem.....	27
Figura 6 - Compostagem de pequena escala em cilindros.....	31
Figura 7 - Compostagem de pequena escala em estrutura de alvenaria.....	31
Figura 8 - Eisenia Foetida.....	31
Figura 9 - Minhocário.....	32
Figura 10 – Vista da composteira montada.....	34
Figura 11 - Interior da Composteira.....	34
Figura 12 – Composteiras.....	34
Figura 13 - Fluxograma operacional da compostagem.....	35
Figura 14 - Armazenamento dos restos de alimento.....	36
Figura 15 - Camada inicial de poda.....	36
Figura 16 - Adição do resto de alimento na composteira.....	36
Figura 17 - Adição da poda e recobrimento dos restos de alimento.....	36
Figura 18 - Musca domestica.....	37
Figura 19 - Revolvimento e irrigação da massa de compostagem.....	37
Figura 20 – Termopar.....	38
Figura 21 - Medição da temperatura.....	38
Figura 22 - Coleta da amostra.....	39
Figura 23 - Armazenamento da amostra.....	39
Figura 24 - Evolução da temperatura.....	41
Figura 25 - Evolução da umidade.....	42
Figura 26 - Evolução da Relação C/N.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Disposição final dos RSU no Brasil e regiões em 2021.....	16
Tabela 2 - Temperatura necessária para higienização da compostagem (Resolução CONAMA nº481/2017.....	22
Tabela 3 - Relações C/N.....	26
Tabela 4 - Métodos convencionais de compostagem.....	29
Tabela 5 - Problemas e soluções operacionais.....	38
Tabela 7 - Análises e metodologias correspondentes.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANP	Agência Nacional de Petróleo
ASMOC	Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia
CH ₄	Gás Metano
CO ₂	Gás Carbônico
GEE	Gases de Efeito Estufa
H ₂ O	Água
H ₂ S	Gás Sulfídrico
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
N ₂	Gás Nitrogênio
NH ₃	Amônia
O ₂	Gás Oxigênio
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
RDO	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RPU	Resíduos de Limpeza Urbana
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Panorama da Gestão dos Resíduos Orgânicos Urbanos	15
3.2	Compostagem	18
3.2.1	<i>O Processo de Compostagem</i>	18
3.3	Parâmetros Físico-químicos da Compostagem	21
3.3.1	<i>Temperatura</i>	21
3.3.2	<i>Umidade</i>	23
3.3.3	<i>Aeração</i>	24
3.3.4	<i>Relação C/N</i>	25
3.3.5	<i>pH</i>	27
3.3.6	<i>Granulometria</i>	28
3.4	Métodos de Compostagem	28
3.4.1	<i>Compostagem em pequena escala</i>	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Dimensionamento e montagem da composteira	33
4.2	Operação da composteira	35
4.2.1	<i>Problemas e soluções operacionais</i>	38
4.3	Monitoramento do processo de compostagem	39
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1	Temperatura	41
5.2	Umidade	42
5.3	Relação C/N	43
6	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46

1. INTRODUÇÃO

A gestão integrada dos RSU é fundamental para o desenvolvimento da sustentabilidade nas cidades, estando também diretamente relacionada com a qualidade de vida da população. Ao longo dos anos vem sendo observada a geração crescente dos resíduos sólidos nos grandes centros urbanos e, nesse cenário, a gestão ainda é deficiente.

A destinação final ambientalmente adequada dos RSU é o objetivo final dentro de sua gestão. A PNRS, que foi instituída pela Lei nº 12.305 de 2010, define algumas maneiras de atingir esse objetivo, dentre elas: Reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação, aproveitamento energético e, esgotadas as possibilidades, a disposição final.

A quantidade gerada de RSU no Brasil está relacionada com a região do país. No ano de 2020, a massa estimada de RSU, que engloba os RDO mais os RPU, na macrorregião nordeste foi de 19,0 milhões de ton./ano, representando 28,4% do total produzido no Brasil. Quanto à geração estimada por habitante na zona urbana, a região nordeste apresentou uma média de 1,23 kg/hab./dia, que é a maior média do país, e o estado do Ceará apresentou uma média de 1,60 kg/hab./dia, a qual é a maior média nacional por Estado (SNIS, 2021).

A composição gravimétrica dos RSU gerados no Brasil é predominantemente orgânica. Foi observado que ela corresponde a 45,3% dessa composição, como também foi estimado que 170 kg de matéria orgânica é descartada por pessoa a cada ano (ABRELPE, 2020). Essa situação mostra que devem ser desenvolvidas formas de tratar esses resíduos orgânicos gerados nos centros urbanos dando uma destinação final ambientalmente adequada, além disso, é visto que sua disposição final em aterros sanitários é a principal responsável pelas emissões de GEE.

A compostagem é uma forma de tratamento dessa fração orgânica dos RSU. A técnica se vale da decomposição aeróbia dos resíduos orgânicos por meio das bactérias e fungos, tendo como produto final o composto orgânico. É observado que a compostagem ainda é pouco empregada em larga escala no Brasil, apenas 74 usinas ou pátios de compostagem estão em operação no país, o que corresponde a 1,5% das unidades de processamento de RSU (SNIS, 2021). Dessa forma, a compostagem em pequena escala pode ser uma solução na qual o resíduo orgânico é tratado no próprio local onde é gerado.

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um manual de compostagem em pequena escala, baseado na implantação do processo em uma creche e a construção da composteira, sua operação e análise final do composto orgânico.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Desenvolvimento de um manual de compostagem em pequena escala para implantação em empreendimentos localizados nos centros urbanos e residências.

2.2. Objetivos Específicos

- a) Desenvolvimento de uma composteira de aeração passiva compacta e funcional;
- b) Orientar a partida e operação da composteira;
- c) Reduzir a geração de resíduos da creche, aliando-se a educação ambiental dos funcionários;
- d) Quantificar os parâmetros do composto orgânico para validar sua aplicação como fertilizante orgânico, conforme os requisitos estabelecidos pela Instrução Normativa nº 61/2020 do MAPA, como também, comparar com os valores observados na literatura.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será apresentado um panorama da gestão atual de resíduos orgânicos urbanos no Brasil e no Estado do Ceará, com ênfase a cidade de Fortaleza, além disso, será aprofundado o processo de compostagem, descrevendo seus diferentes conceitos, etapas e fatores que influenciam o processo.

3.1. Panorama da Gestão dos Resíduos Orgânicos Urbanos

Resíduos orgânicos urbanos são representados pelas sobras de alimentos consumidos pela população, sendo um tipo de resíduo bastante diversificado. Segundo a Norma ABNT NBR n° 10.004/2004, os resíduos orgânicos são classificados como resíduos II A, não perigosos e não inertes, a referida norma os define como:

Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes, nos termos desta Norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

É observado que os resíduos orgânicos urbanos no Brasil não são geridos adequadamente na grande maioria dos centros urbanos, inclusive na cidade de Fortaleza, sendo dispostos como rejeitos. Segundo a Lei n° 12.305, que instituiu o PNRS, rejeitos são definidos como:

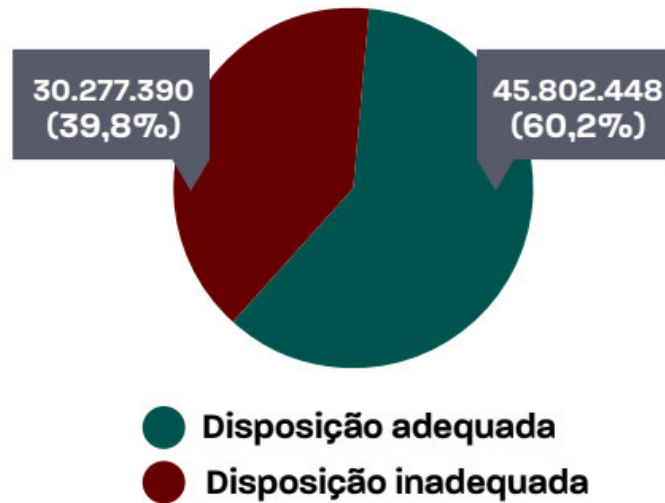
XV - Rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

A partir da definição é observado que os resíduos orgânicos não deveriam ser tratados como tal, visto que podem ter algumas formas de tratamento e recuperação como, por exemplo, a compostagem e a biodigestão anaeróbia.

Os resíduos orgânicos, quando não tratados, são responsáveis pela emissão de GEE e caso não sejam tratados, seu destino final ambientalmente adequado deve ser em aterros sanitários, pois eles são projetados para acondicionar os rejeitos de forma adequada, seguindo padrões geotécnicos que reduzam os impactos. Em contrapartida, os lixões ainda são uma realidade de muitas cidades Brasileiras, sendo responsáveis por grandes passivos ambientais. A figura 1 e a tabela 1 refletem a situação atual da disposição final dos resíduos sólidos urbanos no

Brasil, a disposição adequada é em aterros sanitários e a inadequada em aterros controlados e lixões:

Figura 1 - Disposição final dos RSU no Brasil em 2021



Fonte: Abrelpe (2021).

Tabela 1 - Disposição final dos RSU no Brasil e regiões em 2021

Região	Disposição adequada		Disposição inadequada	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.773.927	35,6%	3.209.013	64,4%
Nordeste	6.016.948	36,3%	10.558.666	63,7%
Centro-Oeste	2.456.849	42,5%	3.323.972	57,5%
Sudeste	29.542.830	73,4%	10.706.257	26,6%
Sul	6.011.894	70,8%	2.479.482	29,2%
Brasil	45.802.448	60,2%	30.277.390	39,8%

Fonte: Abrelpe (2021).

Enterrar resíduos orgânicos, seja em aterros sanitários ou em lixões, leva a decomposição dos mesmos em meio à ausência de oxigênio, ocasionando o processo de digestão anaeróbia (Silva *et al.*, 2021). Segundo Gomez (2013), como resultado desse processo há formação do biogás, composto por gases como o metano (CH₄), com 60 a 70% de sua composição, dióxido de carbono (CO₂), com 30 a 40%, seguidos de gases traço como o nitrogênio (N₂), hidrogênio (H₂), sulfeto de hidrogênio (H₂S), amônia (NH₃) e vapor d'água (H₂O), presente em menores

rendimentos. O *Greenhouse Gas Protocol* (2016) ainda observa que o CH_4 , quando emitido diretamente na atmosfera, contribui 28 vezes mais com o efeito estufa que o CO_2 .

No Ceará, GNR Fortaleza, que é uma empresa privada formada pela MARQUISE e a ECOMETANO, faz a extração do biogás do Aterro Sanitário Municipal Oeste de Caucaia (ASMOC). O biogás coletado passa por consecutivas etapas de purificação na planta para atender aos padrões comerciais estabelecidos pela Resolução ANP n° 886/2022 (ANP 2022). O produto principal, o CH_4 , biometano, combustível renovável, é fornecido para a CEGAS, a qual é responsável por sua comercialização (MARQUISE AMBIENTAL, 2022). A figura 2 apresenta a usina de biometano localizada no ASMOC:

Figura 2 - Usina de biometano GNR Fortaleza



Fonte: Ciclo Vivo (2018).

Outra forma de destinar esses resíduos orgânicos é a compostagem. No Brasil, esse processo é muito incipiente e poucas cidades desenvolveram políticas que visassem a implantação desse processo. Uma das que desenvolveram é a cidade de Florianópolis/SC a partir da Lei n° 10.501 de 2019, ela é pautada na PNRS e dispõe sobre a obrigatoriedade da reciclagem dos RSO no município de Florianópolis.

Massukado (2008) destaca a importância da compostagem no aumento da vida útil dos aterros sanitários, a redução na emissão do gás metano e redução na geração de chorume. Indiretamente, observa que os benefícios envolvem a redução nos custos de implantação e operação para sistemas de tratamento de chorume.

O desenvolvimento da compostagem em grande escala nos centros urbanos depende da disponibilidade de espaço para a implantação dos pátios ou usinas de compostagem, além de

uma infraestrutura para coleta dos RSO porta a porta, aliada com a educação ambiental da população quanto a gestão desses resíduos. Nessa perspectiva, o incentivo a implantação da compostagem doméstica em pequena escala também é uma alternativa.

O desperdício de alimentos no Brasil também é uma questão muito relevante, tendo em vista que são desperdiçados cerca de 26 milhões de toneladas de alimento por ano, quantidade essa suficiente para alimentar cerca de 35 milhões de pessoas no mesmo período (EMBRAPA, 2007 *apud* STORCK *et al.*, 2013). À luz dessa problemática, o aproveitamento integral dos alimentos deve ser incentivado, visto que é uma ferramenta sustentável que utiliza partes de alimentos que comumente são desprezadas, normalmente por se tratarem de alimentos considerados fora do padrão estético, mesmo estando em perfeitas condições nutricionais. Além disso, partes consideradas não comestíveis, tais como talos, folhas, cascas e sementes, são descartadas devido à falta de informação dos indivíduos (EMBRAPA, 2018). Assim, publicações que desenvolvam receitas com essas partes devem ser divulgadas à população para preparações culinárias, dando um destino final ambientalmente adequado.

3.2. Compostagem

A compostagem é uma técnica milenar, sendo empregada por povos antigos na humanidade. A utilização dessa técnica data de cerca de 4500 anos na Mesopotâmia e, ao longo do tempo, diferentes civilizações amontoavam em pilhas matéria vegetal, estrume e restos de alimentos, deixando-os decompor e devolvendo ao solo (SANTOS, 2007).

3.2.1. O Processo de Compostagem

O processo de compostagem apresenta alguns conceitos. A ideia geral é de que é um processo de transformação da matéria orgânica em adubo orgânico por meio da ação de bactérias e outros microrganismos na presença de oxigênio.

Segundo Valente *et al.* (2008), a compostagem é um processo de decomposição aeróbia controlada e de estabilização da matéria orgânica em condições que permitem o desenvolvimento de temperaturas termofílicas, resultantes de uma liberação de calor de origem biológica, com obtenção de um produto final estável, sanitizado, rico em compostos húmicos e cuja utilização no solo não oferece riscos ao meio ambiente.

A Instrução Normativa nº61, de 2020 estabelecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento conceitua compostagem como:

V - Compostagem: processo de decomposição biológica controlada dos resíduos orgânicos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições aeróbias e termofílicas, resultando em material estabilizado, com propriedades e características completamente diferentes daqueles que lhe deram origem; [...]

A Norma ABNT NBR n° 13591/1996 traz alguns conceitos importantes, o de compostagem, compostagem acelerada e composto natural:

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

Compostagem acelerada: Método de compostagem que utiliza equipamentos eletromecânicos, objetivando acelerar o início do processo biológico, com a manutenção de um ambiente controlado, seguida de continuação do processo no pátio.

Compostagem acelerada: Método de compostagem que utiliza exclusivamente aeração natural.

Segundo Kiehl (2004), a compostagem é um processo biológico aeróbio, exotérmico e controlado, no qual substratos orgânicos são decompostos por meio da ação de microrganismos com a liberação de CO₂ e vapor de água, produzindo no final um produto estável, rico em matéria orgânica e mais humificado, com propriedades e características diferentes do material que lhe deu origem. Já para Andreoli (2001), a compostagem pode ser definida como uma bioxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável.

Dessa forma, conclui-se que a compostagem é um processo natural e se desenvolve dentro de algumas condições ótimas. Ao observá-las, buscamos desenvolver modelos de compostagem que otimizem esse processo, tornando-o mais rápido e eficiente. A compostagem é uma forma de obter mais rapidamente e em melhores condições um composto que na natureza levaria um tempo indeterminado de acordo com as condições que o material se encontra (KIEHL, 1985).

O produto final da compostagem é o composto orgânico, que após passar por todos os processos se configura como fertilizante orgânico. A Norma ABNT NBR n° 13591/1996 conceitua o composto de acordo com a fase de maturação que o mesmo foi submetido:

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

Composto cru: Produto que completou a primeira fase da compostagem e necessita obrigatoriamente de maturação para sua utilização agrícola e de procedimentos adequados para proteção ambiental e de saúde.

Composto orgânico: Produto da compostagem que atende à legislação vigente.

Segundo Kiehl (2004), os produtos finais do processo de compostagem são dois importantes componentes: sais minerais, contendo nutrientes para as raízes das plantas, e húmus, como condicionador e melhorador das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo.

Dessa forma, é necessário que as fases da compostagem sejam bem desenvolvidas para que o composto se torne bioestabilizado e que se enquadre na legislação vigente, a fim de ser utilizado na agricultura.

As fases da compostagem são divididas em duas, as quais são bem diferentes entre si: Fase de degradação rápida, na qual há intensa atividade microbiana e rápida transformação da matéria orgânica. É observado um elevado consumo de O_2 pelos microrganismos, liberação de CO_2 , calor e vapor de água. Ao final dessa primeira fase o composto ainda é considerado semi-curado e não pode ser utilizado nas plantas devido a liberação de toxinas danosas as plantas decorrentes da reação ácida que a matéria orgânica sofre, necessitando da fase subsequente de maturação (KIEHL, 1998).

A segunda fase é chamada de maturação ou humificação, nessa etapa a atividade microbiana é bem reduzida, não sendo necessário o processo de aeração. Nessa fase o composto sofre transformações químicas, como a polimerização de matérias orgânicas estáveis e, no final, esse passa a ser considerado curado e pode ser utilizado como adubo orgânico sem toxicidade para as plantas (KIEHL, 1998; ANDREOLI, 2001). A figura 3 apresenta um esquema simplificado do processo de compostagem:

Figura 3 - Esquema simplificado do processo de compostagem



Fonte: Andreoli (2001).

No processo de compostagem, é imprescindível a atuação dos microrganismos. Segundo Andreoli (2001), à medida que a compostagem se inicia, há a proliferação de complexas populações de diversos grupos de microrganismos, dentre eles as bactérias, fungos e actinomicetos, os quais vão se sucedendo com o processo. Um fator característico para o desenvolvimento dos

microrganismos é a temperatura do meio. Segundo Siqueira (2006), as bactérias, fungos e actinomicetos são responsáveis por mais de 95% da atividade microbiana que ocorre no processo de compostagem.

3.3. Parâmetros Físico-químicos da Compostagem

Durante a compostagem, alguns parâmetros devem ser monitorados para que a mesma ocorra adequadamente. Segundo Andreoli (2001), os principais fatores a serem observados na compostagem são: aeração, visto que é um processo aeróbio; os nutrientes, principalmente o carbono e nitrogênio (relação C/N), que são determinantes para o crescimento bacteriano; a umidade; e a temperatura, pois influencia na velocidade do processo de biodegradação e a eliminação de microrganismos patogênicos. Esta última é dependente da atividade biológica que ocorre durante o processo; o pH; e a estrutura (granulometria) dos resíduos orgânicos.

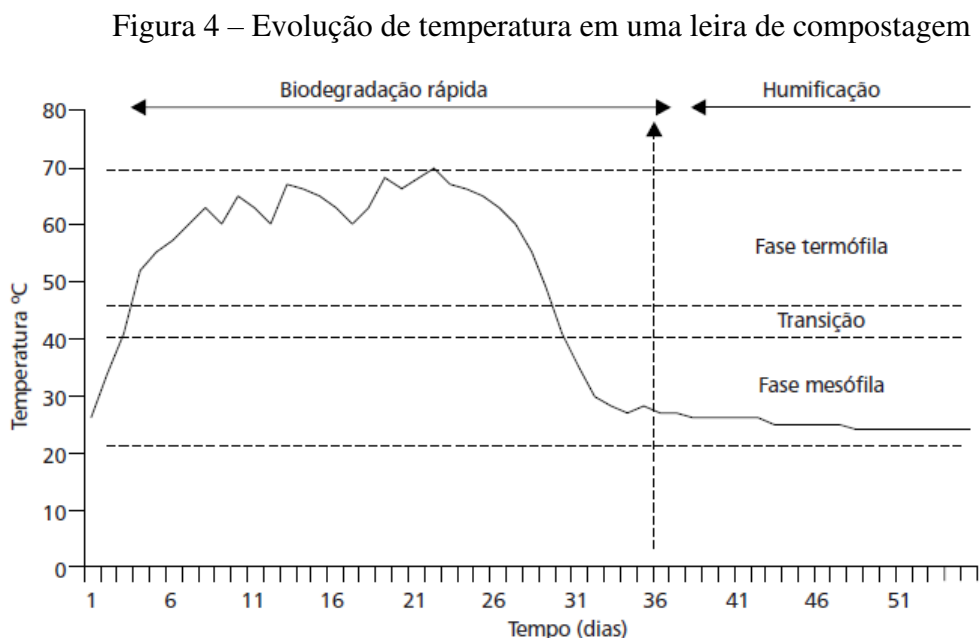
3.3.1. Temperatura

A temperatura tem um papel fundamental na compostagem, influenciando nas diferentes fases e na velocidade da transformação da matéria orgânica por parte dos microrganismos atuantes no processo. Os microrganismos podem ser classificados quanto ao seu desenvolvimento ótimo nas faixas de temperatura do meio em: Psicrófilos (0–20 °C), mesófilos (15–43°C) e termófilos (40–85°C) (ANDREOLI, 2001).

O processo de compostagem se inicia com um aumento na temperatura da massa de compostagem, com isso é observado um forte crescimento dos microrganismos mesófilos. Com o passar do tempo, há a liberação de calor no meio, ocorrendo a elevação gradativa da temperatura, então a população de microrganismos mesófilos diminuí e os microrganismos termófilos se proliferam com grande intensidade. Esses microrganismos termófilos são extremamente ativos no processo de compostagem, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica. Essa elevação da temperatura decorrente da degradação também elimina os microrganismos patogênicos (ANDREOLI, 2001).

Após o processo de biodegradação rápida, o substrato orgânico é transformado e a temperatura global da massa de compostagem diminui de maneira significativa, dessa forma, os microrganismos mesófilos se instalam novamente. Nessa fase de maturação, a maioria das moléculas orgânicas de fácil biodegradabilidade foram transformadas e o composto apresenta odor

agradável, ocorrendo também a humificação (ANDREOLI, 2001). A figura 4 ilustra a variação de temperatura em uma leira de compostagem:



Fernandes e Silva (1999) ressaltam que a temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico de fácil monitoramento e que reflete a eficiência do processo de compostagem. Segundo os autores, se a leira registrar temperaturas da ordem de 40 a 60°C no segundo ou terceiro dia após o início do processo, é sinal de que o ecossistema está bem equilibrado e que a compostagem tem grandes chances de ser bem-sucedida.

O controle da temperatura durante o processo de compostagem deve ser realizado periodicamente, avaliando se está dentro do estabelecido. Tendo em vista esse controle, a Resolução nº 481 do CONAMA estabelece a faixa de temperatura necessária para higienização da compostagem. A tabela 2 mostra o que foi estabelecido segundo a resolução:

Tabela 2 - Temperatura necessária para higienização da compostagem
(Resolução CONAMA nº481/2017)

Sistema de Compostagem	Temperatura (°C)	Tempo (dias)
Sistemas abertos	> 55°C	14
	> 65 °C	3
Sistemas fechados	> 60 °C	3

Fonte: Brasil (2017).

Segundo Andreoli (2001), depois de iniciada a fase termófila da compostagem (em torno de 45°C), o ideal é controlar a temperatura entre 55 e 65°C. Esta é a faixa que permite a máxima intensidade da atividade microbiológica. Acima de 65°C a atividade microbiológica cai e o ciclo de compostagem fica mais longo.

Kiehl (2004) enfatiza a atenção com a temperatura, alertando que se a mesma estiver entre 70 a 75 °C por longos períodos de tempo proporcionam a redução da atividade benéfica dos microrganismos e aumenta a perda de nitrogênio por volatilização da amônia. Essa situação ocorre com mais frequência quando a matéria-prima possui fração alcalina e baixa relação C/N. O autor ainda define que a temperatura ótima da leira se encontra entre 40 e 60 °C, tendo como média 55°C.

De acordo com Veras (2018), algumas ações podem ser realizadas para controlar o aumento da temperatura nas leiras de compostagem, o revolvimento e irrigação das leiras são uma alternativa. Andreoli (2001) observa que em certos casos o insuflamento de ar comprimido na massa do composto pode ser de 5 a 10 vezes maior que o estritamente necessário à respiração microbiana, tendo assim a função de dissipar o calor liberado no processo.

Quando a massa de compostagem está abaixo da média da temperatura estabelecida, podem ser feitas algumas inferências. Kiehl (2004) diz que a ausência de calor ocorre por conta de dois fatores: falta de microrganismos suficientes para inocular a massa e excesso ou falta de água. Nesse primeiro caso, remedeia-se adicionando a leira materiais rico em nitrogênio e microrganismos, como resíduos de matadouro e esterco de animais. No caso de falta de água, é necessário revolver a leira e irrigá-la durante o revolvimento.

3.3.2. Umidade

A água na forma de umidade é fundamental no processo de compostagem. Na decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, é liberado como produto H₂O no meio. Andreoli (2001) ressalta a importância da água para a vida microbiana e observa que no composto o teor ótimo de umidade situa-se entre 50% e 60%. O mesmo autor também enfatiza que elevados teores de umidade (> 65%) fazem com que a água ocupe espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem de O₂, o que pode ocasionar zonas de anaerobiose, e caso a umidade seja inferior a 40%, a atividade biológica é inibida, bem como a velocidade de biodegradação.

Kiehl (2004) também estabelece os teores ótimos de umidade que, caso esteja abaixo de 40%, a decomposição será aeróbia, mas lenta, predominando a ação dos fungos, pois as bactérias estarão pouco ativas. Se a umidade estiver acima de 60%, o material se mostrará molhado

ou encharcado, dessa forma a água toma o espaço vazio do ar e a decomposição será em parte anaeróbia, podendo produzir maus odores. Segundo o autor, a umidade deve estar sempre acima de 40% e abaixo de 60%, sendo o valor ótimo de 55%.

A umidade dos resíduos orgânicos domiciliares contribui para a aplicação dos mesmos no processo de compostagem. Observa-se que sua umidade é de 55%, dessa forma, seu tratamento por meio da compostagem é uma interessante alternativa (MASSUKADO, 2008).

O controle da umidade deve ser observado durante todo o processo para que as situações citadas anteriormente não ocorram. Caso a umidade esteja acima ou abaixo da faixa estabelecida, alguns ajustes podem ser feitos. Segundo Massukado (2008), quando há excesso de umidade, o ajuste pode ser realizado por meio de revolvimentos, injeção de ar seco ou adição de material seco na leira; se a umidade estiver baixa, é necessário fazer a irrigação da leira, de preferência no momento de revolvimento, para que a água seja distribuída igualmente.

3.3.3. Aeração

A aeração na compostagem é fundamental, visto que o processo é aeróbio, portanto, a manutenção do oxigênio é importante para que se configure como tal. O meio comumente empregado para aeração é o revolvimento que, segundo Massukado (2008), define-se como uma atividade importante durante o processo de compostagem, pois tem a função de aerar a leira de forma a reduzir o calor excessivo ou reduzir a umidade excessiva. A autora também cita o revolvimento manual, o mecânico e a injeção de ar como as principais formas de aerar uma leira.

Segundo Kiehl (2004), o revolvimento do composto, ao mesmo tempo que introduz ar novo rico em oxigênio, libera o ar contido na leira saturado de CO₂, gerado pela respiração dos organismos. O autor ressalta que essa renovação é importante, visto que o teor de CO₂ existente no interior da leira pode chegar a concentrações cem vezes maior que seu conteúdo normal no ar atmosférico. Faltando O₂ na leira, haverá formação e acúmulo de CO₂ e CH₄, que são componentes característicos da fermentação anaeróbia.

Segundo Cooperband (2002), quando a compostagem é anaeróbia, o tempo de degradação é maior do que na presença de oxigênio, além disso, produz-se chorume e odor. Portanto, o processo aeróbio é a melhor forma de decomposição.

O revolvimento da massa de compostagem tem algumas finalidades, Kiehl (2004) cita alguma delas:

- a) Remover o excesso de CO₂ da leira, introduzindo ar atmosférico rico em O₂, o qual é consumido rapidamente pelo metabolismo microbiano;
- b) Homogeneizar a massa em compostagem, para uniformizar a umidade e a comunidade de microrganismos, desfazer torrões formados, triturar componentes frágeis e desfazer as camadas estratificadas geradas na leira;
- c) Efetuar o controle sanitário da leira, uma vez que sua fina camada de cobertura, a mais externa, na espessura de uns 10 cm é ressecada, não se aquece, portanto não elimina os microrganismos patogênicos. Para que isso ocorra, essa camada deve ser incorporada à massa aquecida através do revolvimento.

Andreoli (2001) ressalta que durante a compostagem a demanda por O₂ é bastante elevada pois os microrganismos utilizam-no para oxidar a matéria orgânica, portanto, a falta desse elemento pode ser um fator limitante para a atividade microbiana, como também pode prolongar o ciclo de compostagem. O autor também traz a importância da aeração para a velocidade de oxidação do material orgânico na diminuição de produção de odores.

Massukado (2008) identifica quais formas de aeração devem ser adotadas no processo de compostagem, essas variam em relação ao do tamanho das leiras, a localização da unidade de compostagem, a disponibilidade de mão de obra e recursos financeiros. Segundo a autora, revolvimentos manuais são indicados para leiras de pequeno porte (até 500 kg) e quando há disponibilidade de mão de obra. Já o revolvimento mecânico ocorre quando as leiras têm maior porte e que haja mão de obra qualificada para operar os equipamentos de revolvimento, que podem ser uma pá carregadeira ou equipamentos específicos para revolvimento.

A injeção de ar na leira também é uma forma eficaz de aeração, no entanto demanda consumo de energia e gastos com a aquisição dos sopradores, mas há ocasiões em que é interessante sua aplicação: quando há pouco espaço disponível, a unidade de compostagem se encontra próxima a centros urbanos, e quando os resíduos orgânicos que vão constituir a mistura da leira são bem definidos (MASSUKADO, 2008).

Segundo Fernandes e Silva (1999), seja qual for a tecnologia utilizada, a aeração da mistura é fundamental no processo inicial da compostagem, na fase da degradação rápida, na qual a atividade microbiana é intensa. Na fase seguinte, a de maturação, a atividade microbiana é pouco intensa, logo a necessidade de aeração é bem menor.

3.3.4. Relação C/N

Esse parâmetro é de suma importância para o processo de compostagem, visto que os microrganismos necessitam destes dois componentes em equilíbrio para realizar suas atividades

vitais, utilizando o carbono como fonte de energia e o nitrogênio para síntese de proteínas (ANDREOLI, 2001). Segundo Massukado (2008), para o desenvolvimento adequado da compostagem, a relação recomendada entre esses dois elementos deve ser atendida, pois os microrganismos degradam o carbono orgânico somente se houver nitrogênio suficiente para seu crescimento.

A proporção de C/N é bem variável, segundo Andreoli (2001) a relação teoricamente deve se situar em torno de 30/1, mas na realidade constata-se que a relação pode variar de 20/1 a 70/1 de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do substrato e tanto a falta de nitrogênio quanto a falta de carbono limitam a atividade microbiológica. O autor traz que se a relação C/N for muito baixa, haverá perda de nitrogênio pela volatilização da amônia, em contrapartida, se a relação C/N for muito elevada, os microrganismos não encontrarão nitrogênio suficiente para a síntese proteica e seu desenvolvimento será limitado.

Kiehl (2004) também traz diferentes valores de relação C/N e suas respectivas consequências. A tabela 3 ilustra essas relações:

Tabela 3 - Relações C/N

Relação C/N	Situação
Acima de 50/1	Deficiência de nitrogênio, o tempo de compostagem é prolongado
Entre 30/1 e 50/1	Tempo de compostagem mais rápido que o anterior
Abaixo de 10/1	Perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia
Entre 25/1 e 35/1	Relação considerada ótima

Fonte: Adaptado de Kiehl (2004).

Segundo Kiehl (2004), o acompanhamento da relação C/N durante o processo de compostagem permite analisar o andamento do processo, indicando quando o composto atingiu a fase de bioestabilidade (relação C/N de 18:1) e quando transformou-se no produto final humificado (relação C/N de 10:1).

Segundo Fernandes e Silva (1999), independentemente da relação C/N inicial, no final da compostagem a relação C/N converge para um mesmo valor, entre 10 e 20, devido a perdas maiores de carbono do que nitrogênio no desenvolvimento do processo.

Para que a relação C/N se mantenha dentro do esperado, a proporção adequada entre os restos de alimento, que é a fonte de nitrogênio, e o material estruturante, que é a fonte de carbono, deve ser observada. Fazendo-se uma análise prévia da relação C/N dos restos de alimento e do material estruturante, é possível chegar na proporção adequada desses dois elementos.

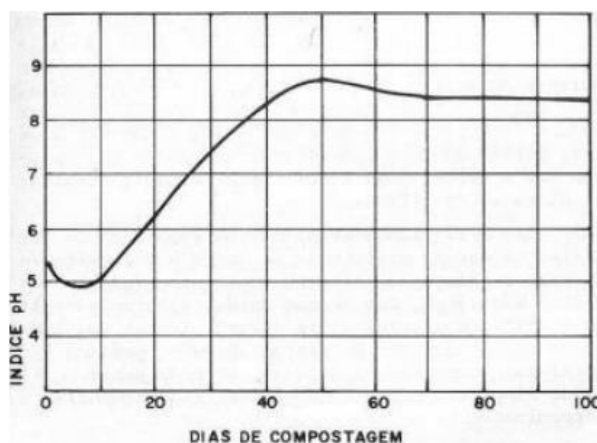
3.3.5. pH

O pH varia durante o processo de compostagem, e seu acompanhamento pode indicar se o mesmo está dentro do esperado. Os microrganismos são afetados pelas variações de pH, quando este se encontra em níveis muito baixos ou muito altos pode acontecer a redução ou até inibição das atividades microbianas (ANDREOLI, 2001).

O substrato utilizado na compostagem também influencia o quão elevada essa variação de pH pode ocorrer no processo. Andreoli (2001) mostra que é preferível que o substrato tenha pH próximo da neutralidade para que a fase inicial (mesófila) seja marcada por uma queda sensível no pH, variando de 5,5 a 6. Caso o pH do substrato seja próximo ou inferior a 5,0, haverá uma diminuição drástica da atividade microbiológica e o composto pode não passar para a fase seguinte termófila. Essa redução no pH ocorre devido à produção de ácidos orgânicos durante a decomposição da matéria orgânica.

A fase final (termófila) é caracterizada pelo aumento da temperatura e síntese de proteínas com liberação de amônia, a depender da relação C/N, dessa forma ocorrerá o aumento do pH, o qual se manterá alcalino (7,5 – 9,0) durante essa fase. Caso a relação C/N seja mantida dentro dos valores indicados, o pH provavelmente não será um fator crítico para a compostagem (ANDREOLI, 2001). A figura 5 ilustra a variação do pH ao longo das fases da compostagem:

Figura 5 - Índice pH ao longo da compostagem



Fonte: Kiehl (1985).

3.3.6. Granulometria

A granulometria, ou tamanho das partículas, dos resíduos orgânicos utilizados na compostagem influencia diretamente na velocidade de degradação deles. Kiehl (2004) traz que o tamanho das partículas é uma importante característica física que afeta o processo, quanto menor a partícula, maior é a superfície que pode ser atacada e digerida pelos microrganismos, e mais rápida será a decomposição da matéria orgânica.

Com relação ao tamanho recomendado das partículas, Andreoli (2001) recomenda que os substratos devem apresentar de 30% a 36% de porosidade, e o tamanho das partículas deverá estar entre 25 a 75 mm para resultados melhores de decomposição.

Segundo Massukado (2008), observa-se que normalmente alguns RSD orgânicos tem tamanho maiores do que os recomendados pela literatura e sua trituração, para diminuir o tamanho dessas partículas, muitas vezes não é viável para pequenas unidades de compostagem (até 1 t/d), seja pelo alto teor de umidade ou pela falta de equipamento adequado para a atividade. A autora ressalta que uma alternativa é montar as leiras e esperar algumas semanas até que o material se encontre mais seco, e então triturá-lo.

3.4. Métodos de Compostagem

A compostagem é um processo altamente flexível. Alguns métodos podem ser utilizados a depender de algumas variáveis, como: disponibilidade de espaço para o processo, recursos disponíveis, localização da compostagem e volume de substrato. Segundo Massukado (2008), a compostagem pode ser feita tanto em pequena escala, como, por exemplo, em domicílios e escolas, bem como em média e grande escala, no caso em fazendas, municípios e algumas indústrias.

As metodologias de compostagem geralmente se classificam quanto à forma de aeração e ao seu formato (FREITAS, 2016). Os métodos convencionais de compostagem observados são três: sistemas de leiras revolvidas (*windrow*), sistemas de leiras estáticas aeradas (*static pile*) e sistemas fechados ou reatores biológicos (*in vessel*). A tabela 4 apresenta informações importantes sobre esses diferentes métodos:

Tabela 4 - Métodos convencionais de compostagem

Método de Compostagem	Descrição	Vantagens	Desvantagens
Sistema de leiras revolvidas (<i>windrow</i>)	A mistura dos resíduos é disposta em leiras, e a aeração é fornecida pelo revolvimento dos resíduos e pela convecção e difusão do ar na massa do composto	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo investimento inicial; • Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos; • Simplicidade de operação; • Uso de equipamentos simples; • Produção de composto homogêneo e de boa qualidade; • Possibilidade de rápida diminuição do teor de umidade das misturas devido ao revolvimento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior necessidade de área; • Problema de odor mais difícil de ser controlado, principalmente no revolvimento; • Depende muito do clima, em períodos de chuva não deve ser feito o revolvimento; • O monitoramento da aeração deve ser mais cuidadoso para que a temperatura se mantenha adequada.
Sistema de leiras estáticas aeradas (<i>static pile</i>)	A mistura a ser composta é colocada em uma tubulação perfurada que injeta ou aspira o ar na massa do composto, não havendo revolvimento mecânico das leiras.	<ul style="list-style-type: none"> • Baixo investimento inicial; • Melhor controle de odores; • Etapa de estabilização mais rápida que o sistema anterior; • Possibilidade de controle da temperatura e aeração; 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessidade de um bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem; • Operação influenciada pelo clima.

		<ul style="list-style-type: none"> • Uso de área otimizado com relação ao sistema anterior.
<p>Sistemas fechados ou reatores biológicos (in vessel)</p>	<p>Os resíduos são colocados dentro de sistemas fechados, o que permite o controle de todos os parâmetros do processo de compostagem</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menor demanda de área; • Melhor controle do processo de compostagem; • Independência de agentes climáticos; • Facilidade para controlar odores; • Potencial para recuperação de energia térmica. <ul style="list-style-type: none"> • Maior investimento inicial; • Dependência de sistemas mecânicos especializados, tornando a manutenção mais delicada e cara; • Menor flexibilidade operacional; • Risco de erro difícil de ser reparado caso o sistema for mal dimensionado.

Fonte: Adaptado de Andreoli (2001) e Fernandes e Silva (1999).

3.4.1. Compostagem em pequena escala

O presente trabalho está focado na compostagem em pequena escala, que atende uma geração menor de resíduos orgânicos quando comparada a grandes escalas, visto que o ambiente de estudo é uma creche. Em se tratar dessa modalidade de compostagem, a versatilidade de metodologias de compostagem é maior.

Em ambientes onde o aspecto visual da composteira é relevante, e o controle de animais, como pequenos roedores, é imprescindível no ambiente onde a compostagem vai ser realizada, estruturas podem ser desenvolvidas para acondicionar a leira no intuito de controlar esses quesitos. As figuras 6 e 7 ilustram, respectivamente, composteiras cilíndricas e em estrutura de alvenaria.

Figura 6 - Compostagem de pequena escala em cilindros



Fonte: Fundação Verde Herbert Daniel (2022).

Figura 7 - Compostagem de pequena escala em estrutura de alvenaria



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Esses modelos de compostagem podem ser classificados como sistemas abertos de leiras revolvidas, visto que não há total controle das variáveis envolvidas no processo e é necessário seu revolvimento manual periódico para controle de temperatura (ANDREOLI, 2001; FERNANDES e SILVA, 1999).

Alguns estudos ressaltam que a compostagem em pequena escala tem uma boa finalidade, reduzindo a massa de rejeitos que vai para os sistemas públicos de coleta, pois os orgânicos são processados no próprio local onde é gerado. Segundo Furedy (2001), existe muito interesse na promoção da compostagem de resíduos orgânicos urbanos de modo descentralizado, em pequena escala, nas próprias comunidades, bairros, quarteirões e casas onde eles são produzidos.

Ainda com relação a compostagem em pequena escala, uma vertente que vem crescendo é a vermicompostagem, que é a inoculação de minhocas da espécie *Eisenia foetida*, conhecidas popularmente como “minhocas californianas”, na leira, a fim de acelerar o processo de compostagem e melhorar a qualidade final do composto, o qual será o húmus de minhoca. A figura 8 apresenta uma “minhoca californiana”.

Figura 8 - *Eisenia Foetida*



Fonte: Museu Virtual Biodiversidade.

Segundo Risse e Faucette (2012), a vermicompostagem utiliza minhocas para consumir os alimentos em decomposição, gerando um composto de alta qualidade; esse processo normalmente é feito em recipientes como caixas ou estufas. Segundo os autores, uma unidade de proporção em massa dos vermes pode consumir quatro unidades em massa de alimentos por semana. Algumas escolas utilizam essa metodologia como ferramenta de educação ambiental.

O local onde a vermicompostagem é realizado é chamado de minhocário, sendo uma solução muito bem aplicada em residências onde o volume de orgânicos gerados não seja tão alto. A figura 9 ilustra um minhocário:

Figura 9 - Minhocário



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Como citado anteriormente, há restrições quanto aos tipos de resíduos orgânicos utilizados devido as minhocas, as quais são sensíveis a mudanças no pH do meio, dessa forma, alimentos cítricos devem ser evitados, como também laticínios, alimentos cozidos e carnes.

Segundo o estudo de Dores-Silva *et al.* (2013), o processo de vermicompostagem se apresentou como mais eficaz na estabilização dos resíduos orgânicos estudados, quando comparado com o processo de compostagem, além de ressaltar que o fertilizante orgânico produzido tem alto grau de estabilização, chama atenção para outro produto que pode ser comercializado: as minhocas.

Devido a maior complexidade e restrições quanto aos resíduos orgânicos, o presente trabalho está focado na compostagem convencional com bactérias.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em uma creche localizada na cidade de Fortaleza, sendo feito o acompanhamento de todo o processo de compostagem, desde o dimensionamento e montagem da composteira, passando pelo monitoramento dos principais parâmetros de controle do processo, com coletas de amostras e análise delas, até a análise final do composto. O tempo de compostagem analisado foi de 90 dias.

4.1. Dimensionamento e montagem da composteira

O dimensionamento das composteiras foi feito tomando como base o volume de resíduos orgânicos produzidos na creche, que apresentou um valor aproximado de 10L de restos de alimento por dia ao longo dos dias úteis (segunda-feira a sexta-feira). A partir deste dado, foram dimensionadas e construídas quatro composteiras aproximadamente cilíndricas, viabilizando a reutilização desses restos de alimentos para a produção de adubo orgânico. Portanto, mensalmente é gerado o volume de:

$$V_{alimentos} = 10 \frac{L}{dia} \cdot 20 \frac{dias}{mês} = 200 L/mês$$

As dimensões da composteira são de 1,0 m de altura por 1,0 m de diâmetro, dessa forma, o volume de uma composteira é de

$$V_{composteira} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 1^2}{4} \cdot 1 = 0,785 m^3 = 785 L$$

A proporção de base úmida dos restos de alimentos produzidos na creche e material estruturante, que no caso é a poda triturada da cidade de Fortaleza, foi a mesma utilizada no estudo de Veras (2018), sendo o valor de 1:1,5, respectivamente. Assim, o volume mensal de material estruturante adicionado na composteira é de:

$$V_{estruturante} = 15 \frac{L}{dia} \cdot 20 \frac{dias}{mês} = 300 L/mês$$

Dessa forma, o tempo que uma unidade de compostagem enche é em torno de:

$$t = \frac{V_{composteira}}{(V_{alimentos} + V_{estruturante})} = \frac{785 \text{ l}}{(200 + 300) \frac{\text{L}}{\text{mês}}} = 1,57 \text{ mês} \cdot 30 \frac{\text{dias}}{\text{mês}} = 47 \text{ dias}$$

Com esse tempo de enchimento, quatro unidades de compostagem foram consideradas como suficientes para atender ao tratamento dos resíduos orgânicos gerados.

A montagem da composteira foi feita manualmente, como o ambiente de estudo é uma creche, o aspecto estético da composteira foi levado em consideração. Optou-se por construir uma composteira fechada, em se tratar de compostagem em pequena escala, foi viável construir nesse formato. O modelo implantado permite a aeração da massa de composto e impede o acesso de roedores a massa de compostagem. As figuras 10, 11 e 12 ilustram, respectivamente, vistas externas, internas e uma visão geral das quatro unidades de compostagem.

Figura 10 – Vista da composteira montada



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura 11 - Interior da Composteira



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura 12 - Composteiras

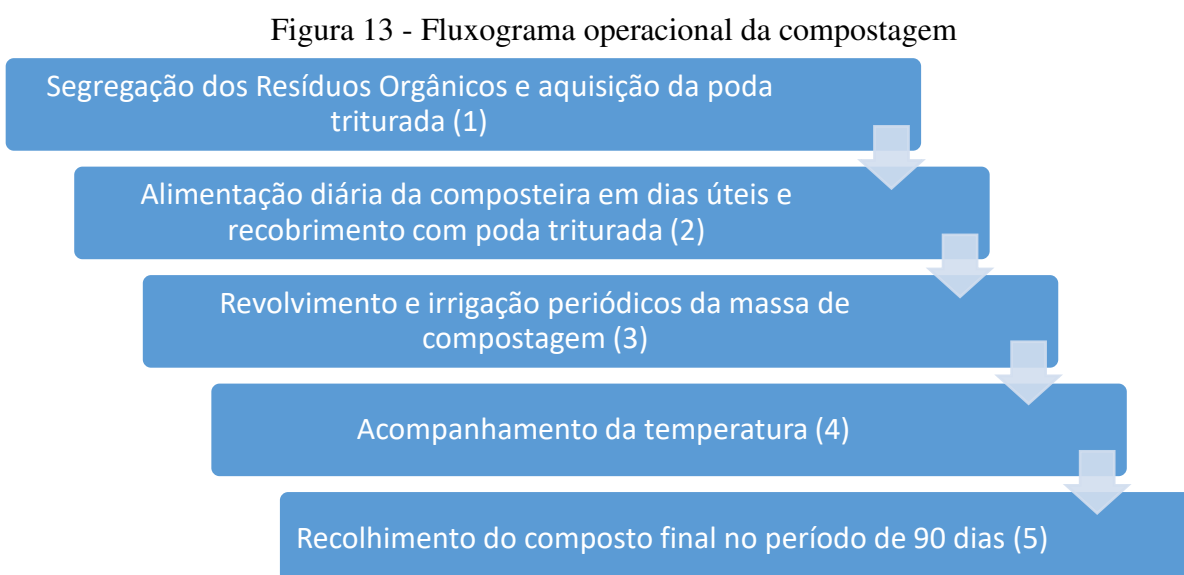


Fonte: Elaborada pelo Autor.

Como descrito anteriormente, as composteiras tem formato aproximadamente cilíndrico e tem alturas de 1,0 m e diâmetros de 1,0 m. Tais dimensões facilitam o revolvimento do composto e recolhimento do produto pronto no final do processo.

4.2. Operação da composteira

Na rotina de operação da composteira, foram realizados treinamentos com os funcionários da creche, orientando tanto aquele que seria responsável pela operação direta da composteira, quanto os funcionários da cozinha com relação a correta separação dos resíduos orgânicos gerados em coletor específico. A figura 13 apresenta o fluxograma de operação da composteira:



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Os restos de alimentos da creche foram armazenados em recipientes de 20 evitando-se a presença de contaminantes para o processo de compostagem, tais como plásticos, embalagens, isopor e outros resíduos. A poda, ou material estruturante, foi adquirida com uma empresa terceirizada da distribuidora de energia local, a qual faz a trituração das podas de árvores localizadas nas vias públicas. A figura 14 mostra o coletor utilizado para acondicionar os restos de alimento, a utilização da sacola plástica é dispensável:

Figura 14 - Armazenamento dos restos de alimento



Fonte: Elaborada pelo Autor.

A alimentação da composteira, como citada anteriormente, foi feita nos dias úteis ao final do expediente, por um funcionário da creche treinado e capacitado para operá-la. Ao iniciar um ciclo de compostagem, uma fina camada de poda triturada, de aproximadamente 10cm, foi adicionada no fundo da composteira; já em suas bordas, foi feita uma camada mais espessa de poda, para reduzir a área de contato com o meio externo e evitar o desenvolvimento de moscas. O alimento foi adicionado no centro da composteira, então, seguiu-se a proporção de 1:1,5 já estabelecida, misturando-se uma parte da poda com o alimento e outra cobrindo-o. As figuras 15, 16 e 17 ilustram, respectivamente, a adição da camada inicial de poda, a alimentação da composteira com restos de alimento e o recobrimento com poda triturada.

Figura 15 - Camada inicial de poda



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura 16 - Adição do resto de alimento na composteira



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura 17 - Adição da poda e recobrimento dos restos de alimento



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Ao cobrir o resto de alimento com poda, de forma que ele não ficasse exposto, preveniu-se que moscas entrassem em contato com o resto de alimento e depositassem seus ovos. Dessa forma, evitou-se uma possível infestação de moscas em decorrência do processo de decomposição. A depender do local, a presença de moscas pode causar repulsa por parte dos clientes da compostagem, visto que causa desconforto. A figura 17 apresenta a mosca doméstica.

Figura 18 - *Musca domestica*



Fonte: Ecolab.

O revolvimento foi feito concomitantemente à irrigação da massa de compostagem. O processo foi realizado três vezes por semana, com o objetivo de evitar o aumento da temperatura acima da média esperada e facilitar a entrada de O_2 nas camadas da leira, evitando zonas de anaerobiose e mau cheiro. Um indicador para necessidade desse processo foi a temperatura próxima aos $70^{\circ}C$. A figura 19 ilustra o processo de revolvimento e irrigação da massa de compostagem.

Figura 19 - Revolvimento e irrigação da massa de compostagem



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Com relação a temperatura, seu acompanhamento foi feito ao longo do processo de compostagem utilizando um termopar modelo GUL Term 180, da marca GULTON. A verificação da temperatura foi importante para certificar-se que as fases da compostagem estavam ocorrendo adequadamente, identificando se a temperatura estava na faixa esperada. A medição da temperatura foi feita no centro da composteira, mergulhando o termopar a uma profundidade de 20cm. As figuras 20 e 21 ilustram, respectivamente, o termopar utilizado e a medição da temperatura:

Figura 20 - Termopar



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura 21 - Medição da temperatura



Fonte: Elaborada pelo Autor.

4.2.1. Problemas e soluções operacionais

Ao longo do processo de compostagem, alguns problemas operacionais foram observados. Com o objetivo de solucionar tais problemas, algumas soluções foram implementadas, as quais tiveram êxito. A tabela 5 ilustra alguns problemas observados e as respectivas soluções:

Tabela 5 - Problemas e soluções operacionais

Problema	Solução
Formação de odores fétidos após alimentação da composteira	Espalhamento adequado dos restos de alimento na composteira, evitando que fossem formados “montes” de alimentos no seu interior, dessa forma, evitando zonas de anaerobiose e, por conseguinte, formação de gases característicos como o sulfeto de hidrogênio (H ₂ S).

Surto de moscas na massa de compostagem	Recobrimento adequado dos restos de alimento com poda triturada, de forma a evitar que a mosca entrasse em contato com o mesmo e depositasse seus ovos. Como também, orientou-se ao responsável pela compostagem que sempre mantivesse a composteira tampada, evitando o acesso das moscas.
---	--

Fonte: Elaborada pelo Autor.

4.3. Monitoramento do processo de compostagem

O monitoramento da compostagem foi feito através da coleta de amostras ao longo do processo. No caso, utilizou-se uma pá de jardinagem para coletar a amostra em quatro pontos, equidistantes, a uma profundidade de aproximadamente 20 cm, sendo armazenadas, à temperatura de 4°C, em um sacos de plástico devidamente etiquetados. As amostras foram levadas para análises no Laboratório de Resíduos Sólidos e Efluentes – LARSE, do Núcleo de Tecnologia e Qualidade Industrial do Ceará – NUTEC. As figuras 22 e 23 mostram, respectivamente, a coleta das amostras e o armazenamento das amostras.

Figura 22 - Coleta da amostra



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Figura 23 - Armazenamento da amostra



Fonte: Elaborada pelo Autor.

As análises do Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT), as quais foram utilizadas para analisar a relação C/N, e Umidade foram realizadas nas amostras coletadas nos períodos de 30, 45, 75 e 90 dias após o início da compostagem. Já a temperatura, foi analisada

ao longo do processo nos momentos em que houveram visitas ao local da compostagem. A tabela 7 apresenta as análises e as respectivas metodologias:

Tabela 6 - Análises e metodologias correspondentes

Análise	Referência
Carbono Orgânico Total	APHA (2017)
Nitrogênio Total	APHA (2017)
Umidade	APHA (2017)

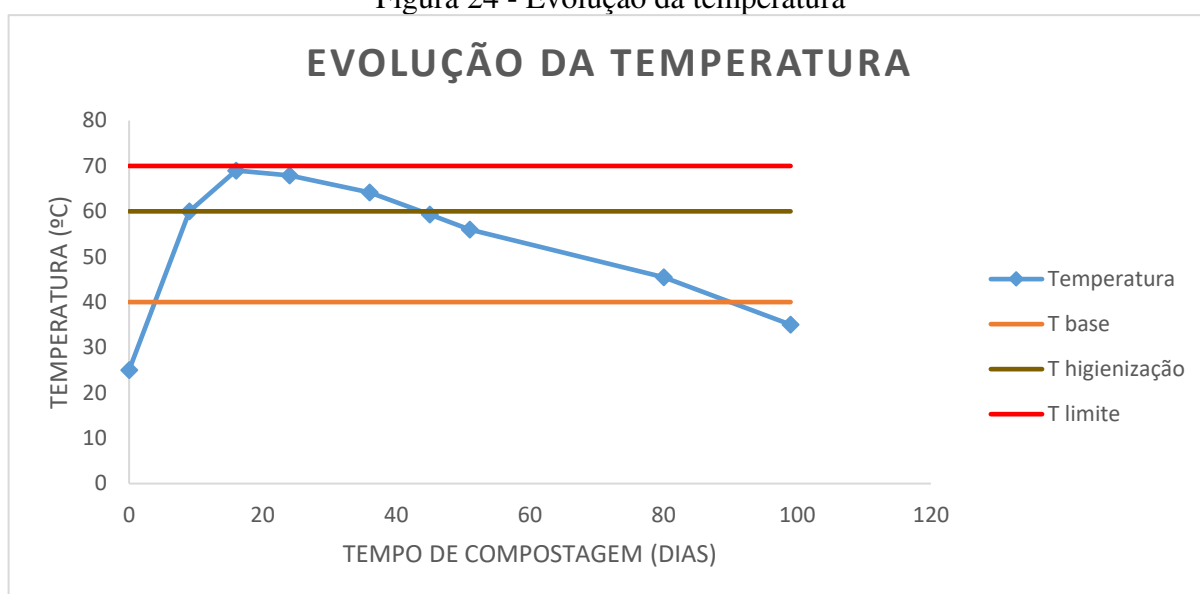
Fonte: Elaborada pelo Autor.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Temperatura

A temperatura foi analisada ao longo do experimento nos momentos de visita a creche para acompanhamento do processo. A figura 24 ilustra a evolução da temperatura ao longo do tempo da compostagem.

Figura 24 - Evolução da temperatura



Fonte: Elaborada pelo Autor.

A título de melhor analisar o processo, outras faixas de temperatura podem ser observadas na imagem 24. A temperatura base de 40°C, a qual indica o início do processo de degradação rápida ou fase termofílica, segundo Andreoli (2001); a temperatura de higienização de 60°C, que é proposta pela resolução CONAMA n°481/2017, como a composteira se configura como um aberto de leiras revolvidas, é necessário que essa temperatura se mantenha por pelo menos quatorze dias; e a temperatura limite de 70°C, que poderia acarretar redução na atividade microbiológica de decomposição da matéria orgânica caso se mantenha por alguns dias na massa de compostagem (KIEHL, 2004).

Na prática observou-se que a leira passou dos 40°C no início da compostagem, o que indica que a fase termofílica ocorreu e se manteve por um bom período, já a fase de humificação ocorreu entre 80 e 100 dias após o início do processo. Com relação a temperatura de higienização, ela foi devidamente atingida e se manteve por mais de quatorze dias, dessa forma, podemos inferir que o composto foi higienizado.

Nos dias em que a temperatura foi acompanhada, não foram observados valores iguais ou superiores a 70°C. Dessa forma, podemos inferir que a temperatura não influenciou negativamente na atividade metabólica dos microrganismos envolvidos no processo.

A temperatura média ao longo do processo de compostagem foi de 53,5 °C, segundo Andreoli (2001) a temperatura média deve se manter entre 55 e 65°C para otimizar a atividade microbiológica, portanto, observou-se que a temperatura média se manteve próxima a essa faixa de valor.

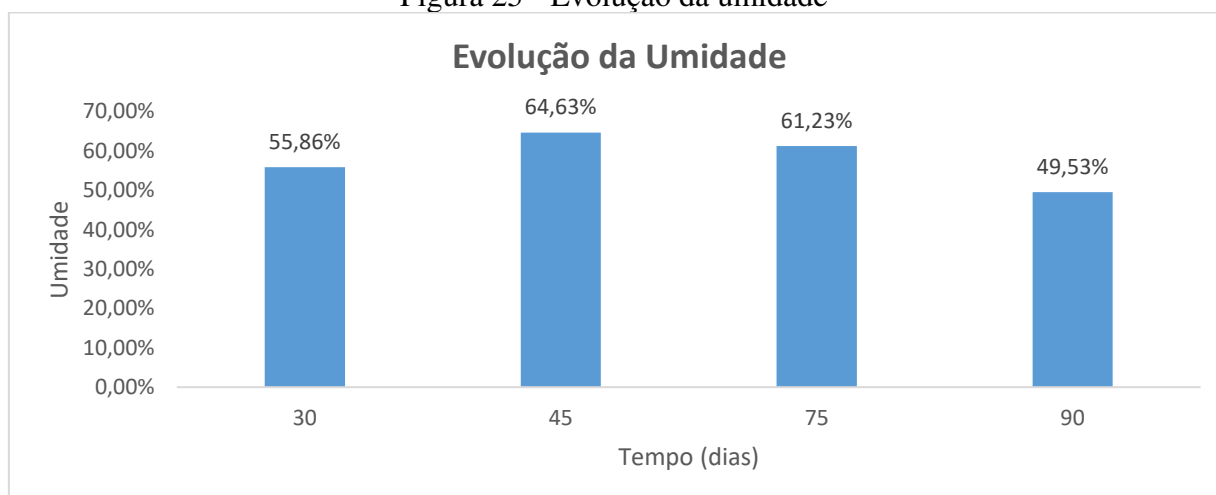
No estudo de Freitas (2016), que utilizou recipientes comumente utilizados na composteira caseira, os quais são classificados como sistemas abertos. Foi observado que a temperatura se manteve acima de 40°C até 71 dias após o início do experimento, e a temperatura se manteve abaixo dos 55°C, indicando a não necessidade do revolvimento da massa de compostagem.

Guidoni *et al.* (2013) utilizou composteiras cilíndricas de 200L com entradas de ar no seu estudo, os autores encontraram valores de temperatura média medidas à meia altura em torno de 30 a 50°C, durante as 10 primeiras semanas de compostagem, utilizando casca de arroz como material estruturante.

5.2. Umidade

A figura 25 ilustra as variações de umidade ao longo do processo de compostagem.

Figura 25 - Evolução da umidade



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Podemos observar que a umidade se manteve aproximadamente na faixa de 50 a 65%. Segundo Andreoli (2001), os valores ótimos de umidade ficam situados entre 50 e 60%, e valores acima de 65% podem influenciar negativamente no processo dificultando a difusão do O₂,

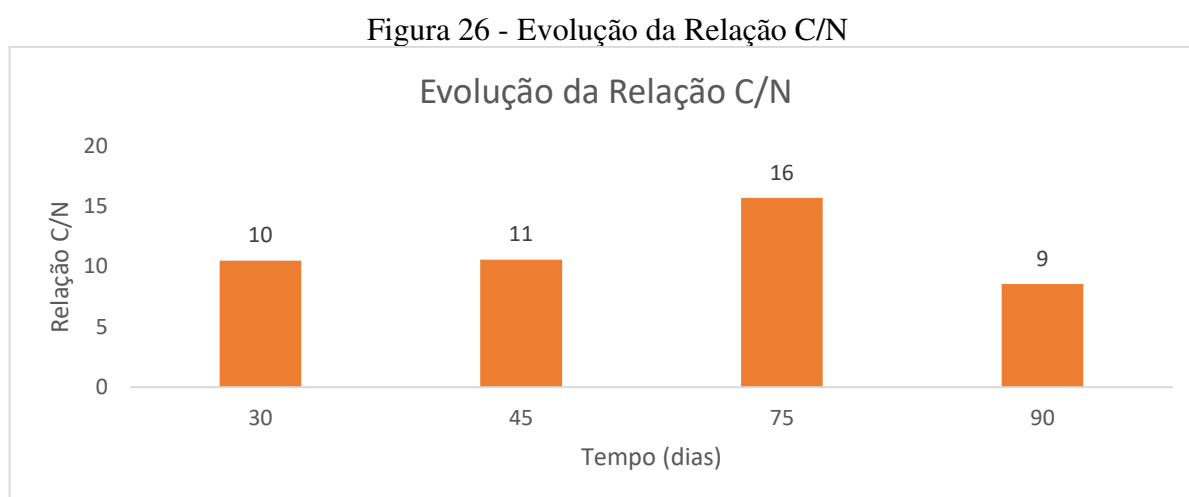
causando zonas de anaerobiose. O processo se manteve próximo a faixa indicada, não sendo observado valores de umidade acima do supracitado, podendo-se inferir que o processo não foi prejudicado.

Kiehl (2004) ressalta que se a umidade apresentar-se com valores inferior a 40%, a atividade microbológica de decomposição na leira poderá se tornar lenta devido a atuação prioritária dos fungos e baixa atividade bacteriana. Não foi observado durante o processo valores de umidade abaixo do ideal, dessa forma, podemos inferir que a atividade de decomposição se manteve adequada.

Conforme a Instituição Normativa nº 61/2020 do MAPA, o valor máximo de umidade para fertilizante orgânico composto sólido é de 50%. No final do processo, a umidade observada foi de 49,53%, viabilizando o composto quanto a esse requisito. Diaz *et al.* (2007, *apud* Veras, 2018) salientam que a o composto deve manter umidade inferior a 50% para facilitar o manuseio, transporte e aplicação no solo.

5.3. Relação C/N

A figura 26 ilustra as variações da Relação C/N ao longo do processo de compostagem:



Fonte: Elaborada pelo Autor.

A análise da relação C/N foi iniciada a partir de 30 dias do processo de compostagem, já apresentando uma relação C/N de 10:1, o que indica, segundo Kiehl (2004), que pode ter ocorrida perda de nitrogênio no composto em decorrência da volatilização da amônia. No es-

tudo de Veras (2018), o autor utilizou poda e restos de alimentos, da mesma forma que o presente estudo, e então foi observado que ambas as classes de resíduos apresentaram baixa relação C/N, portanto, na formação das leiras não foi possível atingir a relação inicial de 30:1, tida como ideal pela literatura.

Ao longo do tempo de compostagem, a relação C/N se manteve abaixo de 20:1. No estudo de Veras (2018), também foram observados valores de relação C/N abaixo de 20:1 para todas as leiras de compostagem, mesmo que alguma delas ainda estivessem em fase de decomposição ativa.

No final do processo de compostagem, aos noventa dias, foi observada uma Relação C/N de 9:1. Segundo Kiehl (2004), o valor de relação C/N próximo de 10:1 indica que o composto atingiu a fase final de humificação. Segundo Fernandes e Silva (1999), independentemente da relação C/N inicial, no final do processo a relação converge entre os valores de 10:1 a 20:1.

Conforme a Instrução Normativa nº 61/2020 do MAPA, a relação C/N máxima estabelecida é de 20:1 para que seja enquadrado e comercializado como fertilizante orgânico, assim, o composto atingiu esse requisito

6. CONCLUSÃO

Com relação a temperatura, foi observado que ela se manteve dentro da média adequada e não foram observados valores que prejudicassem o processo de compostagem, portanto, pode-se inferir que todas as fases do processo foram alcançadas. Levando-se em conta esse parâmetro, infere-se também que o processo de higienização do composto, conforme a Resolução CO-NAMA nº 481/2017, foi atingido. A operação adequada envolvendo revolvimento e irrigação periódica da massa de compostagem provavelmente contribuiu para manter a temperatura do processo adequada.

Quanto a umidade, podemos concluir que a irrigação da massa de compostagem foi feita adequadamente. A média do valor de umidade durante o processo se manteve próximo a estabelecida pela literatura. Possivelmente não foram geradas zonas de anaerobiose e nem redução da atividade microbológica em relação aos teores de umidade. O composto final ficou dentro do limite estabelecido, conforme a Instrução Normativa nº 61/2020 do MAPA.

Tratando-se da relação C/N, desde o início da compostagem, esse parâmetro já apresentou baixos valores, possivelmente houve perda de nitrogênio durante o processo a partir da volatilização da amônia. Apesar disso, ao longo do processo a relação não apresentou grande variação e, no final, o composto apresentou relação de 9:1. Conforme a Instrução Normativa nº 61/2020 do MAPA, o composto estava dentro do limite estabelecido e ficou próximo da faixa de valor estabelecido pela literatura.

Por fim, podemos concluir que esse manual de compostagem, a forma como a composteira foi construída e sua operação, em linhas gerais, foi exitosa. É necessário atentar-se quanto a correta operação e treinamento dos funcionários responsáveis pelo processo. Este trabalho pode servir como referência para empreendimentos implementarem o processo de compostagem de pequena escala *in situ*. Para que o composto fosse comercializado, análises mais detalhadas deveriam ser feitas a fim que esse fosse enquadrado como fertilizante orgânico conforme a Instrução Normativa nº 61/2020 do MAPA.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento**: processamento, reciclagem e disposição final. Curitiba: Prosab, 2001.

ANP. **Resolução nº 886, de 29 de setembro de 2022**. Estabelece a especificação e as regras para aprovação do controle da qualidade do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais, a ser comercializado no território nacional. Brasília, DF, Disponível em: <https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-886-2022-estabelece-a-especificacao-e-as-regras-para-aprovacao-do-controle-da-qualidade-do-biometano-oriundo-de-aterros-sanitarios-e-de-estacoes-de-tratamento-de-esgoto-destinado-ao-uso-veicular-e-as-instalacoes-residenciais-industriais-e-comerciais-a-ser-comercializado-no-territorio-nacional?origin=instituicao>. Acesso em: 12 jun. 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos sólidos - Classificação**. 2 ed. Rio de Janeiro: S.N., 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020**. São Paulo, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13591**: Compostagem. Rio de Janeiro: S.N., 1996.

APHA. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 23th ed. Washington, 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020**. Brasília, 2020

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 481, de 3 de outubro de 2017**. Estabelece Critérios e Procedimentos Para Garantir O Controle e A Qualidade Ambiental do Processo de Compostagem de Resíduos Orgânicos, e Dá Outras Providências. Brasília, 2017.

_____. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático**: manejo de resíduos sólidos urbanos. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento, 2021.

BUDZIAK, Cristiane R.; MAIA, Claudia M. B. F.; MANGRICH, Antonio S.. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. **Química Nova**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 399-403, jun. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422004000300007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/SxNJJsgR58y8D4HhY3JZPNm/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 13 out. 2022.

CICLO VIVO. **Fortaleza inaugura maior usina de produção de biogás com lixo de aterro**. 2018. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/fortaleza-inaugura-maior-usina-produzir-biogas-com-lixo-de-aterro/>. Acesso em: 13 out. 2022.

COOPERBAND, Leslie. **The Art and Science of Composting**: a resource for farmers and compost producers. [S.I.]: University Of Wisconsin-Madison, 2002. 17 p. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=8afc72961543e5fc4011eaf5124f5dac91617318>. Acesso em: 12 jun. 2023.

COSTA, A. R. S. *et al.* O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos. **Revista GEAMA**, Recife, v. 1, n. 2, 30 set. 2015

DORES-SILVA, P. R. *et al.* Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, [S.L.], v. 36, n. 5, p. 640-645, 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422013000500005>.

EMBRAPA. **Perdas e Desperdício de Alimentos. 2018**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-perdas-e-desperdicio-de-alimentos>>. Acesso em: 04 out. 2022.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: Prosab, 1999. 91 p.

FLORIANÓPOLIS (Município). **Lei Ordinária nº 10501, de 08 de abril de 2019**. Dispõe Sobre A Obrigatoriedade Da Reciclagem De Resíduos Sólidos Orgânicos No Município De Florianópolis. Florianópolis, SC.

FREITAS, Luciane Mara Cardoso. **Análise de materiais estruturantes e de recipientes usados para a compostagem doméstica**. 2016. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

FUREDY, C. Reduzindo os Riscos para a Saúde do Uso do Lixo Orgânico Sólido Urbano. **Revista Agricultura Urbana**, n.3, março, 2001.

GOMEZ, Claudius da Costa. Biogas as an energy option: an overview. **The Biogas Handbook**, [S.L.], p. 1-16, 2013. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1533/9780857097415.1>.

GREENHOUSE GÁS PROTOCOL. **Global Warming Potential Values**. [S.I.]: S.N., 2006. Disponível em: https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf. Acesso em: 12 jun. 2023.

GUIDONI, Lucas Lourenço Castiglioni *et al.* Compostagem domiciliar: implantação e avaliação do processo. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 17, n. 1, p. 44-51, jun. 2013.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 4. ed. Piracicaba, SP, 2004.

MARQUISE AMBIENTAL (Fortaleza). **GNR Fortaleza - Gás Natural Renovável**. Disponível em: <https://marquiseambiental.com.br/servicos-e-tecnologia/gnr-fortaleza-gas-natural-renovavel>. Acesso em: 23 nov. 2022.

MASSUKADO, Luciana Miyoko. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal de resíduos sólidos domiciliares.** 2008. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

RISSE, Mark; FAUCETTE, Britt. **Food waste composting:** Institutional and industrial applications. Georgia: University Of Georgia, 2012. 8 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/238772128_Food_Waste_Composting_Institutional_and_Industrial_Applications. Acesso em: 11 maio 2023.

SANTOS, Joana Luísa Dias dos. **Caracterização físico-química e biológica em diferentes laboratórios de produtos obtidos a partir da compostagem de resíduos orgânicos biodegradáveis.** 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ecologia Aplicada, Departamento de Zoologia e Antropologia, Universidade do Porto, Porto, 2007.

SILVA, Hellen Luisa de Castro e *et al.* Gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos do Consórcio do Maciço de Baturité: análise técnica e econômica da geração de biogás por aterro sanitário e usina de digestão anaeróbia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 26, n. 5, p. 855-864, out. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220200155>

SIQUEIRA, Félix Gonçalves de. **Efeito do teor de nitrogênio, inoculantes e métodos de compostagem para cultivo de *Agaricus Blazei*.** 2006. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Microbiologia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

STORCK, Cátia Regina *et al.* Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na alimentação e análise sensorial de preparações. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 537-543, mar. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782013000300027>.

VALENTE, B. S. *et al.* Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, [S.L.], v. 58, n. 224, p. 59-85, 17 set. 2008. Disponível em: <https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/article/view/5074>. Acesso em: 13 out. 2022.

VERAS, Roani Simões. **Compostagem de resíduos de alimentos e podas trituradas de árvores em leiras estáticas como mecanismo de redução de GEE.** 2018. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.