



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

SAYONARA COSTA DE ARAÚJO

**VERMICOMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS: INFLUÊNCIA DA
PROPORÇÃO DO SUBSTRATO DE SOBREVIVÊNCIA**

POMBAL-PB

2016

SAYONARA COSTA DE ARAÚJO

**VERMICOMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS: INFLUÊNCIA DA
PROPORÇÃO DO SUBSTRATO DE SOBREVIVÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. CAMILO ALLYSON SIMÕES DE FARIAS

POMBAL-PB

2016

SAYONARA COSTA DE ARAÚJO

**VERMICOMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS: INFLUÊNCIA DA
PROPORÇÃO DO SUBSTRATO DE SOBREVIVÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. CAMILO ALLYSON SIMÕES DE FARIAS

Aprovado em 18 de maio de 2016:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Camilo Allyson Simões de Farias
(CCTA/UFCG - Orientador)

Prof.^a Dr.^a Jussara Silva Dantas
(CCTA/UFCG - Examinador Interno)

Esp. Anderson Lima dos Santos
(SEMACE/CE- Examinador Externo)

POMBAL-PB

2016

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Jailton Araújo do Nascimento e Ana Maria Oliveira da Costa e a flor mais linda do meu jardim, minha avó, Josefa Maria Araújo, por todo amor e por possibilitarem minha formação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao autor da vida, Deus, pelo seu amor incondicional, por ser meu abrigo seguro nas horas de incerteza e dor, por iluminar meu caminho e minha mente, me guardar, me dar forças para prosseguir e nunca desistir.

Aos meus bens mais preciosos, meus pais, Maria Oliveira da Costa e Jailton Araújo do Nascimento, por todo amor, incentivo, confiança, orações, e por serem meu exemplo de determinação, humildade, coragem e por acreditarem na realização deste sonho, mesmo diante de todas as adversidades.

Aos meus amados irmãos, Sergio Costa de Araújo e Savio Costa de Araújo, por todo amor e carinho. Amarei-vos eternamente.

A minha amada avó, Josefa Maria de Araújo, uma mulher guerreira e amável, por me mostrar o real significado da palavra amor, por todo sacrifício, orações e simplesmente por existir e colorir a minha vida.

Ao meu pequeno príncipe, Enzo Gabriel, por me proporcionar a experiência de ser tia e conhecer uma forma de amor tão pura e singela.

Aos meus familiares, em especial as minhas tias Nara Patrícia Araújo e Marinez Oliveira, por todo apoio, carinho e ajuda.

A minha amiga, irmã, Gabriela Muricy de Souza Silva, por estar comigo durante toda jornada, por todo incentivo, carinho, companheirismo, amor, por fazer minha caminhada mais leve e divertida, pelos momentos alegres, pelo apoio nas etapas difíceis, por segurar minha mão e me ajudar a levantar, mesmo quando não tinha forças, e por me mostrar que realmente um amigo é “uma única alma habitando dois corpos”. Sua amizade é um tesouro que para sempre eu vou guardar.

Ao meu anjo amigo, José Adalberto da Silva Filho, por todo companheirismo, cumplicidade, amor, carinho, por sua alma leve, que em tantos momentos me trouxe paz, por todos os dias e noites de estudo, pela positividade transbordante que me contagiava. “Amigo é coisa pra se guardar debaixo de sete chaves, dentro do coração”. Menino da caneta azul, levar-te-ei no coração por toda minha vida.

As minhas amigas de longa data, Thamara Moraes, Beatriz Nascimento e Cilmara Rozendo, pela amizade e carinho demonstrados mesmo com toda distância. “Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas”.

Aos meus amigos, Aretha Cabral e Lucas Nunes, pelas inúmeras vezes que me ajudaram me dando suporte quando mais precisava, pelo carinho e por todos os momentos compartilhados.

Ao meu amoroso e meigo Layan, e aos meus amigos, Príncipe e Alice, que transformaram momentos tristes em alegres.

À Raissa Dias e Luisa Muricy, pelos anos de convivência e companheirismo.

À Barbara Vieira, Vitório Brito, Laíza Gomes, Guilherme Veloso e Kaio Vinícius, por todos os momentos divertidos.

Ao meu orientador, Camilo Allyson Simões de Farias, pela confiança, paciência, disponibilidade, ensinamentos e por contribuir para meu crescimento profissional e pessoal.

A todos os professores da Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, em especial a José Cleidimário Araújo Leite, por ser uma referência de dedicação e amor à profissão.

Aos meus queridos professores, Luiz Gualberto de Andrade Sobrinho e Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira, pelos ensinamentos, conselhos, oportunidades, que possibilitaram meu crescimento, acima de tudo, como ser humano.

Aos técnicos Emanuel Farias e Gerusia Trigueiro.

Ao professor Pinheiro por contribuir de forma significativa para realização desta pesquisa.

À prof^a Jussara Silva Dantas e ao especialista Anderson Lima dos Santos, pela disponibilidade de participarem da defesa deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha historia.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fases e principais características do processo de vermicompostagem....	21
Figura 2 - Localização dos experimentos: (a) pátio de compostagem e (b) estrutura com cobertura.	34
Figura 3 - Fluxograma das etapas do processo de vermicompostagem dos resíduos agroindustriais.	35
Figura 4 - Resíduos orgânicos utilizados no experimento: (a) cascas de bananas, (b) esterco bovino e (c) grama.	36
Figura 5 - Procedimento adotado para coleta das amostras na pilha.	39
Figura 6 - Sequência das etapas para determinação de sólidos voláteis.	40
Figura 7 - Preparação do substrato de sobrevivência.	41
Figura 8 - Origem das minhocas utilizadas na pesquisa: (a) minhocário da UEPB e (b) espécie <i>Eisenia fetida</i>	42
Figura 9 - Montagem do experimento com adição de minhocas: (a) pesagem dos recipientes; (b) minhocas; e (c) cobertura das bandejas com grama.	43
Figura 10 - Medições de temperatura: (a) termômetro utilizado; e (b) medição da temperatura na unidade de tratamento.	44
Figura 11 - Controle de umidade: (a) balança determinadora de umidade; e (b) correção de umidade nos recipientes.	45
Figura 12 - Monitoramento da condutividade elétrica: (a) pesagem do material; (b) agitação das amostras; e (c) medição da condutividade elétrica.	46
Figura 13 - Procedimento para (a) coleta e (b) peso das minhocas.	47
Figura 14 - Temperaturas médias ao longo da primeira etapa da vermicompostagem.	48
Figura 15 - Valores médios de teor de umidade (%) registrados nos tratamentos.	50
Figura 16 - Blox-pot referente aos valores de pH obtidos na pré-compostagem.	51
Figura 17 - Blox-pot da variação do pH para os tratamentos submetidos a vermicompostagem.	53
Figura 18 - Valores médios de condutividade elétrica em função dos dias de vermicompostagem.	54
Figura 19 - Valores médios de sólidos voláteis observados nas fases do processo de vermicompostagem.	55

Figura 20 - Densidade populacional das minhocas em função dos dias de vermicompostagem.....	56
Figura 21 - Adaptação das minhocas ao tratamento T5: (a) morte; e (b) fuga das minhocas.....	57
Figura 22 - Box-plot da biomassa das minhocas em cada tratamento ao final do experimento.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sistemas e critérios de escalas utilizadas na vermicompostagem.....	25
Tabela 2 - Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.	33
Tabela 3 - Caracterização físico-química dos resíduos sólidos orgânicos utilizados.	37
Tabela 4 - Massa úmida e seca dos resíduos empregados na montagem da pilha. .	37
Tabela 5 - Proporções das misturas do pré-composto e substrato de sobrevivência.	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. GERAL	16
2.2. ESPECÍFICOS	16
3. REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1. OS RESÍDUOS SÓLIDOS	17
3.2. VERMICOMPOSTAGEM	18
3.2.1. Fases da vermicompostagem	20
3.2.2. Parâmetros Intervenientes no Processo	26
3.2.3. Minhocas: Aspectos Gerais	29
3.3. QUALIDADE DO VERMICOMPOSTO FINAL	32
4. MATERIAL E MÉTODOS	34
4.1. LOCAL E DURAÇÃO DO EXPERIMENTO	34
4.2. ETAPAS DO EXPERIMENTO: PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM ...	34
4.2.1. Seleção e Caracterização dos Resíduos Sólidos Orgânicos	36
4.2.2. Trituração, Mistura e Montagem da Pilha	37
4.2.3. Monitoramento da Etapa de Pré-Compostagem: Fase Degradação Ativa	38
4.2.4. Condução do Experimento de Vermicompostagem	41
4.2.5. Monitoramento dos Parâmetros Intervenientes na Fase de Introdução das Minhocas	44
4.2.6. Adaptação e Sobrevivência das Minhocas	46
4.4.7. Análise Estatística dos Dados	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NO PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM	48

5.1.1. Temperatura	48
5.1.2. Teor de Umidade	49
5.1.3. pH	51
5.1.4. Condutividade elétrica	53
5.1.4. Sólidos voláteis	55
5.2. ADAPTAÇÃO E SOBREVIVÊNCIA DAS MINHOCAS	56
5.2.1. Densidade populacional	56
5.2.2. Biomassa das minhocas	58
6. CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

RESUMO

O setor agroindustrial contribui para geração de grandes quantidades de resíduos de natureza orgânica, que, quando manejados de forma inadequada, provocam graves problemas ambientais e sociais. Visando contribuir para mitigação dos danos envolvidos, buscou-se, neste trabalho, avaliar o desempenho da vermicompostagem para bioestabilização de resíduos agroindustriais considerando diferentes proporções de substrato de sobrevivência. A pesquisa foi conduzida em ambiente sob condições semiáridas e, para tal, foram monitorados os seguintes parâmetros: temperatura; umidade; pH; condutividade elétrica; sólidos voláteis; e adaptabilidade e sobrevivência de minhocas da espécie *Eisenia fetida*. Os resultados indicaram que o substrato de sobrevivência, em associação com o pré-composto dos resíduos agroindustriais, proporcionou condições favoráveis à espécie utilizada e a estabilização dos resíduos agroindustriais. A vermicompostagem sem a adição do substrato de sobrevivência, no entanto, mostrou-se inviável, mediante a morte, fuga e perda da biomassa das minhocas.

Palavras-chave: *Eisenia fetida*, compostagem, tratamento biológico, agroindústria, semiárido.

ABSTRACT

The agribusiness sector contributes to generate large amounts of organic wastes. When improperly managed, such residuals cause serious environmental and social problems. In order to mitigate the involved damages, we evaluated the performance of vermicomposting for the bio-stabilization of agro-industrial wastes considering different ratios of survival substrate. The research was conducted in an environment under semiarid conditions and we monitored the following parameters: temperature; humidity; pH; electric conductivity; volatile solids; and adaptability and survival of the earthworm species *Eisenia fetida*. The results indicated that the survival substrate in association with the pre-compost substrate provided favorable conditions for the earthworm species and for the stabilization of agro-industrial wastes. The vermicomposting without survival substrate, however, was not viable, leading to earthworm's death, escape and loss of biomass.

Keywords: *Eisenia fetida*, composting, biological treatment, agribusiness, semiarid.

1. INTRODUÇÃO

O aumento crescente na geração de resíduos sólidos, decorrente do rápido e desordenado crescimento populacional, associado ao alto consumo de produtos de baixa vida útil, é um dos principais problemas enfrentados pela sociedade contemporânea.

O setor agroindustrial é um segmento que embora exerça um papel importante na economia do país, contribui consideravelmente para intensificar a problemática que envolve a destinação dos resíduos sólidos, devido às grandes quantidades geradas (SILVA, 2007; TEDESCO et al., 2011).

Neste tipo de atividade são produzidos, de maneira direta ou indiretamente, vastas quantidades de resíduos orgânicos, tanto de natureza animal quanto vegetal, que, quando alvos de uma gestão ineficiente, tendem a aumentar os riscos para o ambiente e para saúde animal e pública (LOURENÇO, 2014).

A disposição inadequada de resíduos sólidos orgânicos no ambiente gera problemas ambientais e socioeconômicos, tais como: poluição do solo e da água, devido à produção de chorume; poluição do ar, devido à liberação de gases tóxicos; perda expressiva de grande quantidade de recicláveis; proliferação de vetores, como baratas, moscas, ratos e outros animais infectados, que podem comprometer a saúde e a qualidade de vida (MARAGNO, 2005; LUNA et al., 2009; TREVISAM, 2011; ISMAEL et al., 2013).

De acordo com Landgraf et al. (2005) e Pereira Neto (2007), os resíduos orgânicos possuem a característica de biodegradabilidade. Desta forma, o uso de processos eficientes de tratamento destes torna-se bastante vantajoso e atrativo. Entre os métodos utilizados para a reciclagem de materiais orgânicos, pode-se citar a vermicompostagem.

Segundo Lourenço (2010), a vermicompostagem é o processo de tratamento biológico de materiais orgânicos por meio da ação de determinadas espécies de minhocas combinadas com microrganismos. O método é considerado uma das alternativas para resolver economicamente e ambientalmente os problemas referentes à disposição inadequada dos resíduos sólidos orgânicos. O produto final da vermicompostagem constitui-se num excelente fertilizante orgânico, denominado

de húmus de minhoca ou vermicomposto (AQUINO et al., 1994; DOMÍNGUEZ, 2004).

Embora outros processos como a compostagem e a digestão anaeróbia sejam empregados no tratamento de resíduos orgânicos, a vermicompostagem tem despertado interesse principalmente pela qualidade dos produtos finais, menor custo de investimento e operação, minimização da concentração de microrganismos patogênicos e metais pesados em biossólidos, e aceleração do processo de degradação dos substratos orgânicos (LOURENÇO, 2010).

A técnica de vermicompostagem deve ser compreendida como uma atividade complementar e integrada aos sistemas agropecuários e agroindustriais, de tal maneira que os produtos e subprodutos sejam utilizados em sua totalidade (AQUINO et al., 2005).

Loureiro e Aquino (2004) e Nadolny (2009) ressaltam as vantagens decorrentes do emprego do processo de vermicompostagem na reciclagem de substratos orgânicos, como: redução da poluição do ar e da água, evitando-se a contaminação ambiental; diminuição da quantidade de resíduos dispostos no ambiente de maneira não sustentável; aplicação do vermicomposto na fertilização do solo para a agricultura e jardinagem; e melhoria da qualidade de vida e conservação do meio ambiente.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

Verificar a influência da proporção do substrato de sobrevivência das minhocas na vermicompostagem de resíduos sólidos agroindustriais em um ambiente semiárido.

2.2. ESPECÍFICOS

- Definir e caracterizar os resíduos agroindustriais e o substrato de sobrevivência;
- Realizar a pré-compostagem dos resíduos agroindustriais;
- Conduzir a vermicompostagem dos pré-compostos sob diferentes proporções de substrato de sobrevivência;
- Avaliar e comparar o desempenho dos processos propostos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. OS RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a Lei nº 12.305, de agosto de 2010, que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos e dá outras providências, entende por resíduos sólidos:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010, p. 2).

O excesso de resíduos sólidos gerados apresenta-se como um grave problema nas esferas nacional e internacional (SPADER, 2005). O descarte indiscriminado provoca consequências danosas à saúde pública e ao meio ambiente (BRASIL, 2016).

Em conformidade com dados divulgados pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), realizada em 2008, 99,96% dos municípios brasileiros dispõem de serviços de manejo de resíduos sólidos. Entretanto, cerca de 50,80% dos resíduos são dispostos em lixões. Ainda segundo a pesquisa, o Brasil dispõe de uma pequena porcentagem de unidades de triagem de resíduos recicláveis, de compostagem e incineração, correspondendo a 11,56%; 3,79% e 0,61%, respectivamente (IBGE, 2010).

No Brasil, a geração de resíduos sólidos registrou um crescimento expressivo em 2014, um total de 78,6 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 2,9% em relação ao ano anterior, índice que é superior à taxa de crescimento populacional no país no período, que foi de 0,9% (ABRELPE, 2014).

Em agosto de 2010, foi instituída no Brasil a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), com a aprovação da Lei Federal n.º 12.305/2010. Essa política estabelece as diretrizes a serem adotadas quanto à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, sendo a sua aprovação considerada um avanço na busca de um desenvolvimento sustentável. A PNRS integra instrumentos importantes e necessários para enfrentar os problemas ambientais e

socioeconômicos resultantes do manejo indevido dos resíduos sólidos (TRAVISAM 2011; BRASIL, 2016).

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são classificados e podem ser enquadrados nas seguintes classes:

- a) Resíduos classe I – Perigosos: Aqueles que apresentam inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.
- b) Resíduos classe II – Não perigosos: Subdivididos em resíduos classe II e resíduos classe II B:
 - Resíduos classe II A – Não inertes: Aqueles que podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
 - Resíduos classe II B – Inertes: resíduos que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de portabilidade de água.

De acordo com a classificação da referida norma, os resíduos sólidos orgânicos são considerados resíduos de classe IIA, não perigosos e não inertes, devido a sua propriedade de biodegradabilidade.

3.2. VERMICOMPOSTAGEM

A vermicompostagem é considerada uma técnica recente, teve início no período de 1940 a 1950 em Rothamstead, na Inglaterra, a partir de programas de manejo de minhocas (AQUINO et al., 1994).

A princípio foi denominada de vermicultura ou minhocultura, em virtude do caráter comercial (criação e venda de minhocas). A prática não possuía como propósito a produção de húmus de minhoca, designação inicial dada ao produto resultante do processo, bem como a reciclagem de resíduos orgânicos de distintas origens (LORENÇO, 2010).

Segundo Matos (2008), os Estados Unidos foi o primeiro país a demonstrar a viabilidade de criar minhocas em larga escala, através de estudos realizados por Thomas Barret, considerado o "pai da criação de minhocas em cativeiro". Ele

desenvolveu um aprimorado sistema de canteiros na década de 40 e, dessa forma, os EUA ficaram conhecidos como a pátria da minhocultura.

A partir daí, a técnica, ainda denominada de vermicultura, começou a difundir-se para outros países, inicialmente na Itália e, em seguida, para Alemanha, Japão, Austrália e Canadá (MATOS, 2008). Posteriormente, em 1970, os pesquisadores empenharam-se em avaliar o desempenho das minhocas para conversão da fração orgânica dos resíduos em uma forma mais estabilizada (SUSZEK, 2005).

No Brasil, a vermicompostagem teve início no final de 1983, com a chegada de matrizes da espécie *Eisenia fetida*, comumente conhecida como "Vermelhas da Califórnia", advindas da Itália (MATOS, 2008).

Atualmente, a técnica apresenta-se como uma ferramenta de gestão de resíduos sólidos, empregada no aprimoramento de resíduos orgânicos, sendo definida como uma tecnologia de tratamento controlado dos resíduos orgânicos, por meio da ação simbiótica de determinadas espécies de minhocas em conjunto com a fauna microbiana, afetando de maneira positiva e significativa a taxas de degradação dos materiais, além de inviabilizar o grau poluente e contaminante destes (LOURENÇO, 2014).

A vermicompostagem apresenta vantagens quando comparada a outros processos de tratamento biológico, como a compostagem ou a digestão anaeróbica (LOURENÇO, 2010). Vários estudos demonstram a eficácia da vermicompostagem como uma técnica apropriada para bioestabilização de diferentes tipos de resíduos orgânicos (DORES-SILVA, LANDGRAF E REZENDE, 2013a; ROLA E SILVA, 2014; COTTA et al., 2015; VALENTE et al., 2016).

Veras e Povinelli (2004); e Aira e Domínguez (2008) afirmam que a utilização de minhocas acelera os processos de decomposição dos resíduos orgânicos. Oliveira, Costa e Costa (2008); Nadolny (2009); e Baumgarten (2015) verificaram o desempenho de diferentes espécies de minhocas (*Eisenia andrei*, *Eudrilus eugeniae*, *Eisenia fetida*) na degradação de diferentes substratos, encontrando resultados satisfatórios.

Conforme Lourenço (2014), na vermicompostagem, a tendência é reduzir a quantidade de espécies de microrganismos patogênicos. Ensaio realizado pelo autor proporcionaram uma remoção de 99,93% da espécie *Escherichia coli* em lodos provenientes de estação de tratamento de esgotos. A ação das minhocas

proporcionou redução de 98% de coliformes totais em esterco suíno (MONROY et al., 2008). Corrêa, Fonseca e Corrêa (2007); e Silva, Landgraf e Resende (2010) destacaram a vermicompostagem como uma importante ferramenta para reciclagem de lodo de esgoto doméstico, tendo em vista a grande diminuição na quantidade de ovos de helmintos.

Além da minimização dos patógenos, a técnica possibilita a redução de metais pesados, visto que as minhocas acumulam estes nos seus tecidos, mediante as características detritívoras das espécies epígeas, do seu modo de vida e elevada permeabilidade de sua pele, possibilitando a absorção de concentrações alta de determinados metais (MORGAN et al. 2002). Estudos realizados por Ghyasvand et al., (2008); Godoy, Medeiros e Santana (2009); Stevens (2014), confirmam a eficácia do método na remoção de metais pesados.

A ação das minhocas altera significativamente a qualidade e quantidade da composição das substâncias húmicas dos materiais orgânicos de acordo com ensaios de Aquino, Almeida e Silva (1992); Landgraf et al. (1998); Castilhos et al. (2008); e Brighenti, Reis e Reis (2010).

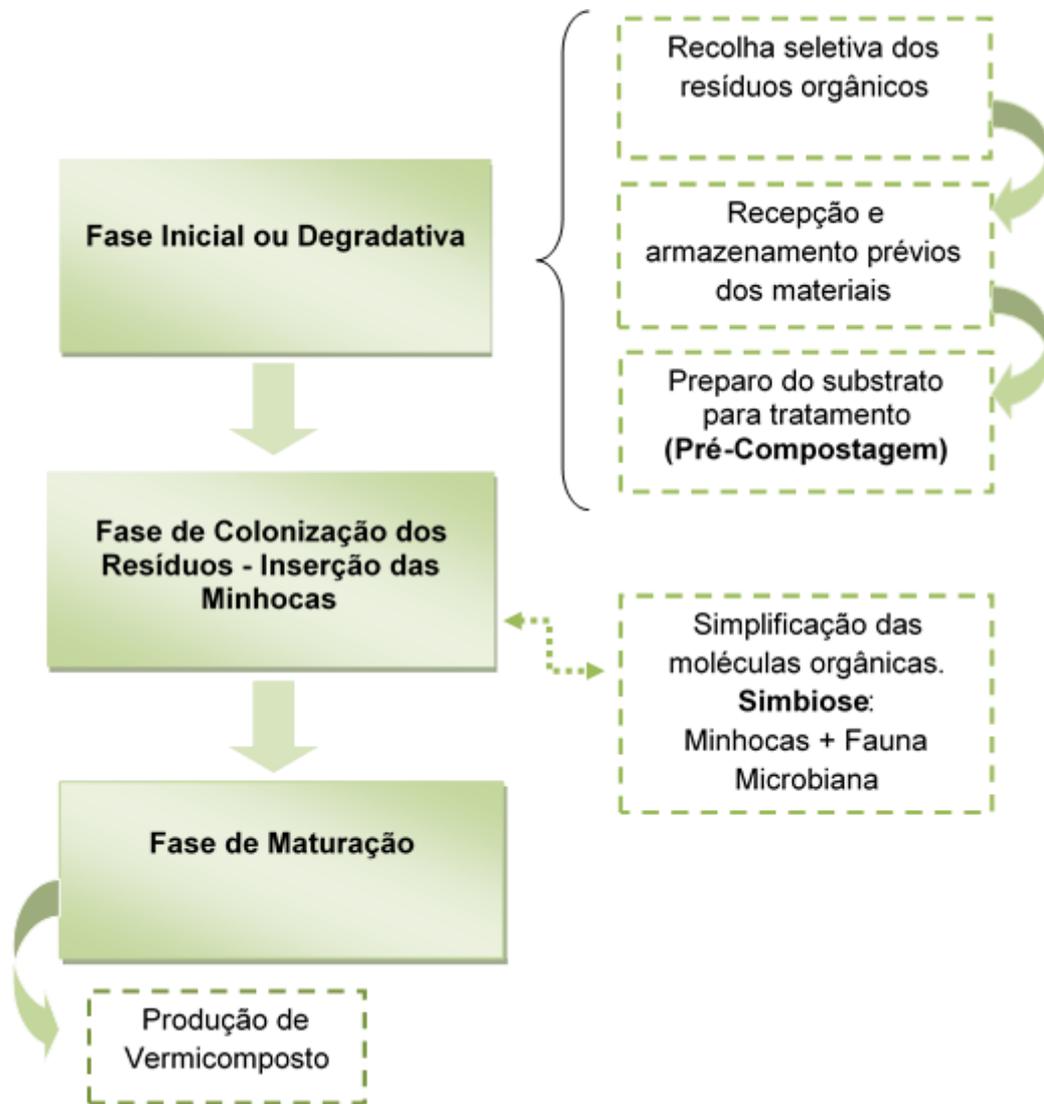
Pesquisas realizadas por Vogel et al. (2001); Steffen et al. (2011); Teodoro et al. (2016); e Antunes et al. (2016) demonstram benefícios resultantes da aplicação do vermicomposto em mudas de diferentes espécies vegetais.

A utilização da vermicompostagem amplia o reconhecimento do método como tecnologia alternativa aos demais processos de tratamento de resíduos orgânicos, principalmente a compostagem, reduzindo o tempo de permanência dos resíduos nas unidades de tratamento e melhorando as características de seus resultados finais. Além disso, aumenta o conhecimento científico, tanto a nível de pesquisa, quanto de averiguação no tratamento de diferentes tipos de resíduos de natureza orgânica (LOURENÇO 2010).

3.2.1. Fases da vermicompostagem

A vermicompostagem abrange uma sequência de operações bem definidas e estruturadas (LOURENÇO, 2010). De acordo com Lourenço (2014), o processo, de modo geral, desenvolve-se em três fases: fase inicial ou degradativa; fase de colonização dos resíduos orgânicos por parte das minhocas; e, por fim, a fase de maturação, conforme ilustrado na FIG. 1.

Figura 1 - Fases e principais características do processo de vermicompostagem.



Fonte: Adaptado de Lourenço (2014).

3.2.1.1. Fase Inicial ou Degradativa

A fase inicial ou degradativa consiste, basicamente, nos procedimentos necessários para o início do processo de vermicompostagem, composta pelas seguintes etapas:

(a) Seleção dos Substratos

Os resíduos orgânicos devem ser selecionados em função da sua disponibilidade, uma vez que os custos podem inviabilizar o processo. A qualidade nutricional do substrato também é essencial, tendo em vista que materiais pobres em nutrientes interferem na atividade das minhocas. Estas demandam uma alimentação balanceada, rica em nitrogênio, fibras e carboidratos (RICCI, 1996; MIGDALSKI, 2001; AQUINO et al., 2005).

Todo resíduo orgânico, seja de origem animal ou vegetal, pode ser utilizado como substrato para as minhocas (EMBRAPA, 2011). Todavia, os estercos representam a principal fonte de alimento, pois são materiais ricos em nitrogênio (RICCI, 1996; AQUINO et al., 2005). Embora estes sejam a matéria-prima normalmente utilizada, uma alta diversidade de resíduos orgânicos, que a princípio não seriam objeto de valorização, podem ser fonte de alimentação e nutrição para as minhocas (LOURENÇO, 2010).

(b) Recepção e Armazenamento Prévios dos Materiais

De acordo com Lourenço (2014), esta operação destina-se a recepção e armazenamento prévio dos materiais orgânicos que serão empregados no processo de vermicompostagem, sendo necessária a instalação de estruturas que evitem a percolação de lixiviados.

(c) Preparo do Substrato – Pré-Compostagem (Fase de Degradação Ativa)

Todos os resíduos orgânicos destinados a vermicompostagem devem ser submetidos a um tratamento prévio, denominado de pré-compostagem ou substrato para vermicompostagem (AQUINO, 2005; LOURENÇO, 2014).

Pereira Neto (2007) define compostagem como sendo um processo biológico de tratamento e estabilização da matéria orgânica, que ocorre na presença de oxigênio, por meio de uma população variada de microrganismos, como bactérias, fungos e actinomicetos. Essa técnica ocorre em fases distintas denominadas de degradação ativa, primeira fase, predominantemente termofílica (45 a 65 °C) no

início do processo, e posteriormente, ocorre a redução da temperatura, sendo essa etapa, chamada de fase de maturação, onde ocorre a humificação do material compostado, necessariamente mesofílica (20 a 40°C).

De acordo com Ricci (1996) e Lourenço (2014), a pré-compostagem dos substratos compreende a fase denominada de degradação ativa, sendo uma etapa extremamente importante, tendo em vista que se inicia a higienização dos materiais, ou seja, redução dos microrganismos patogênicos, bem como evita o processo de fermentação, altamente prejudicial às minhocas devido a produção dos gases tóxicos.

Além disso, a pré-compostagem permitirá a consolidação da fase termofílica, evitando que as minhocas se deparem com temperaturas altas e nocivas à sua sobrevivência. Desse modo, é preciso monitorar adequadamente todos os parâmetros que influenciam no processo.

A compostagem, por ser um processo biológico, é influenciada por todos os fatores que afetam a atividade dos microrganismos, dentre as quais pode-se citar: umidade, temperatura, aeração, pH, relação carbono/nitrogênio (C:N), tamanho das partículas e sólidos voláteis (PEREIRA NETO, 2007; SANTOS, 2007).

A umidade é um fator essencial e deve ser controlado. Teores de umidade inferiores a 40% limitam a atividade microbiológica, diminuindo a velocidade de degradação da matéria orgânica, predominando a ação de fungos, pois as bactérias estarão pouco ativas. Se a umidade for superior a 60%, o material se mostrará molhado ou encharcado e, nesse caso, a água ocupará os espaços vazios e a decomposição será em parte anaeróbia, podendo produzir maus odores, chorume e o retardamento do processo. Assim sendo, o teor prático de umidade para manter o processo de compostagem adequado é cerca de 55% (KIEHL, 2004).

Para o processo de compostagem, a temperatura é considerada um dos fatores mais importante, pois funciona como indicador da eficiência do processo, estando intimamente relacionada com as atividades metabólicas dos microrganismos. O monitoramento da temperatura é fundamental, pois valores superiores a 65°C devem ser evitados por causarem a eliminação dos microrganismos mineralizadores (PEREIRA NETO, 2007).

De acordo com Baratta Júnior (2007), o fornecimento de oxigênio é imprescindível para os microrganismos que atuam na decomposição dos resíduos

orgânicos, sendo a ausência deste, um fator limitante para o processo. O revolvimento deve ser realizado, em média, duas vezes por semana, garantindo a dissipação das altas temperaturas, que ocorrem durante a fase de degradação ativa, além de suprir a demanda de oxigênio requerida pelos microrganismos (KIEHL, 2004).

A compostagem pode ser desenvolvida numa faixa de pH entre 4,5 e 9,5, dado que, valores extremos são regulados pelos microrganismos (KIEHL, 2004; PEREIRA NETO, 2007). O valor final pH do composto final dependerá das matérias-primas utilizadas no início processo de compostagem (SANTOS, 2007).

Conforme Barreira (2005), a relação C:N constitui um fator confiável para o acompanhamento da compostagem. O carbono é fonte básica de energia para as atividades dos microrganismos, enquanto o nitrogênio é necessário para síntese das proteínas (CASTILLO et al., 2010).

O tamanho das partículas tem influência direta na eficiência do método. Segundo Kiehl (2004), quanto menor a partícula, maior a área superficial para a atuação dos microrganismos e, dessa maneira, mais facilitada será a degradação do resíduo. Entretanto, as partículas devem situar-se entre 10 a 50 mm, com vistas a proporcionar a passagem do ar na massa compostada, evitando dessa forma, o desenvolvimento de processos anaeróbios (PEREIRA NETO, 2007).

O controle dos sólidos voláteis apresenta-se como um parâmetro indicativo da eficiência do processo, uma vez que representa o estágio de degradação da matéria orgânica, podendo ser utilizado como indicativo de maturação dos matérias compostados (PEREIRA NETO, 2007).

O monitoramento de todos os fatores mencionados anteriormente garante condições ambientais adequadas para os microrganismos e posterior introdução das minhocas no pré-composto (MORAES 1995; PEREIRA NETO, 2007).

3.2.1.2. Fase de Colonização dos Resíduos – Inserção das Minhocas

Após a pré-compostagem dos materiais as minhocas podem ser adicionadas ao substrato. Todos os resíduos orgânicos são com maior ou menor dificuldade, colonizados pelas minhocas. Esta fase compreende a simplificação das moléculas orgânicas por meio da ação conjunta das minhocas e dos microrganismos,

promovendo alterações nas características físicas, químicas e biológicas do material (LOURENÇO, 2014).

Antes da introdução das minhocas no substrato deve-se definir a escala, unidade de tratamento e o método adequado. De acordo com Lourenço (2010), as escalas empregadas na vermicompostagem dividem-se em pequena, média e grande.

Para atribuição de determinada escala estabeleceram-se os seguintes critérios:

- Escala quantitativa: relaciona a quantidade, geralmente em kg ou t, de resíduos orgânicos processados com o decorrer do tempo (dia, semana, mês ou ano);
- Escala unitária: definida pela área superficial em m², tratado por determinado tempo (dia, semana, mês ou ano), conforme a Tabela 1. Com vistas a facilitar a implantação e operação do sistema utilizado para tratar os resíduos, faz-se necessário ter conhecimento dos dois critérios (LOURENÇO, 2010; LOURENÇO, 2014).

Tabela 1 - Sistemas e critérios de escalas utilizadas na vermicompostagem.

Critérios	Escalas		
	Pequena	Média	Grande
Escala Quantitativa (kg ou t)	<20	20 – 250	> 250
Escala Unitária (m ²)	< 5	0,5 - 3,5	> 3,5

Fonte: Lourenço (2010).

De acordo com o tipo de escala escolhido, determina-se a unidade de tratamento. Segundo Lourenço (2014), na vermicompostagem o termo unidade de tratamento é compreendido como “qualquer sistema de tratamento, independente da sua capacidade e dimensão”. Os canteiros são os sistemas frequentemente empregados para tratamento dos substratos na vermicompostagem, em razão do baixo custo de investimento e da simplicidade de operação (AQUINO et al., 2005).

Canteiros são construídos para tratar resíduos em média e larga escala. Os canteiros devem apresentar no máximo 40 cm de altura, 1 m de largura e comprimento possível ou desejado, sendo adicionado de 1000 a 1500 minhocas por m³ (RICCI, 1996; LANDGRAF, 1998; AQUINO et al., 2005; LOURENÇO, 2010; EMBRAPA, 2011). Já em pequena escala são utilizadas unidades como recipientes

plásticos, caixas de madeira, tonéis ou vermicompostores (LOURENÇO E COELHO, 2010, EMBRAPA, 2011).

Com relação ao método empregado, Lourenço (2014) especifica duas maneiras de proceder, sendo estas:

- Método A: adicionar os resíduos orgânicos numa altura não superior a 0,1 m em uma das metades da unidade de tratamento e, seguidamente, na outra metade, inserir as minhocas contidas em um substrato de sobrevivência a uma densidade de 1 kg/m².
- Método B: colocar um substrato de sobrevivência no interior da unidade de tratamento e, posteriormente, os resíduos orgânicos são inseridos gradualmente em sucessivas camadas.

Denomina-se “substrato de sobrevivência” os materiais facilmente colonizados pelas minhocas e ricos em nitrogênio, como por exemplo, esterco de diferentes origens, borra de café, entre outros.

Após a instalação e início de funcionamento do sistema, os substratos deverão ser cobertos com folhas ou grama seca, papel, papelão, de modo a evitar as perdas por evaporação, penetração dos raios solares e predadores, além de permitir que as minhocas mantenham-se no topo do substrato (LOURENÇO, 2014).

3.2.1.3. Fase de Maturação

Processo no qual se originam substâncias de elevada estabilidade e resistência à decomposição. O tempo de maturação dependerá da quantidade de minhocas e do tempo de permanência do vermicomposto na unidade de tratamento dos resíduos. Um dos indicativos do estado de maturação caracteriza-se pela migração das minhocas para horizontes de resíduos superiores, ocorrendo a mineralização dos nutrientes (LOURENÇO, 2014).

3.2.2. Parâmetros Intervenientes no Processo

As condições ótimas para o processo de vermicompostagem são estabelecidas a partir do controle de fatores físicos (e.g., temperatura, umidade, aeração granulometria etc.) e químicos (e.g., relação C:N, pH, condutividade elétrica, fração biodegradável etc.), conforme mencionado por Lourenço (2014).

3.2.2.1. Físicos

(a) Temperatura

A temperatura constitui-se em um dos parâmetros mais importantes no controle das condições adequadas a sobrevivência das minhocas. Os valores de temperatura visto como ideais encontram-se entre 20 e 25°C, sendo temperaturas inferiores a 5°C e superiores a 37°C consideradas prejudiciais a sobrevivência das minhocas (LOURENÇO, 2014). Por esse motivo, os resíduos orgânicos devem ser previamente compostados (EMBRAPA, 2011).

(b) Umidade

A umidade é fator limitante para o processo, dado que as minhocas realizam as trocas gasosas através da epiderme. Dessa forma, o ideal é manter a umidade entre 60 e 70%. Entretanto, deve-se evitar condições de anaerobiose, resultante do excesso de água (RICCI 1996; AQUINO et al., 2005).

As minhocas consomem significativos volumes de água, sendo a sua presença em quantidades adequadas capaz de protegê-las contra eventuais substâncias tóxicas. Além disso, a água facilita a movimentação das minhocas, que preferem o meio úmido. Com exceção ao parâmetro temperatura, nenhum outro fator determinará a morte das minhocas tão rapidamente quanto a carência de umidade, sendo ainda de extrema importância para manutenção das atividades microbianas (LOURENÇO, 2014).

(c) Aeração

A respiração das minhocas é cutânea, ou seja, feita por meio da pele, sendo o oxigênio um elemento indispensável para manutenção de sua atividade, bem como dos microrganismos aeróbios que atuam em conjunto com as mesmas na conversão da matéria orgânica em uma forma mais estável. O oxigênio, na presença de água, é difundido e absorvido pela cutícula da pele destes animais, liberando-se dióxido de carbono (MATOS, 2008; LOURENÇO, 2014).

Na vermicompostagem, ao contrário da compostagem, não há necessidade de reviramento para introdução de oxigênio, uma vez que as minhocas ao se movimentarem no substrato ou solo promovem a aeração (RICCI 1996; AQUINO et al., 2005).

(d) Granulometria

O tamanho das partículas dos resíduos também exerce grande influência nos processos de vermicompostagem. A redução das partículas, por meio da trituração (tamanho ideal entre 10 e 50 mm), possibilita o aumento da superfície específica, acelera as taxas de degradação dos materiais tanto pelas minhocas quanto pela flora microbiana, reduz a compactação do material e aumenta a capacidade de aeração, (PAREIRA NETO, 2007; COTTA et al., 2015).

3.2.2.2. Químicos

(a) pH

Os materiais que apresentam pH ligeiramente ácido, entre 5,5 e 6,5, são considerados ideais para as minhocas. No entanto, estes indivíduos toleram uma faixa entre 5,0 e 9,0 (GARCIA e ZIDKO, 2006; LOURENÇO, 2010).

(b) Condutividade Elétrica

Segundo Lourenço (2014), valores de condutividade elétrica retratam a concentração de nutrientes presentes nos resíduos, podendo elevadas quantidades indicar um meio salino. Lourenço (2010) afirma que o valor máximo aceitável de condutividade elétrica, que não provoca efeito adverso à atividade das minhocas, corresponde a 7,8 dS m⁻¹, sendo 2,5 dS m⁻¹ considerado ótimo (LOURENÇO, 2014).

(c) Sólidos Voláteis

A biodegradabilidade dos materiais orgânicos é verificada normalmente por meio do conteúdo de sólidos voláteis (LOURENÇO, 2014). Através do monitoramento

destes, observa-se o estágio de degradação da matéria orgânica. Com o decorrer do processo o percentual de sólidos tende a decrescer, aumentando-se os percentuais de sólidos fixos (PEREIRA NETO, 2007; QUEIROZ, 2007).

(d) Relação C:N

O tempo de decomposição dos resíduos está diretamente ligado à relação carbono/nitrogênio (COTTA et al., 2015). Dos vários elementos necessários a atividade dos microrganismos e minhocas, o carbono e o nitrogênio são os mais importantes (LOURENÇO, 2010). O carbono é fonte básica de energia e essencial para o crescimento celular. Já o nitrogênio, como descreve Lourenço (2014), é essencial para a síntese de proteínas. Sendo o corpo das minhocas constituído por 65% de proteínas, as mesmas carecem de grandes quantidades de nitrogênio em sua alimentação (AQUINO et al., 2005).

De acordo com Lourenço (2014), no processo de vermicompostagem, a relação C:N satisfatória deve situar-se entre 20:1 e 25:1. Entretanto, a relação poderá variar em função das características dos resíduos utilizados.

Valores de relação C:N inferiores a 15:1 devem ser evitados, pois podem favorecer um crescimento microbiológico acelerado, com a rápida degradação dos resíduos, aumento da temperatura para valores termofílicos baixos, e consumo excessivo de oxigênio com liberação de amoníaco, que quando associado à água levará a produção de amônia. A amônia é considerada tóxica para as minhocas em concentrações acima de 1000 mg kg⁻¹. Relações C:N também não devem ser superiores a 30:1, pois pode resultar numa futura ausência de nitrogênio e promover uma redução considerável no peso das minhocas (LOURENÇO, 2014).

3.2.3. Minhocas: Aspectos Gerais

3.2.3.1. Breve Histórico

A importância das minhocas para os ecossistemas terrestres foi reconhecida desde antiguidade. Aristóteles em 384-322 a.C., já considerava as minhocas como “intestinos da terra” (Lourenço 2010). No antigo Egito, aqueles que as maltratassem eram punidos com pena de morte. Os governantes egípcios da época reconheciam

a importância das minhocas na transformação de toneladas de matéria orgânica depositados às margens do rio Nilo em húmus (SODRÉ, 1998; MIGDALSKI, 2001; MATOS, 2008).

Charles Darwin, naturalista, pai da teoria da “Evolução das Espécies”, dedicou 40 anos de sua vida a pesquisas sobre minhocas, publicando em 1881 o livro intitulado: “A Formação do Húmus Através da Ação das Minhocas”. Neste livro, Darwin afirma que “*o arado é uma das invenções mais antigas e preciosas da humanidade, mas, antes que o homem existisse, a terra já era arada pelas minhocas*”. O mesmo é considerado o primeiro a comprovar a eficácia destas na reciclagem da matéria orgânica e fertilidade do solo, além de estudar sua biologia (MIGDALSKI, 2001; LOURENÇO, 2010; LOURENÇO, 2014).

3.2.3.2. Biologia e Comportamento das Minhocas

As minhocas são animais pertencentes ao Filo *Annelida* e a Classe *Oligochaeta*, que abrange os vermes anelados, tendo os seus corpos divididos em anéis ou segmentos. Elas apresentam trato digestivo adequado a materiais orgânicos em decomposição (MIGDALSKI, 2001).

Em termos de classificação, as minhocas divididas em epígeas (espécies de superfície, adaptadas a resíduos orgânicos de origem animal e vegetal em decomposição nos horizontes do solo), anésicas (comumente conhecidas como “minhocas da terra”, movimentam-se em direção vertical, alimentando-se de resíduos decompostos na superfície ou transportando-os para o interior do solo) e endógeas (usam como *habitat* prolongadas cavidades horizontais e são consideradas espécies unicamente de profundidade, não adaptadas à criação em cativeiro).

Dentre as cerca de 8.000 espécies de minhocas citadas na literatura, poucas podem ser criadas em cativeiro (MIGDALSKI, 2001; BLAKEMORE, 2006; MATOS, 2008, LOURENÇO, 2014). A *Eisenia fétida*, vulgarmente conhecida como Californiana, Vermelha da Califórnia ou Minhoca Zebrada do Estrume, destaca-se das demais espécies pela sua rápida taxa de crescimento e de multiplicação, e pelo fato de adaptar-se bem à criação em cativeiro, a processos controlados e a diferentes tipos de resíduos (DUTRA, 2001; OLIVEIRA, COSTA e COSTA, 2008).

Embora de aspecto aparentemente simples, a minhoca é mais complexa do que se imagina. Elas apresentam uma organização física avançada e habitam facilmente ambientes ricos em matéria orgânica parcialmente decomposta e que apresentam uma pequena camada mais úmida (VIEIRA, 1997; SODRÉ, 1998).

Estruturalmente, a minhoca é formada por tubos externos e internos, separados por uma cavidade geral denominada de celoma, que é preenchida pelo líquido celomático. Este líquido apresenta funções de defesa, fagocitose e nutritivas (MIGDALSKI, 2001), funcionando ainda como um tipo de esqueleto hidrostático que permite contrações musculares e ajuda na movimentação (SODRÉ, 1998). A minhoca detém uma força capaz de deslocar obstáculos 60 vezes superior ao seu próprio peso (MATOS, 2008).

De acordo com Lourenço (2014), as minhocas são seres que exibem forte sensibilidade à luz solar ou artificial. Não possuem olhos nem ouvidos, entretanto, dispõem de células lenticulares fotossensíveis bastante desenvolvidas localizadas na pele, por meio da qual percebem a luz e o som. O tato é bastante desenvolvido, permitindo as mesmas captar vibrações, detectar predadores, prevenir-se de agressões (estresses) ambientais e selecionar alimentos e parceiros para acasalamento (MATOS, 2008).

O sistema digestivo de uma minhoca é considerado completo, constituído de tubo longo que percorre seu corpo desde a boca até o ânus. De forma mais detalhada, o sistema digestivo da minhoca é composto por boca, faringe, esôfago, papo, moela, intestino e ânus (SODRÉ, 1998).

De acordo com Migdalski (2001) e Matos (2008), as minhocas apresentam ainda sistemas: nervoso (composto por um cérebro rudimentar), respiratório (respiração cutânea retirando oxigênio do ar e do interior do solo), circulatório (formado por um vaso dorsal e outro ventral conectado por vasos laterais que envia sangue aos capilares e órgãos) e excretor (formados por órgãos especiais, denominados de nefrídios).

As minhocas são consideradas hermafroditas incompletos, uma vez que, mesmo apresentando dois sexos, necessitam de um parceiro para o acasalamento. O acasalamento ocorre durante todo o ano e preferencialmente à noite (LOURENÇO, 2014). Uma minhoca poderá viver entre dois e três anos se mantidas em condições adequadas de umidade, temperatura, nutrientes e espaço. Um único

indivíduo poderá multiplicar-se 256 vezes a cada seis meses, principalmente, as espécies *Eisenia fetida* e *Eisenia andrei*, conforme descreve Lourenço (2010) e Lourenço (2014).

Embora bem estruturadas, as minhocas não possuem mecanismos de defesa ou ataque (LOURENÇO, 2014). Desse modo, deve-se ter o devido cuidado com a sua proteção contra predadores. O principal predador das minhocas é a formiga carnívora, sendo também ameaçadas por sanguessugas, sapos, aves, centopeias e outros (AQUINO et al., 2005).

3.3. QUALIDADE DO VERMICOMPOSTO

O vermicomposto é considerado um fertilizante orgânico de acordo com o Decreto Federal n.º 4.954/2004, que regulamentou a Lei n.º 6.894/1980. Este decreto define fertilizante orgânico como sendo:

Produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais (BRASIL, 2004, p.2).

De acordo com a Instrução Normativa (IN) n.º 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que considerou o disposto no Decreto n.º 4.954/2004, os fertilizantes orgânicos simples, mistos e compostos deverão atender a especificações mínimas para comercialização (BRASIL, 2009). As garantias previstas para comercialização do vermicomposto, para posterior aplicação no solo, podem ser visualizadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

Vermicomposto Classes A, B, C, D		
Parâmetros Avaliados (Garantia)	Valores Mínimos	Valores Máximos
Umidade	-	50%
Nitrogênio Total	1%	-
Carbono Orgânico	10%	-
CTC*	Conforme declarado	
pH	6,0	-
Relação C/N	-	14:1
Outros nutrientes	Conforme declarado	

(*É obrigatória a declaração no processo de registro de produto).

Fonte: Anexo III da Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009 do MAPA.

Os fertilizantes são classificados em Classe A, B, C ou D em função dos materiais utilizados em sua produção, conforme descrito no Anexo I da IN/MAPA n.º 25/2009. Ainda conforme esta instrução, no inciso II do Art. 2.º, os resíduos agroindustriais podem ser classificados como Classe A, ou seja:

Fertilizante orgânico que, em seu processo, utiliza matéria-prima de origem vegetal ou animal de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, ocasionando em produto de utilização segura na agricultura (BRASIL, 2009, p. 2).

O vermicomposto, uma vez dentro das especificações legais, representa excelente condicionador do solo, favorecendo especialmente a melhoria das propriedades físicas como agregação das partículas do solo, infiltração de água, entre outros (AQUINO et al., 2005). Além disso, podem fornecer os nutrientes necessários ao desenvolvimento e crescimentos das plantas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LOCAL E DURAÇÃO DO EXPERIMENTO

O presente estudo foi realizado no Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Câmpus de Pombal - PB. O experimento ocorreu durante o período de 26 de fevereiro a 30 abril de 2016, totalizando 65 dias.

O processo de vermicompostagem foi conduzido em dois locais, conforme mostrado na FIG. 2: (a) pátio de compostagem do Laboratório de Resíduos Sólidos (LABRES), utilizado para execução da pré-compostagem dos resíduos orgânicos; e (b) ambiente protegido, empregado para efetivação da segunda etapa do experimento, com as minhocas. As estruturas localizam-se na área externa da Central de Laboratórios II, sendo as mesmas pertencentes ao CCTA/UFCG.

Figura 2 - Localização dos experimentos: (a) pátio de compostagem e (b) estrutura com cobertura.

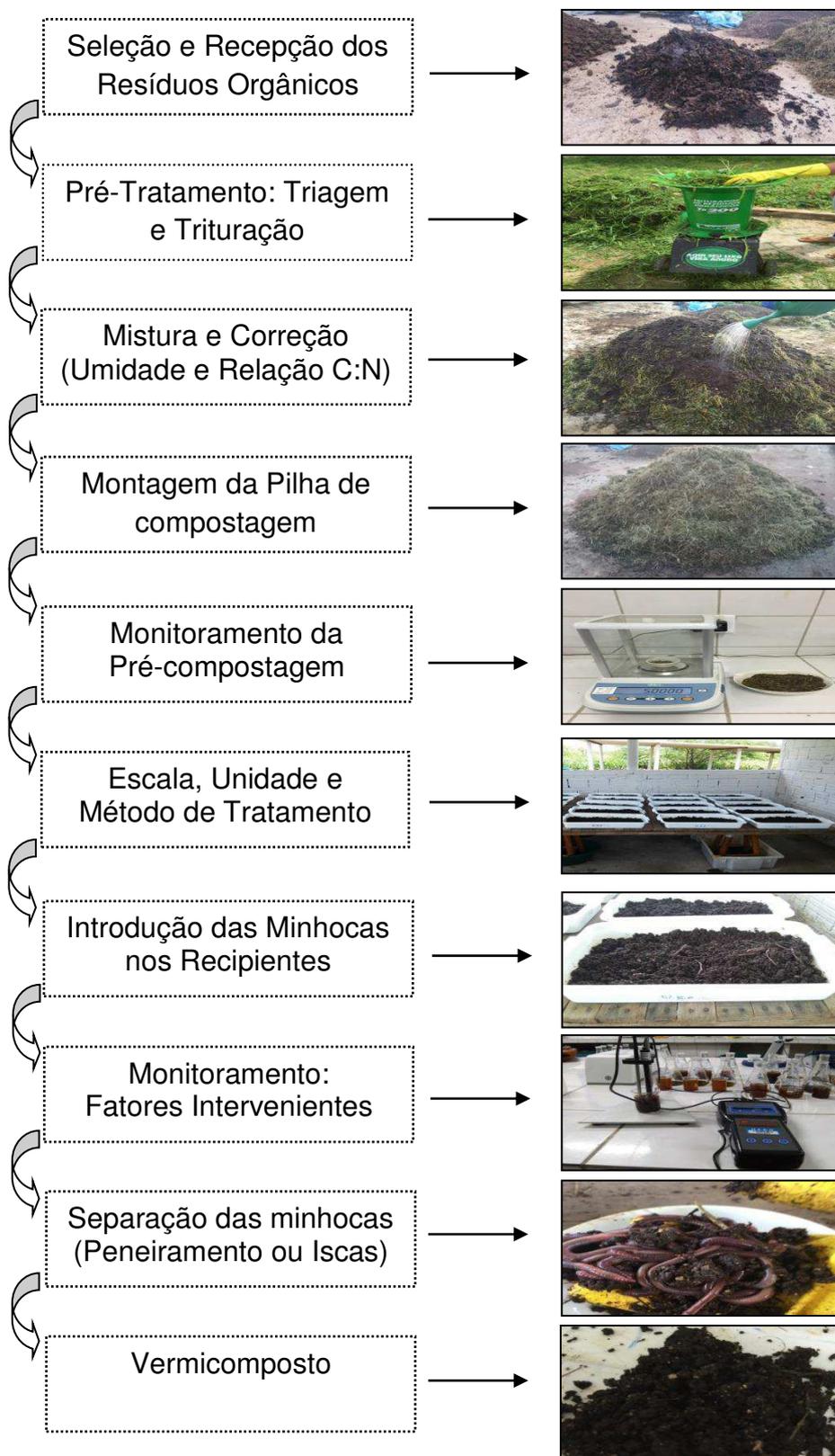


Fonte: LABRES, 2016.

4.2. ETAPAS DO EXPERIMENTO: PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM

Na FIG. 3, apresenta-se o fluxograma com as etapas executadas durante o período de realização do experimento.

Figura 3 - Fluxograma das etapas do processo de vermicompostagem dos resíduos agroindustriais.



4.2.1. Seleção e Caracterização dos Resíduos Sólidos Orgânicos

Os resíduos sólidos orgânicos empregados neste estudo consistiram de cascas de bananas, provenientes da indústria de Doce Diana, localizada em Pombal – PB; esterco bovino, adquirido em uma propriedade rural da região; e restos de capinação, obtidos no Câmpus Universitário da UFCG em Pombal - PB (FIG. 4). Os resíduos orgânicos utilizados foram selecionados mediante sua disponibilidade na região, visto que a geração destes é bastante relevante e na maioria das vezes não possuem uma destinação final adequada.

Figura 4 - Resíduos orgânicos utilizados no experimento: (a) cascas de bananas, (b) esterco bovino e (c) grama.



Fonte: LABRES, 2016.

Para caracterização físico-química dos resíduos agroindustriais utilizados, as amostras coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Análises de Solo e Água do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), Câmpus de Sousa, com intuito de se analisar: nitrogênio total, carbono orgânico, fósforo, potássio e relação C:N. A umidade foi determinada no LABRES/UFCG por meio de balança determinadora de umidade. O percentual de matéria orgânica foi obtido através da multiplicação do valor de carbono orgânico pelo fator 1,724 (EMBRAPA, 2009). Os resultados encontram-se detalhados na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização físico-química dos resíduos sólidos orgânicos utilizados.

Parâmetros	Cascas de Bananas	Esterco Bovino	Grama
Nitrogênio Total (%)	0,52	1,52	1,84
Carbono Orgânico (%)	25,48	22,3	44,23
Fósforo (%)	0,15	0,65	0,45
Potássio (%)	2,32	0,37	2,15
Relação C/N	49,00:1	15,00:1	24,33:1
Umidade (%)	83,11	44,54	37,34
Matéria Orgânica (%)	43,93	38,45	64,37

4.2.2. Trituração, Mistura e Montagem da Pilha

Antes do início do processo de pré-compostagem, os resíduos foram submetidos à triagem e correção do tamanho das partículas. Os mesmos foram triturados, com auxílio de triturador de resíduos orgânicos, com a finalidade de adequar os diâmetros para valores entre 10 a 50 mm, permitindo desse modo, uma maior superfície de contato para atuação dos microrganismos. Realizado a trituração, iniciou-se a mistura dos materiais. Na Tabela 4 apresentam-se as massas úmidas e secas dos resíduos utilizados na montagem da pilha.

Tabela 4 - Massa úmida e seca dos resíduos empregados na montagem da pilha.

Massas	Resíduos Orgânicos			
	Cascas de Banana	Esterco Bovino	Grama	Mistura
Úmida (kg)	63,23	202,13	69,00	334,36
Seca (kg)	52,55	90,03	44,42	187,00

Com as proporções das massas úmidas dos resíduos, buscou-se atender a relação C:N ideal citada na literatura, como sendo entre 25:1 e 35:1 (PEREIRA NETO, 2007). Entretanto, em virtude das características de composição química observadas e da disponibilidade de resíduos para montagem da pilha, a relação inicial estabelecida foi de 18:1. A relação C/N foi calculada por meio da equação 1:

$$R = \sum_{i=1}^N \frac{\%C_i \cdot ms_i}{\%N_i \cdot ms_i} \quad (1)$$

Onde:

R = relação carbono nitrogênio desejada;

% C_i = porcentagem de carbono do material i ;

% N_i = porcentagem de nitrogênio do material i ;

ms_i = massa seca do material i em kg.

A pilha de compostagem montada, caracterizada como compostagem em pequena escala (PEREIRA, 2013), apresentou geometria inicial igual a 1,18 m de diâmetro e 1,00 m de altura, com 334,36 kg de massa úmida.

4.2.3. Monitoramento da Etapa de Pré-Compostagem: Fase Degradação Ativa

4.2.3.1. Temperatura

Para a medição das temperaturas, realizadas diariamente no final da tarde e para toda a fase de degradação ativa, utilizou-se um termômetro de mercúrio graduado de -10°C a 150°C, com comprimento de 26 cm. O termômetro era introduzido na massa de resíduos em três pontos distintos: base, centro e topo da pilha. A temperatura considerada foi a média das temperaturas nos três pontos.

4.2.3.2. Aeração

O processo de aeração foi realizado através do revolvimento manual da pilha, sendo efetuado a cada três dias, com o intuito de proporcionar a renovação do oxigênio e a dissipação das altas temperaturas.

4.2.3.3. Amostragem da Pilha

Ao fim do revolvimento, retirava-se amostras da pilha conforme instruções da Embrapa (2009), que estão ilustradas na FIG. 5. O material era coletado por meio de um amostrador (tubo de plástico cortado longitudinalmente formando um chanfro)

em três pontos da pilha (topo, centro e base) e, em seguida, a amostra era transferida para o pátio (FIG. 5a).

Este procedimento foi repetido em diferentes pontos, combinando-se as amostras de modo a formar um monte de base circular (FIG. 5b). Na sequência, a amostra era reduzida através do quarteamento manual, até se obter quantidade necessária para realização das análises (FIG. 5c). O material foi seco a temperatura ambiente por 24h. Posteriormente, encaminhava-se as amostras ao LABRES para determinação da umidade, pH e sólidos voláteis.

Figura 5 - Procedimento adotado para coleta das amostras na pilha.



Fonte: LABRES, 2016.

Os parâmetros umidade, pH e sólidos voláteis foram monitorados a cada três dias, sempre nos dias de reviramento. As análises de umidade e pH foram feitas em triplicata. Já as de sólidos voláteis foram conduzidas com seis repetições, visando obter uma maior confiabilidade nos resultados.

4.2.3.4. Umidade

O valor de umidade foi estabelecido por meio de balança determinadora de umidade, modelo MARTE - ID50, sendo realizada a correção de umidade da pilha logo após a determinação da quantidade de água a ser adicionada ou retirada. Quando necessário, adicionava-se água na pilha com auxílio de um regador com capacidade para 10 litros. Em caso de excesso de umidade, espalhava-se a massa compostada no pátio para facilitar a evaporação do excesso.

4.2.3.5. pH

O pH foi analisado segundo a metodologia proposta pela Embrapa (2009), na qual pesava-se 10 gramas da amostra e, em seguida, adicionava-se 50 ml de água deionizada. Essa mistura era agitada durante cinco minutos em um agitador horizontal a 220 rpm. Após esse procedimento, foram feitas as medições por meio de um pHmetro de bancada, Modelo LUCADEMA MPA- 210.

4.2.3.6. Sólidos Voláteis

Os sólidos voláteis foram determinados de acordo com o método descrito pela Embrapa (2009), onde pesava-se cinco gramas da amostra, em cápsula de porcelana previamente tarada (FIG. 6a) e, em seguida, encaminhava-se para a estufa com temperatura a 105°C, até obtenção de peso constante (FIG. 6b). Na sequência, transferia-se a amostra para um dessecador até o alcance da temperatura ambiente para posterior pesagem. Logo após, a amostra foi transferida para a mufla, onde foi aquecida a 550°C até a constância de massa (FIG 6c). Posteriormente, o material foi colocado no dessecador e depois pesado.

Figura 6 - Sequência das etapas para determinação de sólidos voláteis.



Fonte: LABRES, 2016

Os sólidos voláteis (SV) em porcentagem foram calculados por meio da Equação (2):

$$SV (\%) = 100 \frac{(M_{105^{\circ}C} - M_{550^{\circ}C})}{M_{105^{\circ}C}} \quad (2)$$

em que: $M_{105^{\circ}\text{C}}$ = massa a 105°C ; e $M_{550^{\circ}\text{C}}$ = massa a 550°C .

4.2.4. Condução do Experimento de Vermicompostagem

Após 30 dias da pré-compostagem, parte do material foi destinado ao tratamento com adição das minhocas, sendo definida escala, sistema de tratamento e método.

A vermicompostagem foi conduzida em pequena escala, mediante a quantidade de material destinado ao tratamento, conforme o critério definido por Lourenço (2010). A unidade de tratamento empregada para continuação do processo de bioestabilização dos resíduos orgânicos agroindustriais foram recipientes plásticos, tendo estes as seguintes dimensões: $37 \times 27 \times 7$ cm, correspondendo a comprimento, largura e altura, respectivamente.

O método utilizado foi adaptado do procedimento descrito por Lourenço (2014), sendo o composto, obtido por meio da pré-compostagem, misturado ao substrato de sobrevivência (SS), que no caso deste estudo foi o esterco bovino (adquirido em uma propriedade próxima ao CCTA/UFCG). Baseado na metodologia recomendada por Landgraf et al. (1999), o substrato foi revolvido e lavado com água durante dez dias, conforme ilustrado na FIG. 7.

Figura 7 - Preparação do substrato de sobrevivência.



Fonte: LABRES, 2016.

4.2.4.1. Matriz de Minhocas

As minhocas foram adquiridas na Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Câmpus de Catolé do Rocha - PB (FIG. 8a). A espécie cedida foi a *Eisenia fetida* (FIG. 8b). As minhocas selecionadas eram animais adultos em plena atividade reprodutiva, caracterizada pela presença do clitelo.

Figura 8 - Origem das minhocas utilizadas na pesquisa: (a) minhocário da UEPB e (b) espécie *Eisenia fetida*.



Fonte: LABRES, 2016.

4.2.4.2. Delineamento Experimental e Tratamentos

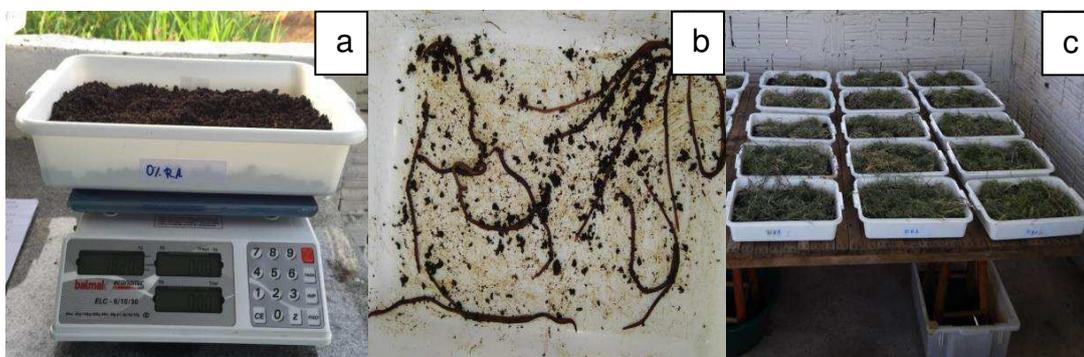
O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por cinco tratamentos com três repetições, totalizando 15 parcelas experimentais. As unidades de tratamento foram preenchidas considerando-se diferentes proporções das misturas de substratos (pré-composto + substrato de sobrevivência), de modo que a massa seca total em cada recipiente fosse igual a 0,88 kg e a umidade em base úmida mantida em 60%. Desta forma, cada recipiente foi preenchido por uma massa úmida final igual a 2,20 kg. As proporções da massa seca total entre pré-composto e substrato de sobrevivência para cada tratamento estão detalhadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Proporções das misturas do pré-composto e substrato de sobrevivência.

Tratamentos	Proporções em massa seca (%)	
	Pré-composto (CO)	Substrato de sobrevivência (SS)
T1	0	100
T2	25	75
T3	50	50
T4	75	25
T5	100	0

Após a definição das unidades experimentais, as misturas foram reviradas manualmente. Em seguida, foram adicionadas 15 minhocas da espécie *Eisenia fetida* em cada recipiente. As massas individuais das minhocas estavam entre 0,87 e 1,2 g. O substrato foi umedecido com água de modo a manter a umidade em 60%, valor ideal proposto por Aquino et al. (2005). Logo após isso, as bandejas foram cobertas com grama, visando o conforto ambiental das minhocas, conforme recomendado por Lourenço (2014).

Figura 9 - Montagem do experimento com adição de minhocas: (a) pesagem dos recipientes; (b) minhocas; e (c) cobertura das bandejas com grama.



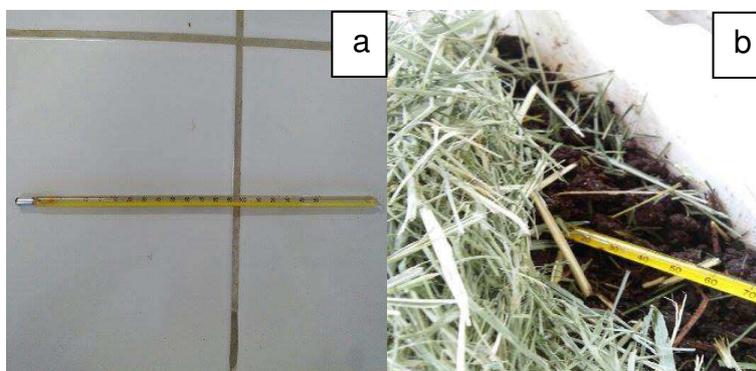
Fonte: LABRES, 2016.

4.2.5. Monitoramento dos Parâmetros Intervenientes na Fase de Introdução das Minhocas

4.2.5.1. Temperatura

As medições de temperatura foram realizadas a cada 3 dias, preferencialmente pela manhã. A verificação do parâmetro era efetuada em todos os tratamentos por meio de um termômetro graduado (FIG. 10).

Figura 10 - Medições de temperatura: (a) termômetro utilizado; e (b) medição da temperatura na unidade de tratamento.

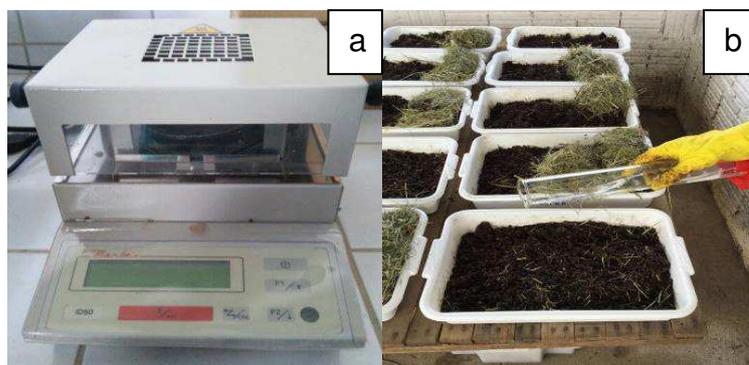


Fonte: LABRES, 2016.

4.2.5.2. Umidade

Nesta fase, o teor de umidade também foi determinado por meio da balança determinadora de umidade, modelo MARTE - ID50. O acompanhamento e a correção da umidade foram conduzidos diariamente. Como estabelecido antes, a umidade desejada foi fixada em 60%. Conforme Aquino et al. (2005), a faixa entre 60 a 70% é considerada ideal para manutenção do processo de vermicompostagem. A água necessária era adicionada nos recipientes com auxílio de uma proveta graduada (FIG. 11).

Figura 11 - Controle de umidade: (a) balança determinadora de umidade; e (b) correção de umidade nos recipientes.



Fonte: LABRES, 2016.

4.2.5.3. pH

O pH foi monitorado a cada sete dias em todos os tratamentos e repetições. Para tal, as amostras dos tratamentos avaliados eram coletadas e posteriormente direcionadas ao LABRES/UFMG. A metodologia utilizada para determinação do pH foi a descrita pela Embrapa (2009).

4.2.5.4. Condutividade Elétrica

O procedimento adotado para o acompanhamento da condutividade elétrica baseou-se na pesagem de cinco gramas da amostra (FIG. 12a), *in natura*, e posterior adição de 50 ml de água deionizada. Em seguida, a amostra foi agitada por 30 segundos em um agitador de movimento circular horizontal a 220 rpm (FIG. 12b). Após a agitação, a mesma foi posta em repouso por 30 minutos. Esse procedimento foi repetido por cinco vezes, sendo, ao final, realizadas as medições (FIG. 12c), conforme recomendado por EMBRAPA (2009).

Figura 12 - Monitoramento da condutividade elétrica: (a) pesagem do material; (b) agitação das amostras; e (c) medição da condutividade elétrica.



Fonte: LABRES, 2016.

4.2.5.5. Sólidos Voláteis

Análises de sólidos voláteis foram conduzidas a cada sete dias para todos os tratamentos e repetições. A metodologia empregada para determinação do percentual de sólidos voláteis é a mesma descrita em EMBRAPA (2009), conforme visto anteriormente.

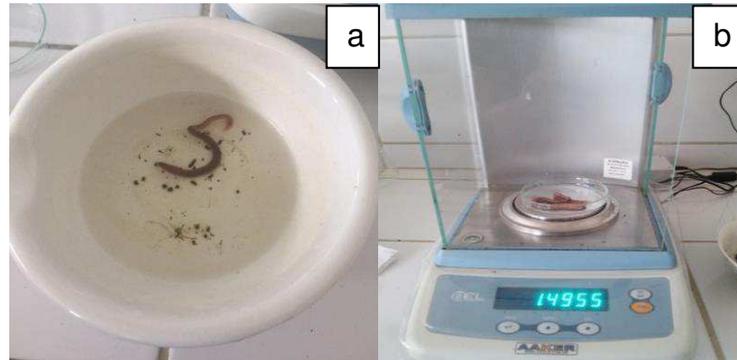
4.2.6. Adaptação e Sobrevivência das Minhocas

A adaptação das minhocas aos tratamentos foi avaliada por meio das seguintes ações:

- (a) observações *in loco* e diárias do comportamento das minhocas;
- (b) contagem do número de indivíduos a cada 14 dias;
- (c) obtenção da biomassa final das minhocas.

Na FIG. 13 pode ser visualizado as etapas para verificação da biomassa das minhocas.

Figura 13 - Procedimento para (a) coleta e (b) peso das minhocas.



Fonte: LABRES, 2016.

4.4.7. Análise Estatística dos Dados

Os dados referentes à condutividade elétrica, sólidos voláteis, densidade populacional e biomassa das minhocas foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA), obtendo-se a média. Estas foram submetidas ao teste de Turkey, ao nível de 5% significância, por meio do software ASSISTAT versão 7.6 (SILVA e AZEVEDO, 2009).

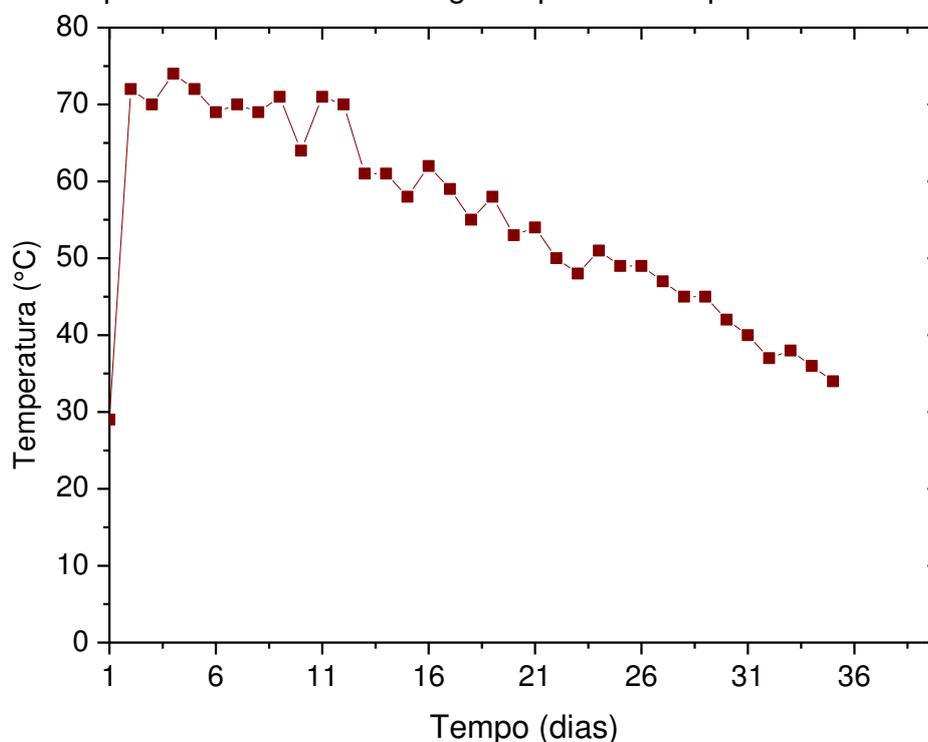
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NO PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM

5.1.1. Temperatura

Na etapa de pré-compostagem, foram registrados os valores médios de temperaturas apresentados na FIG. 14.

Figura 14 - Temperaturas médias ao longo da primeira etapa da vermicompostagem.



Por meio da FIG. 14, verifica-se que após as primeiras 24 horas da montagem da pilha, as temperaturas médias ultrapassaram a fase termofílica (45-65°C), registrando-se um valor máximo de 74°C ao terceiro dia. Valores termofílicos foram observados no 11º dia, mantendo-se até o 28º. Posteriormente, as temperaturas decresceram e mantiveram-se na faixa mesofílica (20-45°C).

De acordo com Cotta et al. (2015), o aquecimento da pilha no início do processo de compostagem indica a atuação dos microrganismos termofílicos na degradação dos resíduos orgânicos. Eles ainda sugerem que esta fase é de grande

importância, uma vez que contribui para redução dos microrganismos patogênicos, além de indicar que a massa de compostagem apresenta condições satisfatórias de umidade, aeração e nutrientes (PEREIRA NETO, 2007; CORRÊIA, FONSECA e CORRÊIA, 2008).

O monitoramento da temperatura na fase de preparação do substrato para posterior inserção das minhocas é fundamental, dado que altos índices de temperatura inviabilizam a permanência e sobrevivência destes animais no material (AQUINO et al. 2005; LOURENÇO 2014).

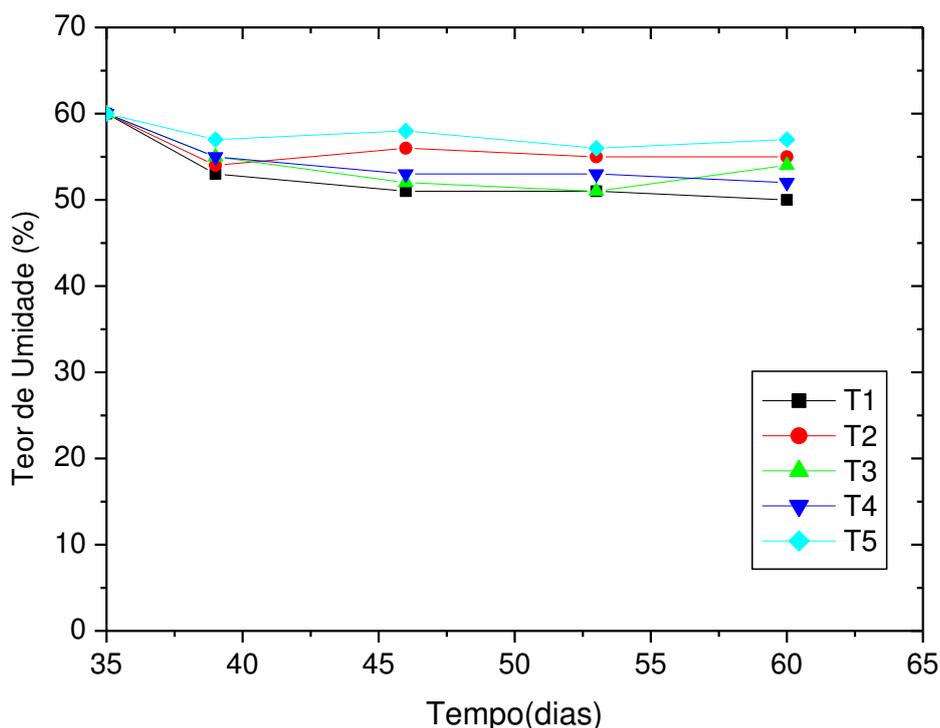
Quando os materiais pré-compostados foram transferidos para as unidades de tratamento, os valores de temperatura apresentavam-se na faixa mesofílica (NUERNBERG, 2014; COTTA et al., 2015; MALAFAIA et al., 2015).

Verificou-se, na segunda etapa do experimento, que a temperatura manteve-se entre 24°C e 27°C em todos os tratamentos, demonstrando que as doses do substrato de sobrevivência associados ao pré-composto não alterou a temperatura durante a vermicompostagem.

5.1.2. Teor de Umidade

Os resultados para o teor médio de umidade podem ser verificados na FIG. 15. Por meio desta, é possível observar que todos os tratamentos mantiveram-se com umidade entre 50 e 60%, sendo os tratamentos T1 e T5 as unidades experimentais que apresentaram maiores e menores alterações, respectivamente.

Figura 15 - Valores médios de teor de umidade (%) registrados nos tratamentos.



Embora os valores de umidade fossem controlados de forma a serem mantidos em cerca de 60%, as oscilações visualizadas na FIG. 15 possivelmente ocorreram em virtude da grande quantidade de água requerida pela fauna microbiana e pelas minhocas para manutenção de suas atividades (PRAKASH e KARMEGAM, 2010; LOURENÇO, 2014). Outro fator de grande relevância refere-se às condições climáticas do semiárido brasileiro, região na qual o experimento encontrava-se inserido. No semiárido as altas taxas de evaporação favorecem a perda de água para o ambiente (ALMEIDA 2011; SILVA FILHO, FARIAS e ARAÚJO, 2015).

Com tudo isso, as alterações ocorridas no teor de umidade ao longo da segunda etapa ainda se encontram dentro da faixa considerada aceitável por Morselli (2009), dado que efeitos adversos com respeito a este aspecto somente são observados nas atividades das minhocas em materiais que apresentam umidade abaixo de 40%.

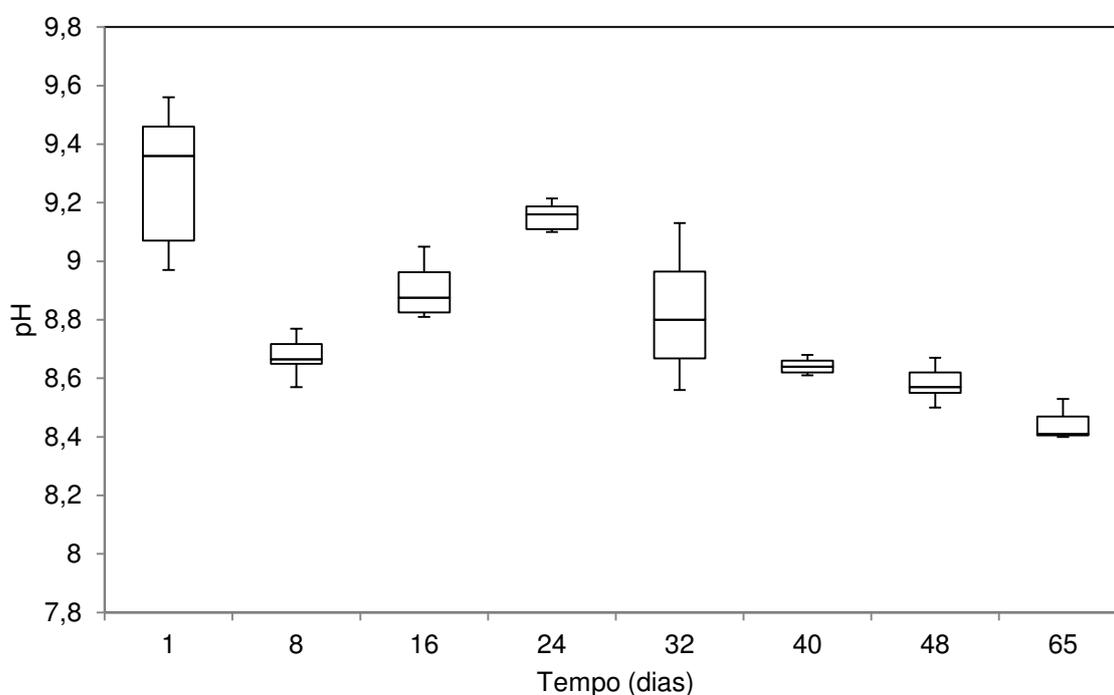
Vale ressaltar que a umidade ideal estabelecida para o monitoramento no processo de vermicompostagem deve levar em consideração a quantidade de resíduos destinados ao tratamento, à escala e unidade de tratamento selecionada,

as condições climáticas e a capacidade de retenção de água dos materiais submetidos à atuação das minhocas.

5.1.3. pH

O pH é um fator prático que normalmente é utilizado para indicar o grau de acidez ou de alcalinidade dos materiais que compõem os substratos (LOURENÇO, 2014). Através da análise das FIGs. 16 e 17 é possível verificar a amplitude dos valores de pH observados neste experimento.

Figura 16 - Blox-pot referente aos valores de pH obtidos na pré-compostagem.



Observou-se que durante a pré-compostagem dos materiais, o pH manteve-se dentro da faixa alcalina (FIG. 16).

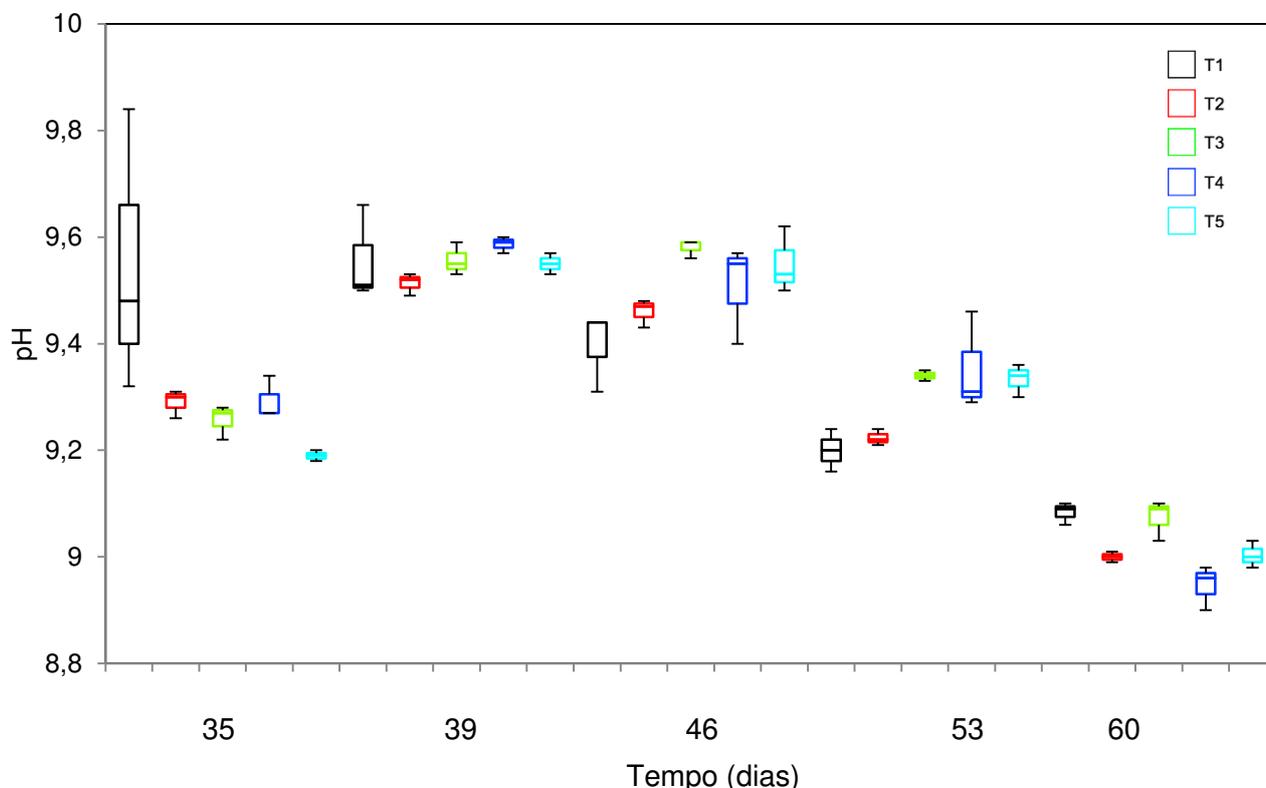
Normalmente, durante o início da compostagem, o pH decresce devido a decomposição da matéria orgânica por parte dos microrganismos mesófilos, ocorrendo assim, a formação de ácidos orgânicos, o que torna o meio levemente ácido (VALENTE et al., 2009). À medida que o processo evolui, os ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam reagem com bases liberadas da matéria orgânica, até serem totalmente oxidados, aumentando o pH do composto que pode atingir níveis superiores a 8,0 (KIEHL, 2004).

De acordo com Valente et al. (2009), as alterações químicas e físicas resultantes das atividades microbianas estão diretamente relacionadas às características físico-químicas dos materiais utilizados no processo. Como pode ser observado na FIG. 16, apesar de não ter alcançado a faixa ácida, os valores de pH dos resíduos na pilha decresceram nos primeiros dias do experimento, para só depois voltarem a aumentar nos dias seguintes. Valores muito baixos ou muito altos de pH podem prejudicar ou inibir a atuação dos microrganismos, conforme descreve Andreoli (2002).

Ensaio realizados por Ismael et al. (2013); Pedrosa et al. (2013); e Pereira et al. (2013) forneceram resultados semelhantes ao deste estudo. De acordo com Pereira Neto (2007), é possível que a compostagem seja desenvolvida numa faixa ampla de pH, entre 4,5 e 9,5.

Na FIG. 17, é possível observar que todos os tratamentos submetidos à ação das minhocas também apresentaram faixa de pH mantidos entre valores alcalinos. A maior dispersão foi observada em T1, no início da fase de maturação e após 53 dias do processo. Na vermicompostagem os altos níveis de pH podem ser explicados devido a presença de glândulas calcíferas na fisiologia das minhocas que contribuem para elevação deste fator (SILVA e ANJOS, 2014).

Figura 17 - Blox-pot da variação do pH para os tratamentos submetidos a vermicompostagem.



O comportamento do pH descrito neste estudo também foi similar ao observado por Silva e Anjos (2014); Cunha et al. (2015); e Valente et al. (2016).

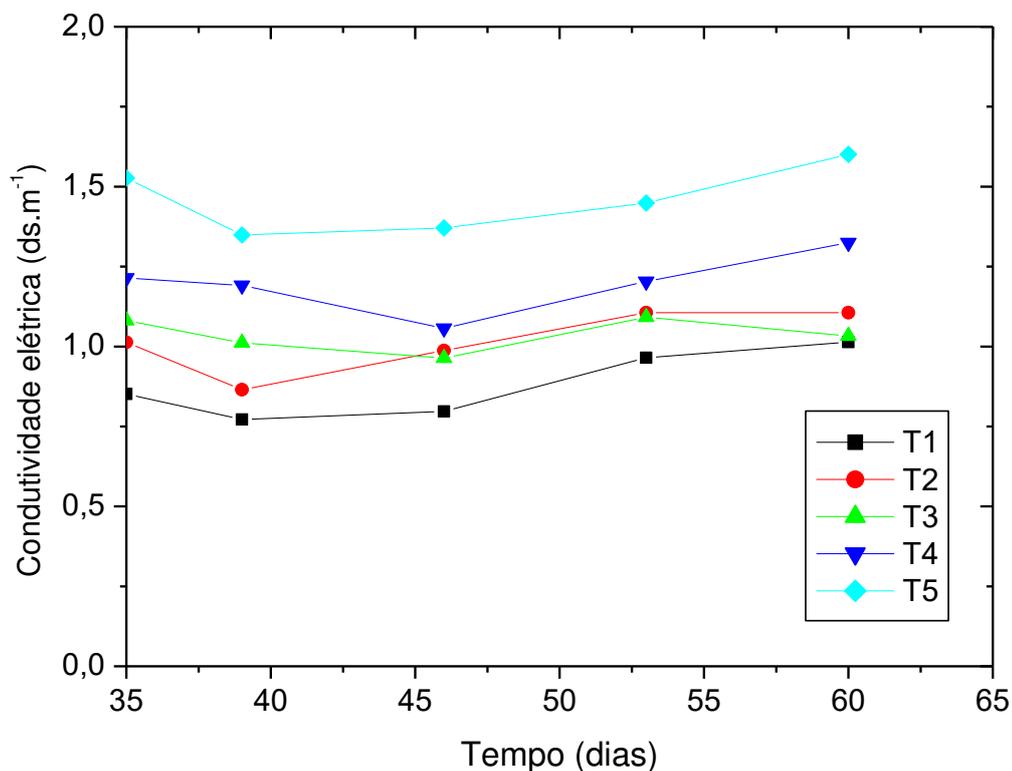
A faixa de pH observada nos tratamentos ao longo do processo encontra-se acima do índice considerado aceitável para o crescimento, multiplicação e adequação das minhocas, podendo causar danos as suas atividades (DOMINGUEZ e EDWARDS, 2010; LOURENÇO, 2010). Entretanto, considerando o desempenho das minhocas nos substratos em questão, pode-se inferir que o pH, neste estudo, não provocou efeitos adversos significativos nas mesmas, mediante o acompanhamento do seu comportamento nos materiais analisados.

5.1.4. Condutividade elétrica

Os valores médios de condutividade elétrica (CE) durante a fase de maturação do processo de vermicompostagem encontram-se explícitos na FIG. 18. Por meio da análise desta figura, nota-se, de forma geral, que os tratamentos

apresentaram comportamento similar: decréscimo do valor inicial de CE após quatro dias da atuação das minhocas no material, e posterior aumento, com exceção de T3.

Figura 18 - Valores médios de condutividade elétrica em função dos dias de vermicompostagem.



Gonçalves (2014), buscando comparar o desempenho do método de vermicompostagem na bioestabilização de cinco tipos de cama de equinos, verificou desempenho similar ao deste estudo. O mesmo autor atribui o aumento gradual da condutividade elétrica na vermicompostagem à mineralização da matéria orgânica resultante da ação simbiótica das minhocas e microrganismos que habitam seu trato intestinal, bem como à diversidade da flora microbiana.

O aumento da condutividade elétrica pode ser utilizada como um parâmetro indicativo do estado de maturação das materiais avaliados.

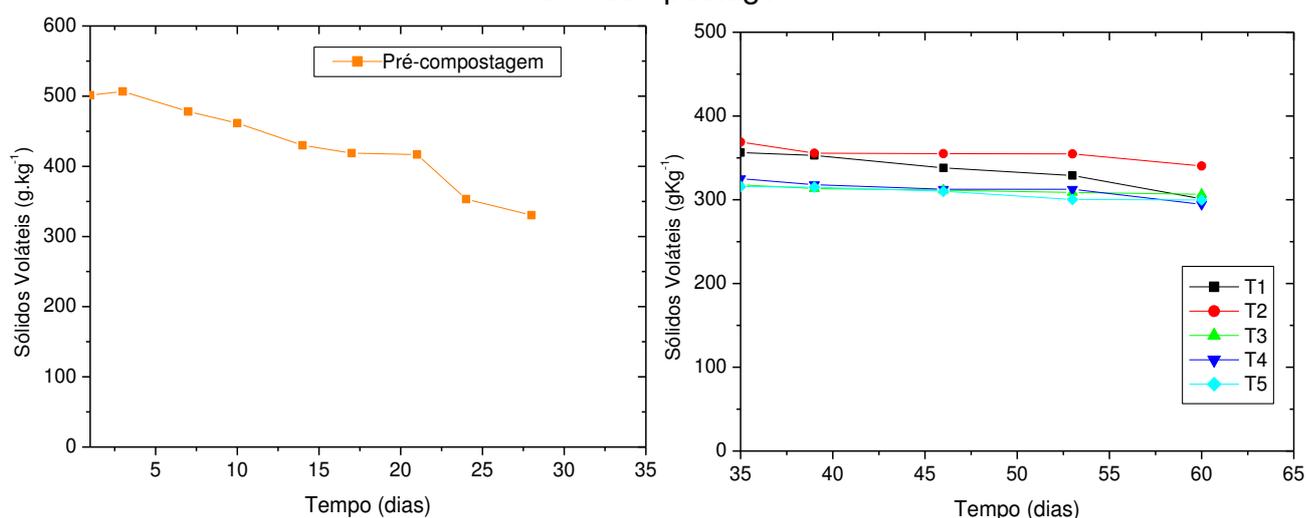
Quando avaliados os resultados obtidos por meio da aplicação do teste de Tukey a 5% de significância, constatou-se que para o parâmetro condutividade elétrica, os tratamentos T1, T2 e T3 não diferiram estatisticamente, o que foi observado também entre as parcelas T3 e T4. Entretanto, T5 não apresentou semelhança com os demais.

De acordo com Lourenço (2014), o nível máximo considerado admissível para a sobrevivência das minhocas em um resíduo é de $7,8 \text{ ds.m}^{-1}$, sendo $2,5 \text{ ds.m}^{-1}$ o valor ótimo de CE para a vermicompostagem. Desse modo, considerando os valores obtidos nesta pesquisa, todos os tratamentos testados foram considerados adequados para processo.

5.1.4. Sólidos voláteis

O nível de degradação da matéria orgânica, avaliada por meio dos sólidos voláteis, pode ser visto na FIG. 19.

Figura 19 - Valores médios de sólidos voláteis observados nas fases do processo de vermicompostagem.



Durante a pré-compostagem dos materiais, a pilha apresentou valor médio inicial de sólidos voláteis de $501,20 \text{ g.kg}^{-1}$. Ao final de 35 dias, a massa de resíduos continha $344,70 \text{ g.kg}^{-1}$, apresentando uma redução de $156,41 \text{ g.kg}^{-1}$, o que corresponde a 31,2%.

Com relação aos substratos submetidos à segunda etapa do processo, verificou-se que a concentração inicial de sólidos voláteis nos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5 foram de $356,31 \text{ g.kg}^{-1}$, $368,89 \text{ g.kg}^{-1}$, $317,82 \text{ g.kg}^{-1}$, $325,10 \text{ g.kg}^{-1}$, $315,70 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente. Já os valores médios finais averiguados estes foram: $301,10 \text{ g.kg}^{-1}$, $340,36 \text{ g.kg}^{-1}$, $294,57 \text{ g.kg}^{-1}$ e $299,80 \text{ g.kg}^{-1}$, de modo respectivo, representando reduções equivalentes de 15,49%, 7,73%, 3,56%, 9,39% e 5,03%.

De acordo com Queiroz (2007), à medida que a matéria orgânica é degradada a quantidade de sólidos voláteis tende a decrescer. Esse comportamento foi observado nesta pesquisa nas diferentes fases e concentrações de substratos, podendo a diminuição da quantidade de resíduos orgânicos ser um indicador da bioestabilização dos substratos.

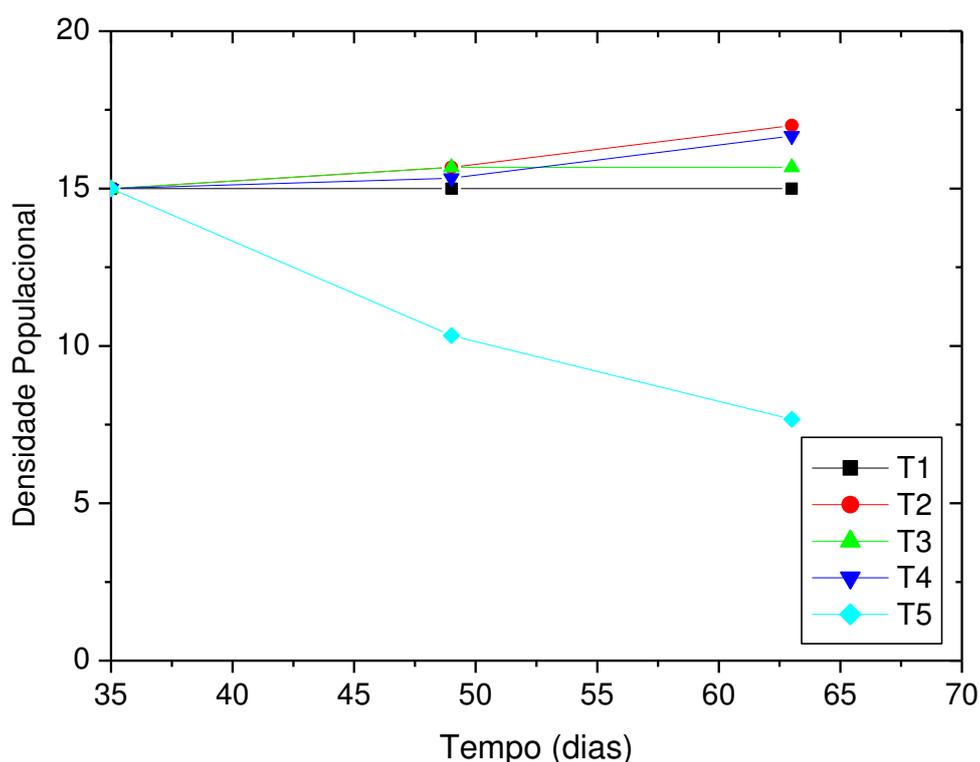
Quando submetidos à análise de variância, os tratamentos T1 e T2 apresentam semelhança estatística entre suas médias, bem como os tratamentos T3, T4 e T5. Diferenças significativas foram observadas em T2 e T5, que diferiram entre si e demais tratamentos avaliados.

5.2. ADAPTAÇÃO E SOBREVIVÊNCIA DAS MINHOCAS

5.2.1. Densidade populacional

Analisando-se os resultados referentes à densidade populacional de minhocas, nota-se, por meio da FIG. 20, uma melhor adaptação da espécie *Eisenia fetida* aos tratamentos T1, T2, T3 e T4, já que não houve registro de mortes ao longo do processo de bioestabilização do material nas unidades de tratamento.

Figura 20 - Densidade populacional das minhocas em função dos dias de vermicompostagem.



Entretanto, no tratamento T5, verificou-se tanto a morte quanto a fuga de minhocas (FIG. 21). Explicando desse modo, a queda acentuada apresentada na figura acima. Poucos indivíduos permaneceram nas unidades de tratamento, mesmo considerando os inúmeros testes de adaptação antes da inserção da espécie. Possivelmente, a morte ou fuga das minhocas neste tratamento foi condicionada devido à presença de algum composto tóxico para as mesmas.

Figura 21 - Adaptação das minhocas ao tratamento T5: (a) morte; e (b) fuga das minhocas.



Fonte: Autoria própria.

Baixos índices de sobrevivência da espécie *Eusenie fetida* são registrados nos tratamentos com 100% do pré-composto, ou seja, sem a adição do substrato de sobrevivência.

Assim como neste trabalho, Godoy et al. (2009), visando o aproveitamento de bioossólidos provenientes de fossas sanitária, bem como grama e pó de serragem por meio da vermicompostagem, constataram uma maior taxa de mortalidade no tratamento em que foi utilizado bioossólido puro.

Vig et al. (2011), ao avaliar o desempenho da *Eisenia fetida* na conversão de lodo de curtume, averiguaram que, nas unidades experimentais contendo 100% de lodo de curtume, morreram todas as minhocas. Essa mesma constatação foi verificada por Malafaia et. al. (2015).

Ensaio desenvolvidos por Cunha et at. (2015) demonstraram que em tratamento com 100% de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, as minhocas suportaram somente até o 20º dia do experimento.

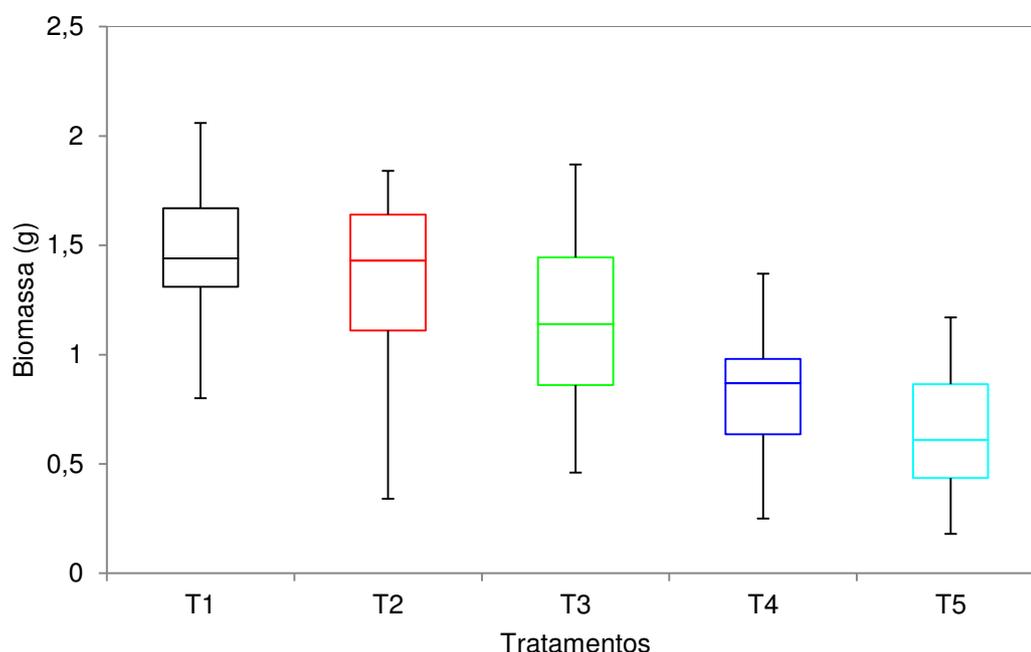
Por meio da FIG. 18, verificou-se, ainda, um acréscimo no número de minhocas nos tratamentos T2, T3 e T4. Todavia, os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si.

Dessa forma, nota-se que as diferentes doses do substrato de sobrevivência em associação com os resíduos agroindustriais pré-compostados influenciaram de maneira benéfica na densidade populacional de minhocas.

5.2.2. Biomassa das minhocas

A adaptabilidade das minhocas também foi avaliada por meio do ganho ou perda de massa ao final do experimento, sendo os dados obtidos comparados à biomassa inicial. Na FIG. 22, verifica-se a variação total da biomassa das minhocas para cada tratamento.

Figura 22 - Box-plot da biomassa das minhocas em cada tratamento ao final do experimento.



Verifica-se, na FIG. 22, que os tratamentos T1 e T2 e T3 apresentaram os maiores acréscimos de biomassa, sendo em T5 observado um decréscimo de massa, quando comparado ao peso inicial dos indivíduos neste tratamento. Os

extremos observados nas parcelas T2, T3 e T4, dizem respeito ao peso das minhocas jovens observadas.

Por meio da análise estatística a nível de 5% de significância pelo teste de Tukey, os tratamentos T1 e T2 não diferiram entre si, porém apresentaram diferença quando comparados aos demais tratamentos. Já as parcelas experimentais T3, T4 e T5 obtiveram semelhança entre si.

Os ganhos de massa nas unidades T1, T2 e T3, como visto na FIG. 22, podem ser explicados pelo fato de conterem proporções superiores do substrato de sobrevivência (esterco bovino). Desta forma, o substrato de sobrevivência pode ser considerado uma das principais fontes de alimento para minhocas, principalmente a *Eisenia fetida*, como menciona Aquino et al., (2005). Outro fator refere-se à climatização destes indivíduos ao meio.

A redução da biomassa em T5 pode ter ocorrido pela não adaptação das minhocas ao pré-composto, afetando dessa forma, a sobrevivência e o desenvolvimento das mesmas.

A diminuição da biomassa da espécie *Eisenia fetida* também foi observada em ensaios desenvolvidos por Dores-Silva, Landgraf e Rezende (2013b). Estes autores, visando avaliar os efeitos tóxicos do lodo de esgoto doméstico na reprodução e ganho de biomassa de minhocas, demonstraram que no 28º dia de teste, houve uma perda de biomassa e um atrofiamento dos animais, comprovando que a exposição destes ao resíduo apresenta efeitos deletérios.

6. CONCLUSÃO

Face ao exposto neste estudo, pode-se concluir que:

- a vermicompostagem de resíduos agroindustriais sem a adição do substrato de sobrevivência mostrou-se inviável mediante a não adaptação das minhocas ao meio;
- o substrato de sobrevivência (esterco bovino), em associação com o pré-composto, proporcionou condições favoráveis à espécie *Eisenia fetida* e a bioestabilização dos resíduos;
- os parâmetros monitorados (temperatura, umidade, pH e condutividade elétrica) não afetaram a sobrevivência, crescimento e reprodução das minhocas;
- os resultados obtidos do acompanhamento do fator sólidos voláteis indicaram a redução da porcentagem do mesmo em todas as proporções, evidenciando-se a maturação os materiais;
- as minhocas utilizadas adaptaram-se facilmente nas proporções avaliadas, aumentando de maneira considerável a sua biomassa, com exceção das concentrações de 75% e 100% de pré-composto, que tiveram um acréscimo não significativo;
- o método de vermicompostagem em pequena escala abordado nesta pesquisa demonstrou ser uma alternativa viável e segura para o tratamento de resíduos agroindústrias em ambiente semiárido, sobretudo quando associado com substratos que possibilitem a melhor adaptação das minhocas;
- o estudo da aplicação da técnica de vermicompostagem no tratamento de diversos tipos de resíduos orgânicos contribui para consolidação do método como ferramenta de gerenciamento de resíduos sólidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS- ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2014. Disponível em:< <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

AIRA, M., DOMÍNGUEZ, J. Optimizing Vermicomposting of animal Wastes: Effects of Dose of Manure Application on Carbon Loss and microbial Stabilization. **Journal of Environmental Management**, v. 88, n. 4, p. 1525-1529, sept. 2008.

ALMEIDA, G. R. **Tratamento de resíduos agropecuários através do processo de vermicompostagem**. Dissertação (Mestrado em Ciências (Produção Animal)) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2011.

ANTUNES, R. M.; CASTILHOS, R. M. V.; CASTILHO, D. D.; LEAL, O. A.; ANDREZZA, R. Crescimento inicial de acácia-negra com vermicompostos de diferentes resíduos agroindustriais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n.1, p. 1-9, jan.-mar. 2016.

AQUINO, A. M. et al. Aspectos práticos da vermicompostagem. Agroecologia Princípios e Técnicas para uma Agricultura Orgânica Sustentável. **Ed. digital, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, 2005. 425-433 p.

AQUINO, A. M.; ALMEIDA, D. L.; FREIRE, L. R.; DE-POLLI, H. Reprodução de minhocas (Oligochaeta) em esterco bovino e bagaço de cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.29, n.2, p. 161-168, fev. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. **NBR 10004: 2004 Resíduos Sólidos- Classificação**. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

BARATTA JUNIOR, A. P. **Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas**. 2007.53fls. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. 204 f. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

BAUMGARTEN, D. C. **Avaliação da eficiência da vermicompostagem de resíduos orgânicos produzidos em escola municipal em Santa Cruz do Sul, RS, Brasil, visando à produção de fertilizantes orgânicos.** 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015.

BERNARDI, F. H. **Uso do processo de compostagem no aproveitamento de resíduos de incubatório e outros de origem agroindustrial.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.

BLAKEMORE, R. J. **Cosmopolitan earthworms – an eco-taxonomic guide to the peregrine species of the world.** 2 ed. Japan: Verm Ecology, 2006.

BRIGHENT, C. R. G.; REIS E. L.; REIS, C. Características físico-químicas de ácidos húmicos em diferentes etapas da vermicompostagem. **Eclética Química**, São Paulo, vol. 35, n.3, p. 69 - 82, 2010.

BRASIL. Decreto Nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, D.F., 15 de jan. 2004. Seção 1, p. 2.

BRASIL. MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Gestão de Resíduos.** Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/a3p/eixos-tematicos/gest%C3%A3o-adequada-dos-res%C3%ADduos>> Acesso em: 3 fev. 2016.

BRASIL. Decreto Nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] União**, Brasília,D.F., 15 de jan. 2004. Seção 1, p. 2.

BRASIL. Decreto-Lei nº 23, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 15 de jan., 2009.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 25, DE 23 DE JULHO DE 2009. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, D.F., 28 de jul. 2009. Seção 1, p. 20.

BRASIL. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, D.F., 03 agosto de 2010, Seção 1, p. 3.

CASTILHOS, R. M. DICK, V. D. P.; CASTILHOS, D. D.; MORSELLI, TÂNIA B.A. G.; COSTA, P. F. P.; CASAGRANDE, W. B.; R, C. M. Distribuição e caracterização de substâncias húmicas em vermicompostos de origem animal e vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32 n. especial, p. 2669-2676, out/dez. 2008.

CASTILHO, H; HERNÁNDEZ, A.; DOMINGUEZ, D.; OJEDA, D. Effect of californian red worm (*Eisenia fetida*) on the nutrient dynamics of a mixture of semicomposted materials. *Bioresource Technology*, v. 102, p4171- 4178, 2010.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 420-426, abr. 2007.

COTTA, J. A. O.; CARVALHO, N. L. C.; BRUM, T. S.; REZENDE, M. O. O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n.1, p. 65-78, jan-mar. 2015.

CUNHA, A. H. N.; FERNANDES, E. P.; ARAÚJO, F. G.; MALAFAIA, G.; CORREIO, J. A. V. Vermicompostagem de lodo de curtume associado a diferentes substratos. **Multi-Science Journal**, Uritaí, v.1, n.3, p. 31-39, jun. 2015.

DOMÍNGUEZ, J. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. In: EDWARDS, C.A. (Ed.). **Earthworm Ecology**. 2nd. ed. Boca Raton: CRC Press, 2004. p. 401–424.

DOMINGUEZ, J.; EDWARDS, A. C. Biology and ecology of earthworm species used in vermicomposting. In: EDWARDS, C.A.; ARANCON, N.Q.; SHERMAN, R.L. **Vermiculture Technology: earthworms, organics wastes and environmental management**. New York: CRC Press, 2010. p. 27-40.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE M. O. O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 5, p. 640-645, mar. 2013a.

DORES-SILVA, P.R.; LANDGRAF, M.D; REZENDE, M. O. O. Bioensaios para avaliação da toxicidade aguda, reprodução e ganho de biomassa de minhocas (*Eisenia fetida*) ambientadas em lodo de esgoto doméstico. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 8, n.1, p.143-146, nov.2013b.

EMPRESA BRASILEIRA AGROPECUARIA- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed., Brasília: Embrapa Informações Tecnológica, 2009, 627 p.

GARCIA, F.R.M.; Zidko, A. **Criação de minhocas: As operárias dos húmus**. Porto Alegre: Editora Ríegel, 2006. 112 p.

GONÇALVES, F. **Tratamento de camas de equinos por compostagem e vermicompostagem**. 2014. 133 f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014.

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

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008**, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro, 2010.

KIEHL, E. J. **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 4 ed. Piracicaba: Editora Degaspari. 2004. 173 p.

LANDGRAF, M. D.; ALVES, M.R.; SILVA, C. S.; RESENDE, O. O. M. Caracterização de ácidos húmicos de vermicomposto de esterco bovino compostado durante 3 e 6 meses. **Química Nova**, São Carlos, vol. 22, n. 4, p 483-486. 1999.

LANDGRAF, M. D.; MESSIAS, R. A.; REZENDE, M. O. O. **A importância ambiental da vermicompostagem: vantagens e aplicações.** São Carlos: Rima, 2005. 106 p.

LOUREIRO, D. C.; AQUINO, A. M. Fauna epigea e atributos químicos durante a compostagem e a vermicompostagem de resíduos domiciliares. **Agronomia**, v.38, nº.2, p.11 - 14, 2004.

LOURENÇO, N. M. G. **Manual de Vermicompostagem e vermicultura para a agricultura orgânica.** Porto: Publindústria, edições técnicas, 2014. 230 p.

LOURENÇO, N. M. G. **Vermicompostagem, gestão de resíduos orgânicos – Princípios, processos e aplicações.** Lisboa: FUTURAMB, 2010. 404 p.

LUNA, M. L. D.; LEITE, V.; LOPES, W. S.; SOUSA, J. T.; SILVA, S. A. Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p. 113-121, Jan - Mar. 2009.

MALAFAIA, G.; JORDÃO, C. R.; ARAÚJO, F. G.; LEANDRO, W. M.; RODRIGUES, A. S. L. Vermicompostagem de lodo de curtume em associação com esterco bovino utilizando *Eisenia fétida*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, n.4, out-dez. 2015.

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

MATOS, E. H. S. F. **Dossiê Técnico: Minhocultura.** 2008. Disponível em:< <http://docslide.com.br/documents/criacao-de-minhocas-pdfpdf.html>> Acesso em: 3 mar. 2016.

MIGDALSKI, M. C. **Criação de minhocas: guia prático.** Viçosa: Aprenda fácil, 2001. 118 p.

MONROY, F. **Efecto das minocas (Clase Oligochaeta) sobre a comunidade descomponedora durante o processo de vermicompostaxe.** Tese (Ph. D) – Universidade de Vigo, Spain, 2006.

MORSELLI, T. B. G. A. **Minhocultura.** Pelotas: Editora e Gráfica Universitária da UFPEL, 2009. 114 p.

NADOLNY, H. S. **Reprodução e desenvolvimento das minhocas (*Eisenia Andrei* Bouché 1972 e *Eudrilus Eugeniae* (Kinberg 1867)) em resíduo orgânico doméstico**. 2009. 68fls. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

NADOLNY, H. S. **Reprodução e desenvolvimento das minhocas (*Eisenia andrei* Bouché 1972 e *Eudrilus eugeniae* (kinberg 1867)) em resíduo orgânico doméstico**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

NUERNBERG, A. C. **Vermicompostagem: estudo de caso utilizando resíduo orgânico do restaurante universitário da UTFPR Câmpus Curitiba - sede Ecoville**. 2015. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em processos Ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

OLIVEIRA, E. M.; COSTA, F. X.; COSTA, C. C. Reprodução de minhoca (*Eisenia foetida*) em diferentes substratos. **Revista caatinga**, Mossoró, v. 21, n.5, p.146-150, dez. 2008.

PEDROSA, T. D.; FARIAS, C. A. S.; PEREIRA, R. A.; FARIAS, E. T. R. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Revista Nativa**, Sinop, v. 01, n. 01, p. 44-48, out - dez. 2013.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa: UFV. 81 p. 2007.

PEREIRA, R. A.; FARIAS, C. A. S.; FARIAS, E. T. R.; PEDROSA, T. D.; CHAVES, A. D. C. A compostagem como alternativa para a problemática dos resíduos agroindustriais no Sertão Paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 8, n.1, p. 269-273, jan-mar. 2013.

PRAKASH, M.; KARMEGAM, N. Vermistabilization of press mud using *Perionyx ceylanensis* Mich. **Bioresources Technology**, n.101, p.8464–8468, nov. 2010.

QUEIROZ, F. F. **Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas. Estudo de caso de Londrina**. 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de edificações e saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2007.

RICCI, M.S.F. **Manual de vermicompostagem**. Porto Velho: EMBRAPA – CPAF, 1996. 23 p.

ROLA, M. O. R.; SILVA, R. F. da. Vantagens da vermicompostagem sobre a compostagem tradicional. **Revista F@pciência**, Apucarana, v.10, n. 1, p. 40 – 48, 2014.

SANTOS, J. L. D. **Caracterização físico-química e biológica em diferentes laboratórios de produtos obtidos a partir da compostagem de resíduos orgânicos biodegradáveis**. 2007. 144 fls. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) -Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2007.

SILVA FILHO, J. A.; FARIAS, C. A. S.; ARAÚJO, S. C. Análise temporal do comportamento da precipitação pluviométrica no município de Pombal - PB. In: Workshop Internacional sobre Água no Semiárido Brasileiro, 2., 2015, Campina Grande. **Anais...**Campina Grande: REALIZE, 2013. v. 1, p. 1 - 6.

SILVA, F. A. S. e AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, **Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.

SILVA, L. N. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2007.

SILVA, M. A. O.; ANJOS, J. L. Proporções de esterco bovino e palha de coqueiro em substrato com composto e vermicomposto. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA TABULEIROS COSTEIROS, 4., 2014, Aracaju. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2014.

SODRÉ, G. A. **Minhocas: Biologia, comportamento e sistemas de criação**. Ilhéus: CEPLAC/DEPED, 1988. 24 p.

SPADER, S. **O uso da casca de arroz em processos de minicompostagem**. 2005. Monografia (Graduação em Gestão de recursos Naturais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2005.

SUSZEK, M. et al. Uso de água residuária da suinocultura na bioestabilização de resíduos verdes urbanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**. Campina Grande, v. 9, (suplemento), p. 176-180, 2005.

TEODORO, M. S. Produção de alface (*Lactuca sativa* L.) sob diferentes doses de vermicomposto. **Revista verde de Agroecologia e Desenvolvimento sustentável**, Pombal, v.11, n.1, p. 18-22, jan-mar. 2016

TREVISAN, I. C. **Compostagem de resíduos sólidos domiciliares sob diferentes condições ambientais e de revolvimento**. 2011. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

VALENTE, B. S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de zootecnia**, v.58, n. 221, p. 59-85, mar. 2009.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; LOPES, M.; PEREIRA, H. S.; ROLL, V. F. B. Compostagem e vermicompostagem de dejetos líquidos de bovinos leiteiros e cama aviária. **Archivos de zootecnia**, v.65, n. 249, p. 79-88, mar. 2016.

VIEIRA, M. I. **Minhocas dão lucros**. São Paulo: Prata editora, 1997.

VIG, A. P. et al. Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny). **Bioresource Technology jornal**, v. 102, n. 17, p. 7941–7945, maio. 2011.