



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA

VERMICOMPOSTAGEM COMO TECNOLOGIA APLICADA À VALORIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DE
RESÍDUOS DO MILHO, NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO SERTÃO PERNAMBUCANO

ANDREZA JAYANE NUNES DE SIQUEIRA

Serra Talhada, Pernambuco

Dezembro de 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA

VERMICOMPOSTAGEM COMO TECNOLOGIA APLICADA À VALORIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DE
RESÍDUOS DO MILHO, NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO SERTÃO PERNAMBUCANO

ANDREZA JAYANE NUNES DE SIQUEIRA

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em
Química da Universidade Federal Rural de
Pernambuco, para obtenção do título de licenciado em
Química.

Orientador: Prof. Dr. Ramom Rachide Nunes

Serra Talhada, Pernambuco

Dezembro de 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

v525v Siqueira, Andreza Jayane Nunes de
VERMICOMPOSTAGEM COMO TECNOLOGIA APLICADA À VALORIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DE
RESÍDUOS DO MILHO, NAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DO SERTÃO PERNAMBUCANO / Andreza Jayane
Nunes de Siqueira. - 2019.
53 f. : il.

Orientador: Ramom Rachide Nunes.
Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Licenciatura em Química,
Serra Talhada, 2019.

1. vermicompostores. 2. Zea mays. 3. Eisenia fetida. 4. agricultura orgânica. 5. desenvolvimento agrário. I. Nunes,
Ramon Rachide, orient. II. Título

CDD 540

**VERMICOMPOSTAGEM COMO TECNOLOGIA APLICADA À
VALORIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DE RESÍDUOS DO MILHO, NAS
CONDIÇÕES EDÁFOCLIMÁTICAS DO SERTÃO PERNAMBUCANO**

ANDREZA JAYANE NUNES DE SIQUEIRA

Aprovada em 11/12/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ramom Rachide Nunes
UFRPE/UAST

Prof. Dr. Antônio Henrique Cardoso
UFRPE/UAST

Prof. Dr. Marcelo Batista de Lima
UFRPE/UAST

Dedico aos meus pais Alda e Josivânia, aos meus amigos e ao professor Ramom Rachide, por toda colaboração e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Alda e Josivânio, por tudo que fizeram por mim, sempre me apoiando e incentivando, estando ao meu lado nas horas de desespero me dando forças para continuar lutando. Ao meu irmão Ádrian, por estar sempre ao meu lado, e ser uma das pessoas mais importantes que dão significado à minha vida.

Ao meu Tio/Padrinho João, que eu considero como sendo um segundo pai, sempre me ajudando e apoiando durante todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos Maria, Cristina, Alice, Hermógenes, Alberis, João Victor e Roseane. Maria, por ter se feito tão presente na minha vida e que considero como uma irmã. Cristina, que foi a primeira a quem eu me aproximei no inicio do curso e até hoje está ao meu lado. Alice, que nem sempre concordamos uma com a outra, mas nada abala a nossa amizade. Hermógenes, por ser o chato que alegra meus dias, e que me ajudou muito com o meu trabalho. Alberis, que tem muita força de vontade e nunca desiste de buscar seus objetivos. João Victor, meu amigo desde o ensino médio e, até hoje, se faz presente na minha vida. E Roseane, minha parceirinha da residência pedagógica.

Agradeço também ao Jefferson por toda ajuda no trabalho da vermicompostagem.

Ao meu orientador Rachide por tudo que me ensinou, e por ter proporcionado tantas experiências, as quais mudaram a minha perspectiva de vida acadêmica.

E a todos os professores que foram pra mim um exemplo durante toda a graduação.



E. Munch
1895

O Grito (1893)

de Edvard Munch

RESUMO

Neste trabalho, apresenta-se a vermicompostagem como uma tecnologia ambiental, utilizada na reciclagem e tratamento de resíduos obtidos a partir da produção de milho, levando em consideração as condições edafoclimáticas do sertão pernambucano, sob a perspectiva da química ambiental. Além disso, foi realizado um estudo físico e químico da vermicompostagem. A vermicompostagem consiste em um processo de transformação biológica, e também de bio-oxidação e estabilização da matéria orgânica (MO), transformando-a em um fertilizante de elevado potencial agrícola. Neste estudo, os vermicompostos foram produzidos com resíduos de milho, palha e sabugo, e junto a eles foram adicionados esterco de bode e serragem. Foram construídos quatro tratamentos, sendo um contendo apenas esterco de bode e serragem (substrato orgânico) e, os demais, contendo os resíduos de milho e o substrato orgânico. Em cada vermicompostor foram adicionadas 250 minhocas da espécie *Eisenia fetida*. Durante os 120 dias do experimento, os seguintes atributos químicos foram avaliados: sólidos totais (ST), pH, carbono orgânico total (TOC), matéria orgânica (MO) e a capacidade de troca catiônica (CTC). Os resultados de pH, TOC e MO apresentaram um decréscimo em seus valores durante o processo de vermicompostagem, enquanto que o teor de CTC aumentou. Ambas as tendências indicaram que os vermicompostos atingiram a estabilidade e maturidade desejada. Além disso, as minhocas apresentaram uma boa adaptação aos vermicompostores. Assim, foi possível concluir que a vermicompostagem pode ser utilizada como uma tecnologia eficaz no tratamento de resíduos de milho e produção de insumos agrícolas. No futuro, espera-se aplicar o vermicomposto em novas safras de milho, renovando o ciclo da cadeia produtiva, em condições de campo, ciclando sua matéria orgânica e nutrientes, em prol do desenvolvimento agrário e social do interior da Região Nordeste.

Palavras-chave: vermicompostores, *Zea mays*, *Eisenia fetida*, agricultura orgânica, desenvolvimento agrário

ABSTRACT

This research presents the vermicomposting as an environmental technology applied in the recycling and treatment of waste obtained in the maize production, taking into consideration the edaphoclimatic conditions of the Pernambuco Backwoods, under the perspective of the Environmental Chemistry. In addition, a physical and chemical study of vermicomposting were carried out. Vermicomposting is a process of biological transformation, as well as bio-oxidation and stabilization of organic matter (OM), turning it into a fertilizer of high agricultural potential. In this study, the vermicomposts were produced adding residues of corn, straw and cob, also adding goat manure and sawdust as organic substrate. In each vermicompostor 250 *Eisenia fetida* earthworms. were added. During the 120 days of the experiment, the following chemical attributes were analyzed: total solids (TS), pH, total organic carbon (TOC), organic matter (OM) and cation exchange capacity (CEC). The pH, TOC and OM results showed a decrease in their values during the vermicomposting process; while the CEC content increased. Both trends indicated that vermicomposts reached stability and maturity desired. In addition, worms showed good adaptation to vermicompostors. Thus, it was concluded that vermicomposting can be used as an effective technology for corn waste treatment and production of agricultural inputs. In the future, it is expected to apply the composed of new corn crops, renewing the cycle of the production chain, under conditions of cycling its organic matter and nutrients in favor of the agrarian and social development of the interior of the Brazilian Northeast.

Keywords: vermicomposting, *Zea mays*, *Eisenia fetida*, organic agriculture, agrarian development

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
1.1.	A cultura do milho	17
1.2.	Vermicompostagem	17
1.3.	Agricultura orgânica	19
2.	OBJETIVOS.....	20
2.1.	Objetivo geral.....	20
2.2.	Objetivos específicos	20
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1.	Resíduos frescos	21
3.2.	Montagem dos vermicompostores	22
3.3.	Monitoramento da vermicompostagem	23
3.3.1.	Monitoramento das minhocas <i>E. fetida</i>	24
3.3.2.	Monitoramento químico	24
3.4.	Análises Estatísticas.....	25
3.5.	Gerenciamento e tratamento dos resíduos gerados	25
3.6.	Procedimentos laboratoriais.....	25
4.	RESULTADOS.....	25
4.1.	Caracterização dos resíduos frescos.....	25
4.2.	Monitoramento das minhocas <i>E. fetida</i>	26
4.2.1.	Ganho percentual de massa (%WPG)	26
4.2.2.	Ganho percentual de tamanho (%LPG).....	27
4.3.	Monitoramento da vermicompostagem	27
4.3.1.	Temperatura	27
4.3.2.	Sólidos totais (ST)	30
4.3.3.	pH	32
4.3.4.	Matéria Orgânica (MO)	32
4.3.5.	Carbono orgânico total (TOC).....	32
4.3.6.	Acidez trocável (A)	36
4.3.7.	Soma das bases (SB)	36

4.3.8.	Capacidade de troca catiônica (CTC).....	36
4.3.9.	Saturação por bases (%V)	39
5.	DISCUSSÃO	42
6.	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	43
6.1.	Conclusão	43
6.2.	Perspectivas futuras	43
REFERÊNCIAS		44
ANEXOS		46
M.1.	Sólidos totais (TS).....	46
M.2.	pH	46
M.3.	Matéria orgânica (MO)	46
M.4.	Carbono Orgânico total (TOC).....	46
M.5.	Acidez trocável (A)	46
M.6.	Bases trocáveis (SB)	47
M.7.	Capacidade de troca catiônica (CTC).....	47
M.8.	Saturação por bases (%V)	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Resíduos utilizados no preparo dos vermicompostos; a. Palha de milho; b. Sabugo de milho; c. Esterco caprino; d. Serragem.....	21
Figura 2.	Montagem dos experimentos para a vermicompostagem dos resíduos de milho.....	22
Figura 3.	Horizontes dos resíduos frescos utilizados na construção dos vermicompostores (amostras VRC-S, VRC-C e VRC-CS). Para a construção do vermicompostor controle (amostra VRC-STD) foram omitidos os horizontes contendo os resíduos de milho.....	23
Figura 4.	Ganho percentual de massa (%WPG) das minhocas <i>E. fetida</i> durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (sabugo e palha: amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) e a amostra controle (VRC – STD), nos tempos 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias.....	28
Figura 5.	Ganho percentual de tamanho (%LPG) das minhocas <i>E. fetida</i> durante a vermicompostagem dos resíduos de milho – sabugo e palha (amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) - e a amostra controle (VRC – STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias.....	29
Figura 7.	Monitoramento da temperatura ao longo da vermicompostagem no ponto médio (M) e, também, a temperatura ambiente no momento da medição (T_{amb}).....	30
Figura 8.	Monitoramento da temperatura ao longo da vermicompostagem no ponto baixo (L) e, também, a temperatura ambiente no momento da medição (T_{amb}).....	30
Figura 9.	Monitoramento dos sólidos totais durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) - e a amostra controle (VRC – STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).....	31
Figura 10.	Monitoramento do pH durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) - e a amostra controle (VRC – STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).....	33
Figura 11.	Monitoramento da matéria orgânica (MO) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) - e a amostra controle (VRC – STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).....	34
Figura 12.	Monitoramento do carbono orgânico total (TOC) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) - e a amostra controle (VRC – STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).....	35
Figura 13.	Monitoramento da acidez trocável (A) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) - e a amostra controle (VRC – STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).....	37
Figura 14.	Monitoramento das somas das bases (SB) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) - e a amostra controle (VRC – STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).....	38

- Figura 15. Monitoramento da capacidade de troca catiônica (CTC) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) - e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP). 40
- Figura 16. Monitoramento da saturação por bases (%V) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) - e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP)..... 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Características químicas dos resíduos frescos utilizados nos preparamos dos vermicompostos: resíduos de milho (palha e sabugo), esterco e serragem (média seguida de ANOVA e teste de Duncan para diferenciação das médias, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais).....	26
Tabela 2.	Ganho percentual de massa (%WPG) das minhocas <i>E. fetida</i> durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) e amostra controle (VRC – STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em %.	28
Tabela 3.	Ganho percentual de tamanho (%LPG) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) e amostra controle (VRC – STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em %.	29
Tabela 4.	Monitoramento dos sólidos totais (ST) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) e amostra controle (VRC – STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em %.	31
Tabela 5.	Monitoramento do pH durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) e amostra controle (VRC – STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais).....	33
Tabela 6.	Monitoramento da matéria orgânica (MO) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) e amostra controle (VRC – STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em %.	34
Tabela 7.	Monitoramento do carbono orgânico total (TOC) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) e amostra controle (VRC – STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em mg kg ⁻¹	35
Tabela 8.	Monitoramento da acidez trocável (A) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) e amostra controle (VRC – STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em cmol _c kg ⁻¹	37
Tabela 9.	Monitoramento das somas das bases (SB) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) e amostra controle (VRC – STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em cmol _c kg ⁻¹	38

- Tabela 10. Monitoramento da capacidade de trova catiônica (CTC) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) e amostra controle (VRC – STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em cmol_c kg⁻¹..... 40
- Tabela 11. Monitoramento da saturação por bases (%V) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) e amostra controle (VRC – STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em cmol_c kg⁻¹..... 41

1. INTRODUÇÃO

1.1. A cultura do milho

Nas últimas décadas, a produção de milho se tornou a maior cultura agrícola do mundo, alcançando a marca de um bilhão de toneladas, ultrapassando a produção do arroz e do trigo (CONTINI et al., 2019).

No Brasil, o milho é um produto de grande importância na agricultura, sendo cultivado em todas as regiões do País. Na safra de 2017/2018 foram colhidos no Brasil cerca de 81,4 milhões de toneladas de milho, tornando-se o terceiro maior produtor perdendo apenas para os Estados Unidos (371 milhões de toneladas) e para a China (263 milhões de toneladas) (CONTINI et al., 2019).

A produção brasileira de milho teve uma tendência de aumentado desde o fim da década de 80, sendo o principal macroingrediente para produção de ração (CALDARELLI; BACCHI, 2012).

De acordo com o IBGE (dados obtidos a partir do Censo Agro 2017) foram produzidas, em Pernambuco, 55.293 toneladas de milho em grão (IBGE, 2017).

De grande importância na economia local, o milho é muito usado no interior da região Nordeste em indústrias alimentícias, com a produção de pipoca, cuscuz, fubá, entre outros produtos. Porém a produção desses produtos gera uma grande quantidade de resíduos, o sabugo e a palha de milho, esse montante de resíduos acaba se tornando um problema ambiental (IPEA, 2010).

1.2. Vermicompostagem

Um problema enfrentado pelos agricultores que trabalham com sistemas orgânicos de produção agrícola, ou de base ecológica, é a disponibilidade de fertilizantes adequados para atender as necessidades deste tipo de produção. Assim, uma alternativa viável para produção destes tipos de fertilizantes é a reciclagem de resíduos, os quais teriam um descarte inadequado causando impactos negativos ao ambiente (SANES et al., 2015).

Além disso, o aumento do custo dos fertilizantes minerais e a crescente poluição ambiental tornaram o uso de resíduos orgânicos na agricultura uma opção interessante do ponto de vista econômico, em razão da ciclagem de carbono e nutrientes (BONI et al., 2014).

Neste sentido, destacam-se as tecnologias ambientais de reciclagem e valorização da matéria orgânica. Dentre os vários processos de transformação química, física e biológica de resíduos orgânicos, que visam sua reutilização na agricultura, citam-se a compostagem e a vermicompostagem (DORES-SILVA; LANDGRAF; REZENDE, 2013).

A compostagem consiste em uma bio-oxidação acelerada e estabilização da matéria orgânica (MO) biodegradável proveniente de resíduos orgânicos, que passa por um estágio termofílico (45 ° a 65 ° C), onde microorganismos (principalmente bactérias, fungos e actinomicetos) degradam a MO, liberando energia térmica (calor), dióxido de carbono e água. O material orgânico heterogêneo é transformado em um produto homogêneo e estabilizado, popularmente conhecido como húmus (ABNT, 1996; DOMINGUEZ, EDWARDS, & SUBLER, 1997).

Portanto, compostagem é uma tecnologia de decomposição da MO de diferentes resíduos, de forma mais acelerada e otimizada se comparando ao que ocorreria no ambiente (NUNES et al., 2018).

Outra tecnologia de transformação da MO é a vermicompostagem, que é também um processo de bio-oxidação e estabilização de material orgânico, transformando-o em uma MO estável e de elevado potencial fertilizante. Ao contrário da compostagem, a vermicompostagem envolve a ação conjunta de minhocas e da microflora que vive no seu trato digestivo e não envolve um estágio termofílico. As minhocas são os agentes de viragem, fragmentação e aeração (DOMINGUEZ; EDWARDS; SUBLER, 1997; NUNES et al., 2018).

Uma das vantagens da vermicompostagem é a utilização das minhocas na decomposição e fragmentação rápida de resíduos orgânicos, resultando na produção do húmus, por possuir propriedades bioenergéticas interessantes, com vista à recuperação de solos, bem como às alterações favoráveis em termos microbiológicos proporcionadas por este tratamento (CARLESSO; RIBEIRO; HOEHNE, 2011).

A utilização do humus produzido por minhocas é 70% mais rico em nutrientes do que os húmus convencionais. Nunes et al. (2018) descreveu algumas vantagens da aplicação de vermicompostos na agricultura, se utilizados de forma adequada, sob orientação agronômica, sendo:

- i. Não é prejudicial ao ambiente;
- ii. Não contamina o solo e a água, a exemplo da utilização de fertilizantes químicos;
- iii. Enriquecimento do solo com nutrientes;
- iv. É uma fonte de nutrientes para as plantas, dando origem à plantas mais fortes e com maior resistência à pragas e doenças;
- v. Propicia a produção de alimentos mais saudáveis;
- vi. Controle da toxicidade do solo, corrigindo excessos de alumínio, ferro e manganês;
- vii. Maior absorção dos nutrientes pelas raízes das plantas;
- viii. Favorece a entrada de ar e circulação de água no solo, e melhora a sua estrutura;
- ix. Produção de fertilizante orgânico de elevada qualidade para manutenção do solo; e
- x. Regulador de crescimento, capaz de influenciar a germinação de sementes, desenvolvimento das raízes, e a absorção de nutrientes.

Para a realização da vermicompostagem, as minhocas têm seu papel de destaque. Muito importante na fertilização e recuperação dos solos, as minhocas tem o poder de ingerir solo e MO equivalente ao seu próprio peso, sendo capaz de digerir e expelir cerca de 60% do que comeu na forma de vermicomposto (NUNES et al., 2018).

As minhocas são hermafroditas, ou seja, um único indivíduo apresenta órgão reprodutor feminino e masculino. Contudo, são necessários dois indivíduos para que ocorra a reprodução. Após a fecundação das minhocas, em quatro dias ocorre a formação dos casulos, que é uma espécie de bolsa que se forma a partir do clitelo. O clitelo é uma região mais espessa que se situa na região anterior da minhoca, facilmente visível nas adultas. O embrião pode levar de 14 a 44 dias para eclodir, no qual cada casulo pode dar origem de 1 a 9 minhocas. As minhocas-filhas desenvolvem maturidade sexual e formação completa do clitelo em um período de 40 a 60 dias, estando aptas a reprodução (EMBRAPA, 1992).

As minhocas são classificadas de acordo com a sua coloração: vermelha e cinzenta. Do grupo das vermelhas, destacam-se a minhoca vermelha (*Lumbricus rubellus*) e a vermelha da

Califórnia (*Eisenia fetida*). E as minhocas do grupo das cinzentas, destacam-se a minhoca do campo (*Allolobophora caliginosa*) e a minhoca da noite (*Lumbricus ferrestris*) (CARLESSO; RIBEIRO; HOEHNE, 2011).

Neste estudo, foram utilizadas minhocas da espécie *Eisenia fetida*, conhecidas como minhocas vermelhas da Califórnia. Trata-se da menor espécie utilizada em vermicompostagens; seu corpo mede de 5 a 10 cm de comprimento e apresenta de 2 a 3 milímetros de diâmetro. Contudo, essa espécie de minhoca é capaz de processar uma grande variedade de materiais orgânicos, promovem a aceleração da maturação do composto, apresentam alta atividade e elevada taxa de reprodução, diminuindo o ritmo de reprodução quando o espaço onde se encontram estiver pequeno para a quantidade de indivíduos (NUNES et al., 2018; RICCI, 1996).

Ao que se refere ao tempo de obtenção do vermicomposto, varia de acordo com o material dos resíduos frescos utilizados. Materiais mais fibrosos, por exemplo, com alto teor de lignina, levam maior tempo de vermicompostagem, pois são mais difíceis de serem degradados (NUNES et al., 2018).

Os vermicompostores devem ser construídos em locais bem aerados, sombreado e com boa drenagem. Um fator importante a ser observado é a umidade, sendo ideal em torno de 40%. O excesso de umidade é prejudicial às minhocas. Uma forma prática de analisar se a umidade está ideal, é colocando um pouco no material na mão e espremendo-o; a água não deve escorrer, ficando a mão apenas úmida (NUNES et al., 2018; RICCI, 1996).

Na montagem dos vermicompostores é necessário saber a proporção dos resíduos frescos (esterco, serragem, e outros compostos orgânicos) a serem utilizados. Essa proporção é medida a partir da relação C:N (proporção de carbono contida na matéria orgânica em relação ao nitrogênio) das misturas, a qual deve estar em torno de 20 – 30. A diminuição da relação C:N em função do tempo de vermicompostagem indica o aumento da degradação da MO. Quanto menor a relação C:N mais fácil é a decomposição do substrato. É considerado que a vermicompostagem chegou ao final quando sua relação C:N está em torno de 10, pois este valor indica uma baixa atividade microbiana e possível mineralização da MO (NUNES et al., 2018; RICCI, 1996).

1.3. Agricultura orgânica

A base conceitual da agricultura orgânica surgiu em 1940 com a publicação do livro ‘Um Testamento Agrícola’, de Albert Howard, onde o autor descreve que a melhoria da fertilidade do solo está diretamente relacionada ao uso de uma agricultura sustentável (NUNES et al., 2018).

A agricultura orgânica é tida como uma retomada do uso de antigas práticas agrícolas, adaptando-as às mais modernas tecnologias de produção agropecuária com o objetivo de aumentar a produtividade e causar o mínimo de interferência nos ecossistemas, além de ser uma alternativa viável para inserção dos pequenos agricultores no mercado (CAMPANHOLA; VALARINI, 2001; BNDES, 2002).

De acordo com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES):

A agricultura orgânica é um conjunto de processos de produção agrícola que parte do pressuposto básico de que a fertilidade é função direta da matéria

orgânica contida no solo. A ação de microorganismos presentes nos compostos biodegradáveis existentes ou colocados no solo possibilitam o suprimento de elementos minerais e químicos necessários ao desenvolvimento dos vegetais cultivados. Complementarmente, a existência de uma abundante fauna microbiana diminui os desequilíbrios resultantes da intervenção humana na natureza. Alimentação adequada e ambiente saudável resultam em plantas mais vigorosas e mais resistentes a pragas e doenças.

A agricultura orgânica tem como função não só aumentar a fertilidade do solo, mas também de sustentar e aumentar a saúde dos mesmos, das plantas, dos animais e do ser humano, sendo por meio do manejo do solo, do processamento dos alimentos, da distribuição e do consumo. Uma vez que apenas em um solo saudável é possível produzir alimentos que vão sustentar animais e pessoas de forma saudável (FONSECA, 2009).

O uso da agricultura orgânica no Brasil pode contribuir para a minimização de problemas do solo, tais como o baixo teor de MO e de fertilidade, em contrapartida às práticas convencionais inapropriadas e o alto custo dos fertilizantes. A agricultura orgânica pode interferir no aumento da produtividade e na qualidade dos produtos obtidos, consequentemente, melhorando a relação custo/benefício na produção agrícola (NUNES et al., 2018).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Producir vermicompostos a partir dos resíduos da produção de milho. Realizando um estudo físico e químico da vermicompostagem.

2.2. Objetivos específicos

O presente estudo teve como objetivos específicos os itens abaixo listados:

- i. Caracterizar os resíduos frescos utilizados na vermicompostagem: esterco caprino, serragem e os resíduos de milho (palha e sabugo);
- ii. Vermicompostar os resíduos frescos, adicionando o esterco de bode e serragem para um ajuste de uma relação C:N entre 20 e 30;
- iii. Caracterizar e monitorar os atributos de fertilidade (pH, MO, TOC, A, SB, CTC, %V, além dos teores de macro e micronutrientes) ao longo do processo da vermicompostagem e, também, dos vermicompostos produzidos; e
- iv. Monitorar e avaliar as minhocas por meio do cálculo de seus ganhos percentuais de tamanho (%LPG) e peso (%WPG).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Resíduos frescos

Para realizar a vermicompostagem foram utilizados os seguintes resíduos (Figura 1):

- i.* Resíduos principais (objetivo principal deste estudo):
 - i.a.* Palha de milho (Figura 1.a);
 - i.b.* Sabugo de milho (Figura 1.b).
- ii.* Resíduos secundários, que constituíram o substrato orgânico (SO):
 - ii.a.* Esterco de bode (Figura 1.c);
 - ii.b.* Serragem (Figura 1.d).



a.



c.



b.



d.

Figura 1. Resíduos utilizados no preparo dos vermicompostos; a. Palha de milho; b. Sabugo de milho; c. Esterco caprino; d. Serragem.

FONTE: Autoria própria.

Os resíduos principais (palha e sabugo de milho) e o esterco foram coletados no Sítio Espírito Santo, município de Triunfo (PE). Ambos os resíduos foram coletados, transportados e armazenados em sacos de fibra de nylon. Já para a serragem, as amostras foram coletadas na Serralharia Chumbinho localizada na cidade de Serra Talhada (PE).

Para caracterizar os resíduos frescos, os seguintes parâmetros foram analisados:

- i.* pH
- ii.* Matéria orgânica (MO)
- iii.* Carbono orgânico total (TOC)
- iv.* Acidez trocável (A)
- v.* Bases trocáveis (SB)
- vi.* Capacidade de troca catiônica (CTC)

- vii. Saturação por bases (%V); e
 - viii. Macro e micronutrientes.
- As metodologias de análise encontram-se em Anexo.

3.2. Montagem dos vermicompostores

Os vermicompostores (

Figura 2) foram construídos com diferentes proporções de resíduos, determinados a partir das suas relações C:N. Para construção dos vermicompostores foram utilizados recipientes de 20 L, os quais foram preenchidos com as misturas dos resíduos.

Os vermicompostores foram construídos no Laboratório de Química Ambiental (LQA), lotado na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST).



Figura 2. Montagem dos experimentos para a vermicompostagem dos resíduos de milho.

FONTE: Autoria própria.

Os resíduos foram adicionados em patamares para a construção dos vermicompostores (Figura 3). O material misturado permaneceu em repouso durante uma semana e, em seguida, o conteúdo foi revirado/homogeneizado manualmente. Cada tratamento foi realizado em triplicata; ou seja, foram construídos três vermicompostores para cada amostra analisada.

A saber, foram construídas as seguintes amostras:

- i. VRC-S: vermicompostagem da palha de milho + SO;
- ii. VRC-C: vermicompostagem do sabugo de milho + SO;
- iii. VRC-CS: vermicompostagem da mistura de palha e sabugo de milho + SO; e
- iv. VRC-STD: Vermicompostagem do SO, sem adição dos resíduos de milho.¹

¹ Além dos vermicompostores analisados, construiu-se um vermicompostor controle (amostra STD), composto apenas pelo

Para produção dos vermicompostos, foram adicionadas em cada vermicompostor 250 minhocas da espécie californiana (*Eisenia fetida*). As minhocas foram coletadas no minhocário da UFRPE/UAST.

Uma camada de folhas secas foi adicionada como cobertura para os vermicompostores, a fim de favorecer a ambientação das minhocas, evitando o contato direto com o sol. Uma tela de nylon foi utilizada para evitar a fuga das minhocas, bem qual a entrada de outros animais no vermicompostor.

Durante o processo, quinzenalmente os vermicompostores foram revolvidos manualmente, favorecendo a aeração e o fornecimento de O₂ às minhocas e aos microorganismos, além de homogeneizar o material.

Folhas secas (5,0 cm)
Esterco (4,00 L)
VRC-S: Palha de milho (2,00 L)
VRC-C: Sabugo de milho (1,00 L)
VRC-CS: Palha de milho (0,50 L) + Sabugo de milho (0,50L)
Serragem (0,50 L)
Esterco (2,00 L)
VRC-S: Palha de milho (2,00 L)
VRC-C: Sabugo de milho (1,00 L)
VRC-CS: Palha de milho (0,50 L) + Sabugo de milho (0,50L)
Serragem (0,50 L)
Esterco (2,00 L)
VRC-S: Palha de milho (2,00 L)
VRC-C: Sabugo de milho (1,00 L)
VRC-CS: Palha de milho (0,50 L) + Sabugo de milho (0,50L)
Serragem (0,50 L)
Esterco (2,00 L)
VRC-S: Palha de milho (2,00 L)
VRC-C: Sabugo de milho (1,00 L)
VRC-CS: Palha de milho (0,50 L) + Sabugo de milho (0,50L)
Esterco (2,00 L)
Serragem (0,50 L)
Esterco (4,00 L)

Figura 3. Horizontes dos resíduos frescos utilizados na construção dos vermicompostores (amostras VRC-S, VRC-C e VRC-CS). Para a construção do vermicompostor controle (amostra VRC-STD) foram omitidos os horizontes contendo os resíduos de milho.

3.3. Monitoramento da vermicompostagem

O monitoramento da vermicompostagem consistiu no acompanhamento do desenvolvimento dos parâmetros físicos e químicos, que ocorreram durante o processo de

transformação dos resíduos frescos em vermicompostos. Neste trabalho foram realizados dois tipos de monitoramento:

- i. Monitoramento das minhocas: compreende o acompanhamento dos ganhos percentuais de massa e de tamanho das minhocas *E. fetida*, ao longo da vermicompostagem.
- ii. Monitoramento químico: compreende o acompanhamento dos atributos químicos que indicam a ocorrência das transformações da MO, ao longo da vermicompostagem.

*3.3.1. Monitoramento das minhocas *E. fetida**

O monitoramento das minhocas compreendeu em avaliar se as minhocas estão se adaptando ao ambiente. Para isso, foram avaliados os seguintes atributos:

- i. Ganho percentual de massa (%WPG): Foram coletados aleatoriamente 3 grupos de 5 minhocas em cada vermicompostor, lavadas com água corrente, secas com papel absorvente e pesados. As coletas foram realizadas nos tempos: 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias. O %WPG foi calculado a partir do peso das minhocas em cada tempo comparado ao peso de quando foram adicionadas aos vermicompostores. Por fim as minhocas foram devolvidas aos seus respectivos vermicompostores.
- ii. Ganho percentual de tamanho (%LPG): Foram coletadas aleatoriamente 3 minhocas de cada vermicompostor e asfixiadas em etanol. Em seguida foram secas e medidas. As coletas foram realizadas nos tempos: 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias. O %LPG foi calculado a partir do tamanho das minhocas em cada tempo comparado ao tamanho de quando foram adicionadas aos vermicompostores. As minhocas sacrificadas foram refrigeradas para posteriormente ser incineradas.

3.3.2. Monitoramento químico

Para o monitoramento químico foi coletado 1,00 L de material em cada vermicompostor, nos tempos: 0, 15, 30, 45, 60, 90 e 120 dias. Em seguida, a partir de cada triplicata foi misturado 250,00 mL de cada réplica, formando uma amostra composta, sendo conservada em sacos plásticos. As amostras compostas foram levadas à estufa em torno de 48 horas, à uma temperatura de 40°C. Após seco o material foi triturado e peneirado em peneiras granulométricas de 35 e 60 Mesh.

Os parâmetros analisados foram os seguintes:

- i. Temperatura
- ii. Sólidos totais (TS)
- iii. pH
- iv. Matéria orgânica (MO)
- v. Carbono orgânico total (TOC)
- vi. Acidez trocável (A)
- vii. Bases trocáveis (B)
- viii. Capacidade de troca catiônica (CTC)
- ix. Saturação por bases (%V)

As metodologias de análise encontram-se em Anexo.

A temperatura dos vermicompostores foi monitorada três vezes por semana (segundas, quartas e sextas). Foram realizadas entre as 7 e as 9 da manhã, utilizando um termômetro. A temperatura foi medida em três pontos diferentes: ponto baixo (L), médio (M) e alto (H), dispostos verticalmente em cada vermicompostor.

3.4. Análises Estatísticas

Análises, testes e determinações químicas foram realizados em triplicata e os resultados apresentados na forma de média ± desvio padrão (DP).

Os testes estatísticos de significância foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguido de teste de Duncan para comparação entre as médias dos tratamentos ($P < 0,05$ e $n - 1$ graus de liberdade).

Os testes e análises estatísticas foram realizados no programa SPSS Statistics® v.025, desenvolvido pela IBM®. Software licenciado.

3.5. Gerenciamento e tratamento dos resíduos gerados

Os resíduos gerados durante o desenvolvimento deste projeto foram imediatamente coletados e rotulados, após cada etapa. Os resíduos gerados foram devidamente tratados, de acordo com as normas e procedimentos já adotados na UFRPE/UAST.

3.6. Procedimentos laboratoriais

Os procedimentos laboratoriais, analíticos ou não, foram realizados de acordo com os quesitos, quando cabíveis, da norma (ISO 17025, 2017) (Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração) e com os princípios das Boas Práticas de Laboratório (BPL), a fim de garantir a rastreabilidade e o gerenciamento da qualidade, agregando valor e credibilidade aos resultados obtidos (ISO, 1999).

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização dos resíduos frescos

Os resultados obtidos dos resíduos frescos mostraram-se em sua maioria que são quimicamente diferentes entre eles (ANOVA One-way, $P < 0,05$) (Tabela 1).

Ao analisar os resultados do pH e da CTC, todos os valores obtidos são estatisticamente diferentes para todos os resíduos analisados. Já para os valores do TOC, todas as amostras apresentaram resultados estatisticamente iguais (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

Ao analisar os resultados do pH e da CTC, todos os valores obtidos são estatisticamente diferentes para todos os resíduos analisados. Já para os valores do TOC, todas as amostras apresentaram resultados estatisticamente iguais (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

Tabela 1. Características químicas dos resíduos frescos utilizados nos preparos dos vermicompostos: resíduos de milho (palha e sabugo), esterco e serragem (média seguida de ANOVA e teste de Duncan para diferenciação das médias, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais).

	GM	SD	C	S
pH	6,42d	4,63b	4,32a	5,15c
MO (%)	78,87a	95,27b	97,56b	96,83b
TOC (%)	44,47a	57,07a	43,87a	42,77a
A (cmol _c kg ⁻¹)	6,92c	0,60a	3,86b	4,05b
SB (cmol _c kg ⁻¹)	41,86c	26,46b	28,99b	5,03a
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	48,78d	27,06b	32,85c	9,08a
%V	85,76b	97,78c	88,30b	55,35a

LEGENDA: GM Esterco de bode; SD Serragem; C Sabugo de milho; S Palha de milho. EC Condutoividade elétrica; MO Matéria Orgânica; TOC Carbono orgânico total; A Acidez trocável; SB Soma das bases; CTC Capacidade de troca catiônica; %V Saturação por bases.
Valores na mesma linha, seguidos pela mesma letra, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way.

No que se refere aos teores de MO, as amostras SD, C e CS apresentaram resultados estatisticamente iguais; sendo a o resíduo GM o único a apresentar um teor diferente e, também, o menor percentual de MO (78,87% ; Tabela 1) (ANOVA One-way, P < 0,05).

Quanto aos valores de A, observou-se que C e S são estatisticamente iguais e, comparados aos demais valores, são estatisticamente diferentes as amostras GM e SD.

Para os valores de SB, foi determinado que SD e C apresentou resultados estatisticamente iguais e, comparados aos demais valores, suas SB são estatisticamente diferentes (amostra GM e S).

Quanto aos valores de %V, apesar dos resultados variarem entre si, sendo apenas as amostras GM e C estatisticamente iguais entre si, a amostra S apresentou o menor valor obtido, muito abaixo das demais (55% contra 85-97%) (ANOVA One-way, P < 0,05).

4.2. Monitoramento das minhocas *E. fetida*

De acordo com o monitoramento das minhocas, considera-se possível a utilização das *E. fetida* na vermicompostagem dos resíduos de milho, nas condições aplicada neste estudo. Para isso, avaliaram-se os ganhos percentuais de massa (%WPG) e de tamanho (%LPG).

4.2.1. Ganho percentual de massa (%WPG)

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 2 e Figura 4), nos 15 primeiros dias ocorreu um aumento considerável no %WPG das minhocas analisadas. A partir de então, ocorreram apenas decaimentos até o final da vermicompostagem, aos 120 dias. Nessa data, apenas a amostra VRC-STD apresentava um menor %WPG (0,30%), enquanto que as demais amostras VRC – C, VRC-S e VRC – CS apresentaram o mesmo resultado (0,40%) (ANOVA One-way, P < 0,05).

4.2.2. Ganhos percentuais de tamanho (%LPG)

Os valores obtidos no ganho percentual de tamanho (Tabela 3 e Figura 5) indicaram um aumento nos %LPG, nos primeiros 15 dias apenas nas amostras STD - C e VRC - CS; nas demais amostras (VRC - STD e VRC - S) os valores de %LPG diminuíram, respectivamente.

No final da vermicompostagem, aos 120 dias, a mostra VRC - STD apresentou o menor resultado do %LPG (3,30%), por outro lado a amostra VRC - S apresentou o maior resultado do %LPG (3,60%); as amostras VRC - C e VRC - CS apresentaram resultados estatisticamente iguais do %LPG (3,50%); (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

4.3. Monitoramento da vermicompostagem

O processo de vermicompostagem foi monitorado por meio do desenvolvimento dos seguintes atributos: temperatura, ST, pH, MO, A, SB, CTC e %V. Os resultados obtidos encontram-se apresentados nos itens a seguir.

4.3.1. Temperatura

As variações da temperatura foram apresentadas em três gráficos, cada um para uma altura do vermicompostor: ponto alto (H) (figura 6), ponto médio (M) (Figura 7), ponto baixo (L) (Figura 8). Além disso, monitorou-se a temperatura ambiente (T_{amb}) no momento das medições.

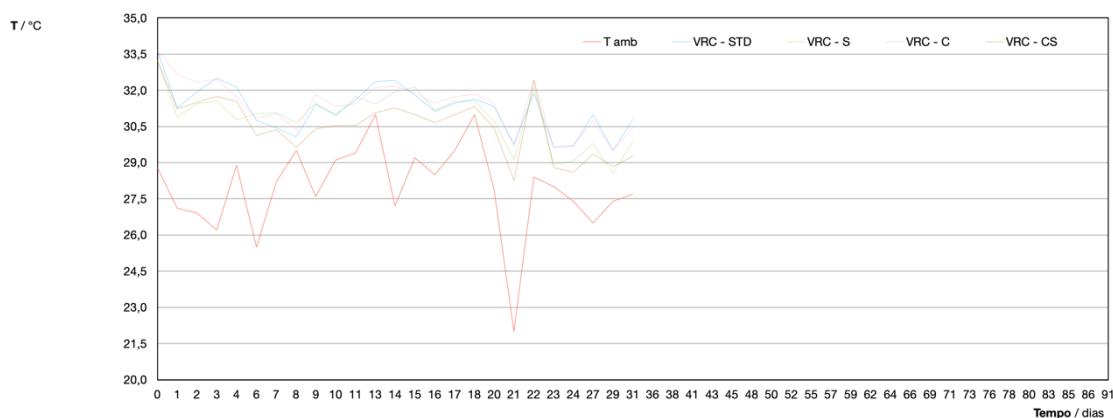


Figura 6. Monitoramento da temperatura ao longo da vermicompostagem no ponto alto (H) e, também, a temperatura ambiente no momento da medição (T_{amb}).

Tabela 2. Ganho percentual de massa (%WPG) das minhocas *E. fetida* durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) e amostra controle (VRC - STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em %.

	VRC - STD	VRC - C	VRC - S	VRC - CS
0 dias	0,30a	0,30a	0,30a	0,30a
15 dias	0,90e	0,90g	0,90e	0,90e
30 dias	0,90e	0,90fg	0,80d	0,90e
45 dias	0,80e	0,80ef	0,80de	0,80e
60 dias	0,70d	0,70e	0,70c	0,70d
75 das	0,50c	0,70de	0,50b	0,50c
90 dias	0,50c	0,60cd	0,50b	0,40abc
105 dias	0,50bc	0,50bc	0,50b	0,50bc
120 dias	0,30ab	0,40ab	0,40b	0,40ab

Valores na mesma coluna, seguidos pela mesma letra minúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam os resultados de uma mesma amostra em diferentes tempos, de 0-120 dias.

Valores na mesma linha, seguidos pela mesma letra maiúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam o atributo analisado em todos os vermicompostos obtidos, no tempo de 120 dias.

LEGENDA: VRC - STD Amostra controle, apenas substrato orgânico; VRC - C Vermicomposto de sabugo + substrato orgânico; VRC - S Vermicomposto de palha + substrato orgânico; VRC - CS Vermicomposto de sabugo + palha + substrato orgânico.

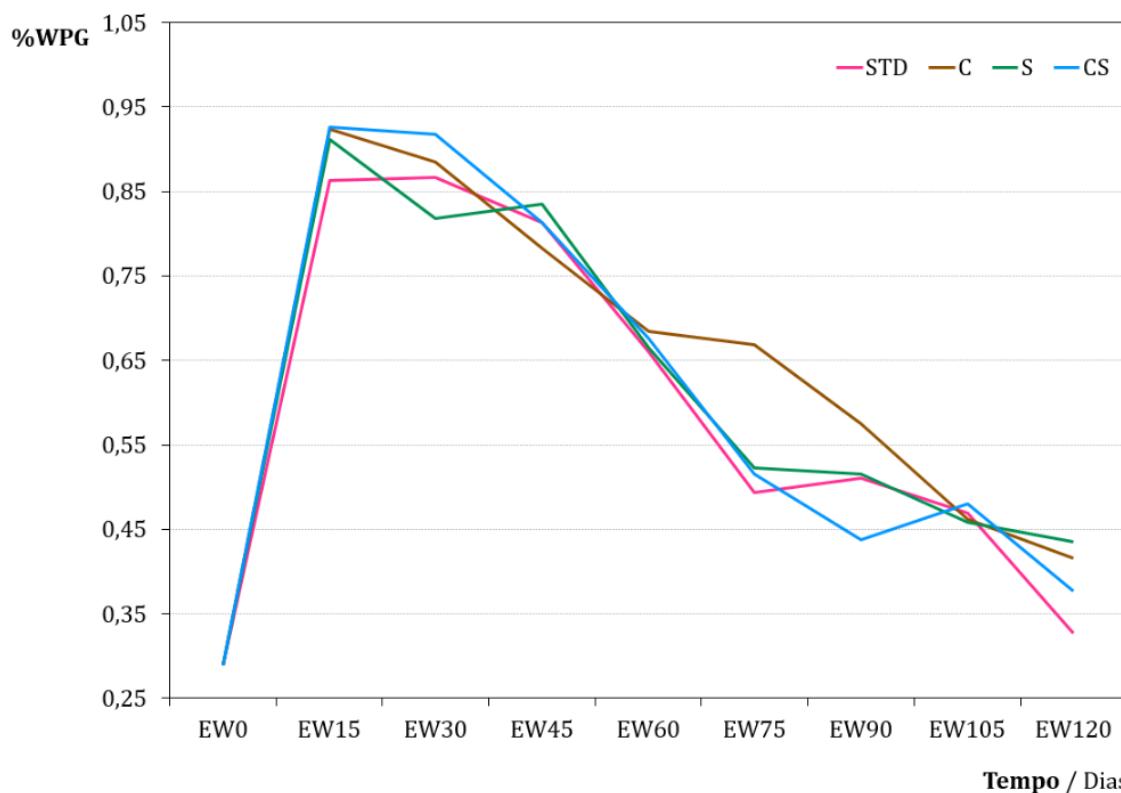


Figura 4. Ganho percentual de massa (%WPG) das minhocas *E. fetida* durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (sabugo e palha: amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias.

Tabela 3. Ganho percentual de tamanho (%LPG) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) e amostra controle (VRC - STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em %.

	VRC - STD	VRC - C	VRC - S	VRC - CS
0 dias	4,30c	4,30cd	4,30c	4,30d
15 dias	4,20bc	4,50d	4,20c	4,40d
30 dias	4,30c	4,50d	4,10bc	4,00bcd
45 dias	4,20bc	4,20bc	4,20c	4,30d
60 dias	3,80ab	3,80ab	3,90bc	4,10cd
75 das	3,60a	4,00bc	3,30a	3,60abc
90 dias	3,50a	3,70a	3,30a	3,40a
105 dias	3,50a	3,60a	3,30a	3,30a
120 dias	3,30a	3,50a	3,60ab	3,50ab

Valores na mesma coluna, seguidos pela mesma letra minúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam os resultados de uma mesma amostra em diferentes tempos, de 0-120 dias.

Valores na mesma linha, seguidos pela mesma letra maiúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam o atributo analisado em todos os vermicompostos obtidos, no tempo de 120 dias.

LEGENDA: VRC - STD Amostra controle, apenas substrato orgânico; VRC - C Vermicomposto de sabugo + substrato orgânico; VRC - S Vermicomposto de palha + substrato orgânico; VRC - CS Vermicomposto de sabugo + palha + substrato orgânico.



Figura 5. Ganho percentual de tamanho (%LPG) das minhocas *E. fetida* durante a vermicompostagem dos resíduos de milho – sabugo e palha (amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) - e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias.

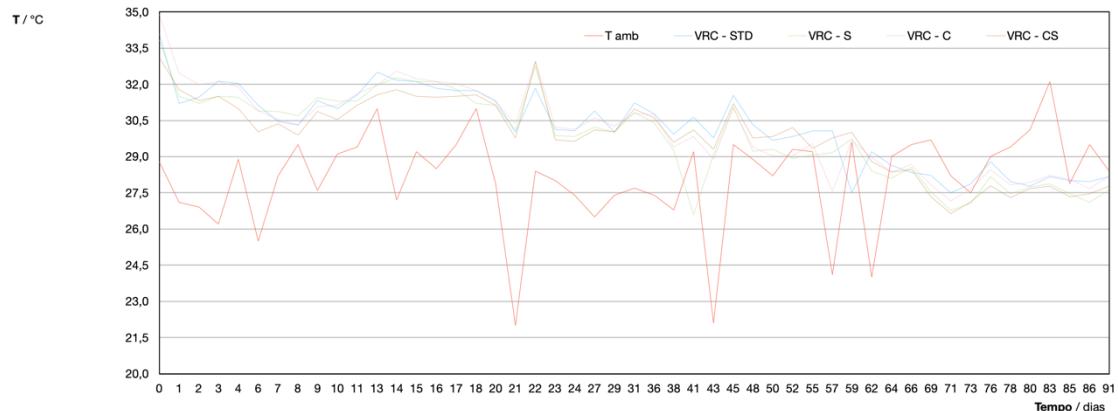


Figura 6. Monitoramento da temperatura ao longo da vermicompostagem no ponto médio (M) e, também, a temperatura ambiente no momento da medição (T_{amb}).



Figura 7. Monitoramento da temperatura ao longo da vermicompostagem no ponto baixo (L) e, também, a temperatura ambiente no momento da medição (T_{amb}).

4.3.2. Sólidos totais (ST)

Os resultados de ST não apresentaram uma lógica ou tendência de aumento ou diminuição ao longo da vermicompostagem (Tabela 4 e Figura 8).

Os valores de ST encontram-se sob influência direta da umidade e outros fatores externos. Considerando que o experimento foi realizado nas condições edafoclimáticas do sertão pernambucano, já era esperado que o experimento fosse realizado sob condições de elevadas temperaturas (22-31°C) e de baixa umidade natural, que influenciaram os teores dos sólidos totais.

Apesar da tendência aleatória no desenvolvimento dos STs ao longo da vermicompostagem, as amostras VRC - STD, VRC - S e VRC - CS apresentaram uma evolução semelhante. Após 120 dias de vermicompostagem, os valores obtidos de ST eram estatisticamente iguais: ST 92,79%, 91,42% e 92,48%, respectivamente (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

Tabela 4. Monitoramento dos sólidos totais (ST) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) e amostra controle (VRC - STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em %.

	VRC - STD	VRC - C	VRC - S	VRC - CS
0 dias	92,93a	90,20ab	90,50a	90,01a
15 dias	93,27a	90,43ab	90,23a	90,51a
30 dias	83,55a	90,72ab	92,85a	92,35a
45 dias	90,79a	76,70a	93,39a	93,58a
60 dias	87,48a	86,78ab	93,87a	93,55a
90 dias	93,00a	90,25ab	91,12a	95,44a
120 dias	92,79aAB	96,95bB	91,42aA	92,48aAB

Valores na mesma coluna, seguidos pela mesma letra minúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam os resultados de uma mesma amostra em diferentes tempos, de 0-120 dias.

Valores na mesma linha, seguidos pela mesma letra maiúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam o atributo analisado em todos os vermicompostos obtidos, no tempo de 120 dias.

LEGENDA: VRC - STD Amostra controle, apenas substrato orgânico; VRC - C Vermicomposto de sabugo + substrato orgânico; VRC - S Vermicomposto de palha + substrato orgânico; VRC - CS Vermicomposto de sabugo + palha + substrato orgânico.



Figura 8. Monitoramento dos sólidos totais durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) - e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).

4.3.3. pH

Ao analisar os resultados de pH obtidos (Tabela 5 e Figura 9), com exceção da amostra VRC - STD, todas as amostras apresentaram uma diminuição nos valores de pH.

Quando adicionadas as minhocas aos vermicompostos (tempo = 0 dias) os valores de pH foram determinados entre 7,04-7,23. No final da vermicompostagem, aos 120 dias, os vermicompostos apresentaram valores de pH entre 6,83-7,11.

A amostra que apresentou maior diminuição no pH foi a VRC - C, seguidas pelas demais amostras contendo resíduos de milho (VRC - CS e VRC - S, respectivamente). Aos 120 dias, todas as amostras contendo resíduos de milho apresentaram valores estatisticamente iguais de pH; a amostra controle (VRC - STD), ao contrário, apresentou um aumento de seu pH, além de ser estatisticamente diferente das demais (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

4.3.4. Matéria Orgânica (MO)

Ao analisar os teores de MO, pode-se observar nos resultados (Tabela 6 e Figura 10) que todas as amostras tenderam a diminuir seus valores de matéria orgânica, ao longo da vermicompostagem.

No início da vermicompostagem ($T = 0$ dias) os teores de MO eram estatisticamente iguais para todas as amostras (ANOVA One-way, $P < 0,05$). A maior redução nos teores de MO foi para a amostra VRC - S (29,43% entre 0 e 120 dias), seguido pelas demais amostras. A menor redução foi observada na amostra VRC - STD (11,96% entre 0 e 120 dias).

Aos 120 dias, todas as amostras apresentaram teores de MO estatisticamente iguais, variando de 49,88% a 62,87% (Tabela 6) (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

4.3.5. Carbono orgânico total (TOC)

Avaliando os resultados obtidos, àqueles que se referem aos teores de TOC (Tabela 7 e Figura 11), todas as amostras apresentaram uma tendência de decaimento ao longo da vermicompostagem.

No inicio da vermicompostagem ($T = 0$ dias) os teores de TOC eram estatisticamente iguais para as amostras VRC - C e VRC - CS ($36,00 \text{ mg kg}^{-1}$ e $30,07 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente) e diferentes das amostras VRC - STD e VRC - S ($31,45 \text{ mg kg}^{-1}$ e $31,05 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente) que são estatisticamente diferentes entre si. A maior redução nos teores do TOC foi para a amostra VRC - STD (27,37% entre 0 e 120 dias), seguido pelas demais amostras. A menor redução foi observada na amostra VRC - S (20,53% entre 0 e 120 dias) (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

Aos 120 dias, todas as amostras apresentaram teores de TOC estatisticamente iguais, variando de 27,60% a 31,45% (Tabela 7) (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

Tabela 5. Monitoramento do pH durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) e amostra controle (VRC - STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, $n = 3$, $p < 0,05$, com base no peso seco dos materiais).

	VRC - STD	VRC - C	VRC - S	VRC - CS
0 dias	7,04bc	7,23b	7,08b	7,05c
15 dias	7,25e	6,91a	6,87a	6,93abc
30 dias	6,97b	6,94a	6,91a	6,95abc
45 dias	7,03bc	6,77a	6,83a	6,89ab
60 dias	6,81a	6,97a	7,06b	6,84a
90 dias	7,14d	6,91a	6,79a	7,02bc
120 dias	7,11cdB	6,82aA	6,86aA	6,86aA

Valores na mesma coluna, seguidos pela mesma letra minúscula, são estatisticamente iguais em $P < 0,05$ de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam os resultados de uma mesma amostra em diferentes tempos, de 0-120 dias.

Valores na mesma linha, seguidos pela mesma letra maiúscula, são estatisticamente iguais em $P < 0,05$ de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam o atributo analisado em todos os vermicompostos obtidos, no tempo de 120 dias.

LEGENDA: VRC - STD Amostra controle, apenas substrato orgânico; VRC - C Vermicomposto de sabugo + substrato orgânico; VRC - S Vermicomposto de palha + substrato orgânico; VRC - CS Vermicomposto de sabugo + palha + substrato orgânico.

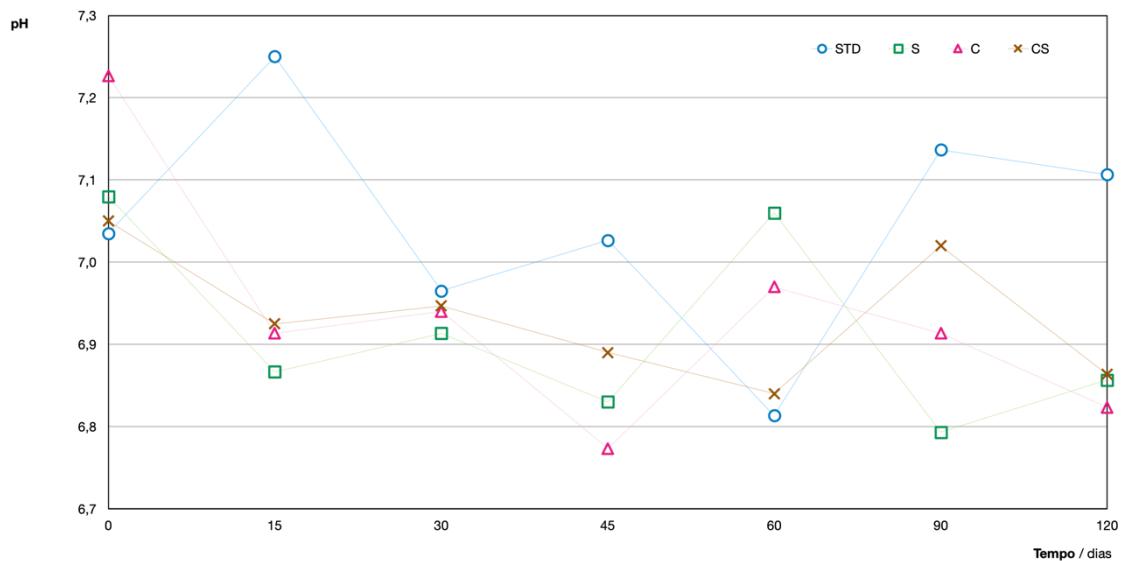


Figura 9. Monitoramento do pH durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) - e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).

Tabela 6. Monitoramento da matéria orgânica (MO) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) e amostra controle (VRC - STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em %.

	VRC - STD	VRC - C	VRC - S	VRC - CS
0 dias	71,41a	58,34a	83,79a	62,97a
15 dias	69,10ab	52,88ab	66,05a	67,16a
30 dias	65,08ab	61,16ab	63,58a	59,16a
45 dias	59,32abc	51,49ab	61,35ab	57,76ab
60 dias	59,18bcd	51,44b	57,20ab	53,36b
90 dias	54,91cd	47,82c	53,06ab	53,03bc
120 dias	62,87cdA	49,88cA	59,13bA	53,66cA

Valores na mesma coluna, seguidos pela mesma letra minúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam os resultados de uma mesma amostra em diferentes tempos, de 0-120 dias.

Valores na mesma linha, seguidos pela mesma letra maiúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam o atributo analisado em todos os vermicompostos obtidos, no tempo de 120 dias.

LEGENDA: VRC - STD Amostra controle, apenas substrato orgânico; VRC - C Vermicomposto de sabugo + substrato orgânico; VRC - S Vermicomposto de palha + substrato orgânico; VRC - CS Vermicomposto de sabugo + palha + substrato orgânico.

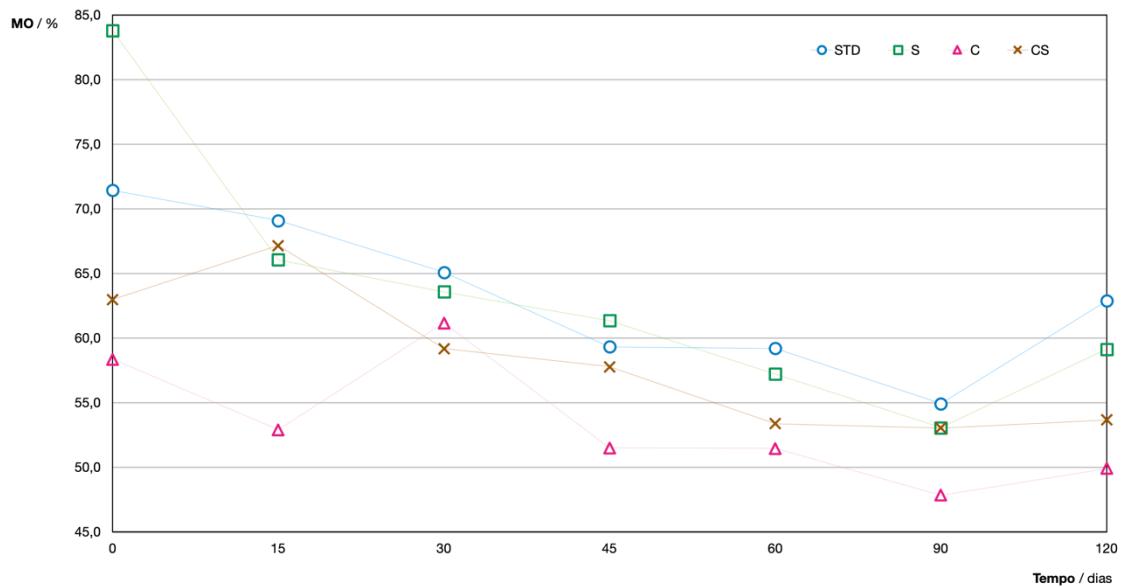


Figura 10. Monitoramento da matéria orgânica (MO) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) - e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).

Tabela 7. Monitoramento do carbono orgânico total (TOC) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) e amostra controle (VRC - STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em mg kg⁻¹.

	VRC - STD	VRC - C	VRC - S	VRC - CS
0 dias	43,30d	36,00c	39,07b	38,43c
15 dias	39,87cd	35,45c	37,90b	39,20c
30 dias	39,70cd	32,50b	36,53b	33,77b
45 dias	36,87bc	28,47a	37,67b	31,97ab
60 dias	33,60ab	27,70a	31,37a	31,77ab
90 dias	30,57a	26,87a	30,57a	29,33a
120 dias	31,45aA	27,60aA	31,05aA	30,07abA

Valores na mesma coluna, seguidos pela mesma letra minúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam os resultados de uma mesma amostra em diferentes tempos, de 0-120 dias.

Valores na mesma linha, seguidos pela mesma letra maiúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam o atributo analisado em todos os vermicompostos obtidos, no tempo de 120 dias.

LEGENDA: VRC - STD Amostra controle, apenas substrato orgânico; VRC - C Vermicomposto de sabugo + substrato orgânico; VRC - S Vermicomposto de palha + substrato orgânico; VRC - CS Vermicomposto de sabugo + palha + substrato orgânico.

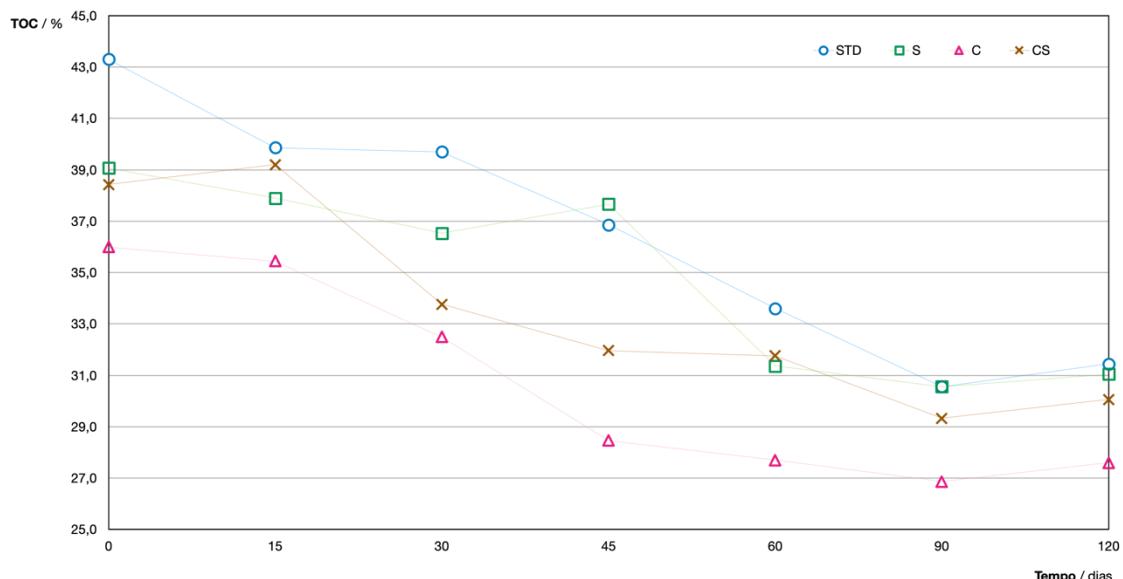


Figura 11. Monitoramento do carbono orgânico total (TOC) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) - e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).

4.3.6. *Acidez trocável (A)*

Os resultados obtidos da acidez trocável (A) (Tabela 8 e Figura 12) mostraram que houve um decaimento significativo em todas as amostras nos 15 primeiros dias. A partir dos 15 primeiros dias até o fim da vermicompostagem (120 dias) a variação do teor de A foi muito pequena para todas as amostras.

No inicio da vermicompostagem ($T=0$ dias) os teores de A eram estatisticamente iguais para as amostras VRC – STD, VRC – C e VRC – S ($6,13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, $6,99 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e $7,84 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, respectivamente) diferenciando apenas da amostra VRC – CS ($5,66 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). A maior redução nos teores de A foi para a amostra VRC - S (79,85% entre 0 e 120 dias), seguido pelas demais amostras. A menor redução foi observada na amostra VRC - CS (67,49% entre 0 e 120 dias) (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

Ao fim dos 120 dias todas as amostras apresentaram teores de A estatisticamente iguais: variando de 1,58% a 1,84% (Tabela 8) (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

4.3.7. *Soma das bases (SB)*

Analizando os resultados de SB (Tabela 9 e Figura 13) pode-se observar que nos primeiros 15 dias de experimento todas as amostras tiveram uma pequena variação. Após os 15 dias de vermicompostagem até o final (120 dias), todas as amostras seguiram uma tendência de aumentar.

No inicio da vermicompostagem ($T = 0$ dias) os teores de SB eram estatisticamente iguais para todas as amostras. O maior aumento nos teores de SB foi determinado para a amostra VRC - CS (1.647,20% entre 0 e 120 dias), seguido pelas demais amostras. O menor aumento foi observado na amostra VRC - STD (955,68% entre 0 e 120 dias) (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

Ao final da vermicompostagem (120 dias) todas as amostras apresentaram valores de SB estatisticamente diferentes: VRC – STD ($408,76 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), VRC – C ($563,17 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), VRC – S ($493,47 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e VRC – CS ($646,64 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) (Tabela 9)(ANOVA One-way, $P < 0,05$).

4.3.8. *Capacidade de troca catiônica (CTC)*

A CTC (Tabela 10 e Figura 14) foi determinada por meio da soma da acidez trocável (A) (Tabela 8 e Figura 12) e da soma das bases (SB) (Tabela 9 e Figura 13). Pode-se observar que nos primeiros 15 dias de experimento todas as amostras tiveram uma variação muito pequena na CTC. Após os 15 dias até o fim da vermicompostagem (120 dias) todas as amostras seguiram uma tendência de aumentar a CTC.

No inicio da vermicompostagem ($T = 0$ dias) os teores de CTC eram estatisticamente iguais para todas as amostras. O maior aumento nos teores da CTC foi para a amostra VRC - CS (1.419,76% entre 0 e 120 dias), seguido pelas demais amostras. O menor aumento foi observado na amostra VRC - STD (815,21% entre 0 e 120 dias) (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

Ao final da vermicompostagem (120 dias) todas as amostras apresentaram valores de CTC estatisticamente diferentes: VRC – STD ($410,47 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), VRC – C ($564,76 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), VRC – S ($495,05 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e VRC – CS ($648,48 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) (Tabela 10) (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

Tabela 8. Monitoramento da acidez trocável (A) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) e amostra controle (VRC - STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

	VRC - STD	VRC - C	VRC - S	VRC - CS
0 dias	6,13b	6,99b	7,84b	5,66c
15 dias	2,63a	2,50a	2,64a	2,40ab
30 dias	2,91a	2,36a	2,39a	2,76ab
45 dias	2,39a	2,39a	2,38a	2,52ab
60 dias	2,36a	2,38a	1,99a	3,15b
90 dias	2,12a	2,38a	2,62a	2,22ab
120 dias	1,71aA	1,60aA	1,58aA	1,84aA

Valores na mesma coluna, seguidos pela mesma letra minúscula, são estatisticamente iguais em $P < 0,05$ de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam os resultados de uma mesma amostra em diferentes tempos, de 0-120 dias.

Valores na mesma linha, seguidos pela mesma letra maiúscula, são estatisticamente iguais em $P < 0,05$ de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam o atributo analisado em todos os vermicompostos obtidos, no tempo de 120 dias.

LEGENDA: VRC - STD Amostra controle, apenas substrato orgânico; VRC - C Vermicomposto de sabugo + substrato orgânico; VRC - S Vermicomposto de palha + substrato orgânico; VRC - CS Vermicomposto de sabugo + palha + substrato orgânico.

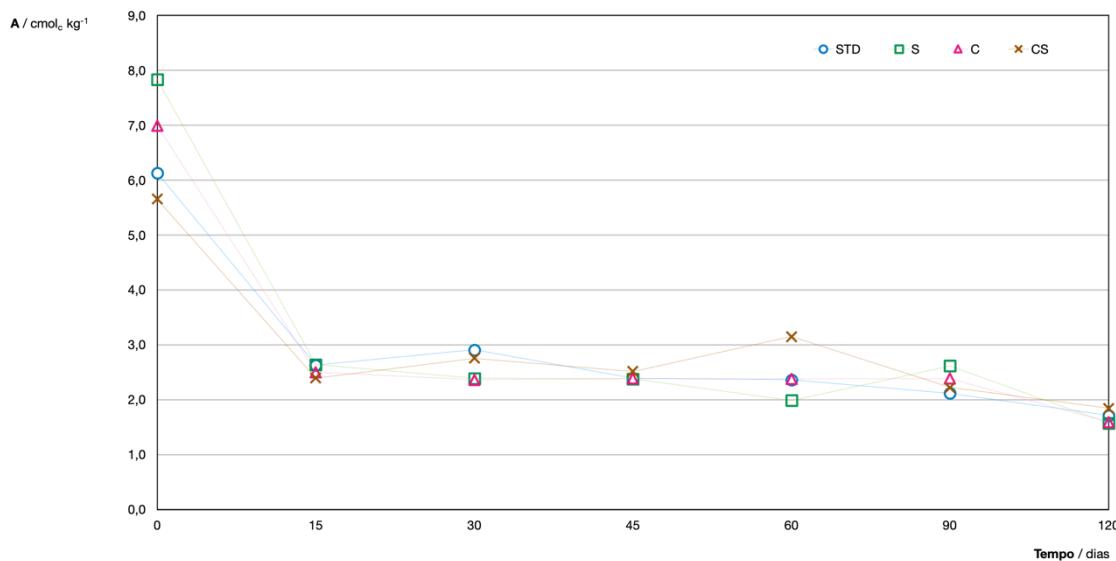


Figura 12. Monitoramento da acidez trocável (A) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) - e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).

Tabela 9. Monitoramento das somas das bases (SB) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) e amostra controle (VRC - STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em cmol_c kg⁻¹.

	VRC - STD	VRC - C	VRC - S	VRC - CS
0 dias	38,72a	40,09a	29,67a	37,01a
15 dias	41,37a	47,42a	33,06a	42,01a
30 dias	59,28a	116,54b	94,03a	144,06b
45 dias	116,94b	379,95c	194,20b	415,36c
60 dias	384,61c	471,35d	369,19c	477,50d
90 dias	376,80d	519,32de	407,20cd	544,26e
120 dias	408,76eA	563,17eC	493,47dB	646,64fD

Valores na mesma coluna, seguidos pela mesma letra minúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam os resultados de uma mesma amostra em diferentes tempos, de 0-120 dias.

Valores na mesma linha, seguidos pela mesma letra maiúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam o atributo analisado em todos os vermicompostos obtidos, no tempo de 120 dias.

LEGENDA: VRC - STD Amostra controle, apenas substrato orgânico; VRC - C Vermicomposto de sabugo + substrato orgânico; VRC - S Vermicomposto de palha + substrato orgânico; VRC - CS Vermicomposto de sabugo + palha + substrato orgânico.

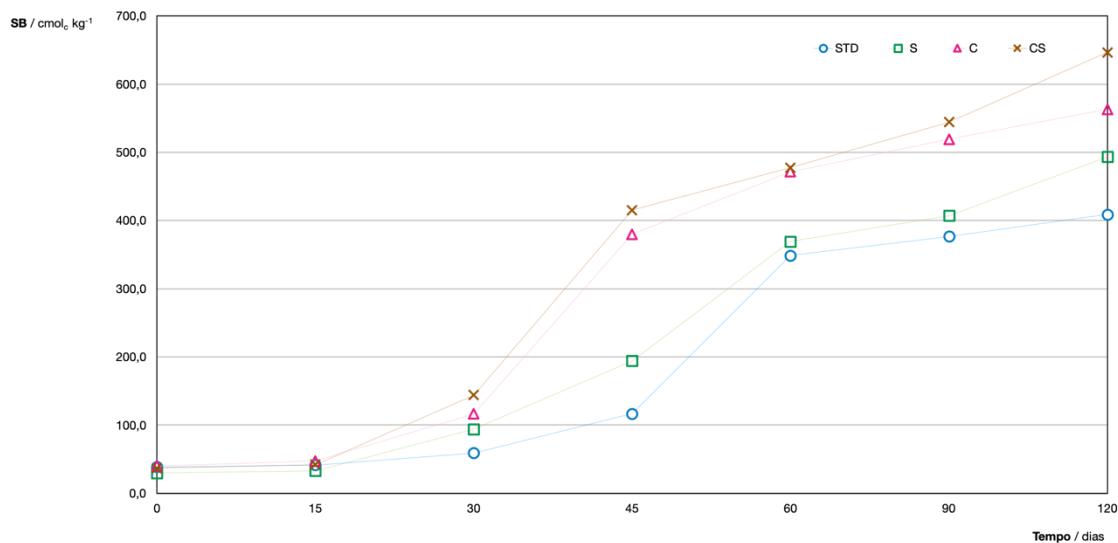


Figura 13. Monitoramento das somas das bases (SB) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) - e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).

4.3.9. Saturação por bases (%V)

A saturação por bases (%V) (Tabela 11 e Figura 15) foi calculada a partir da razão entre os valores da CTC (Tabela 10 e Figura 14) e de SB (Tabela 9 e Figura 13). Tomas as amostras apresentaram uma tendência de aumentar seus valores da %V durante a vermicompostagem, sendo este aumento mais significativo nos primeiros 45 primeiros dias. A partir dessa data, os valores apresentaram uma pequena variação, ate o final da vermicompostagem (120 dias).

No início da vermicompostagem ($T=0$ dias) os teores da %V eram estatisticamente iguais para todas as amostras. O maior aumento nos valores da CTC foi observado nas amostras VRC - S (25,27% entre 0 e 120 dias), seguido pelas demais amostras. O menor aumento foi observado na amostra VRC - STD (14,87% entre 0 e 120 dias) (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

Aos 120 dias, todas as amostras contendo resíduos de milho apresentaram valores de %V estatisticamente iguais, variando de 99,68 cmol_c kg⁻¹ a 99,72 cmol_c kg⁻¹; a amostra controle - VRC - STD (99,58 cmol_c kg⁻¹), ao contrário, é estatisticamente diferente das demais (Tabela 11) (ANOVA One-way, $P < 0,05$).

Tabela 10. Monitoramento da capacidade de trova catiônica (CTC) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) e amostra controle (VRC - STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em $\text{cmol}_{\text{c}} \text{kg}^{-1}$.

	VRC - STD	VRC - C	VRC - S	VRC - CS
0 dias	44,85a	47,09a	37,51a	42,67a
15 dias	44,00a	49,92a	35,69a	44,41a
30 dias	62,19a	118,90b	96,42a	146,81b
45 dias	119,33b	382,34c	196,58b	417,88c
60 dias	350,97c	473,73d	371,18c	480,65d
90 dias	378,91d	521,71de	409,82cd	546,48e
120 dias	410,47eA	564,76eC	495,05dB	648,48fD

Valores na mesma coluna, seguidos pela mesma letra minúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam os resultados de uma mesma amostra em diferentes tempos, de 0-120 dias.

Valores na mesma linha, seguidos pela mesma letra maiúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam o atributo analisado em todos os vermicompostos obtidos, no tempo de 120 dias.

LEGENDA: VRC - STD Amostra controle, apenas substrato orgânico; VRC - C Vermicomposto de sabugo + substrato orgânico; VRC - S Vermicomposta de palha + substrato orgânico; VRC - CS Vermicomposto de sabugo + palha + substrato orgânico.

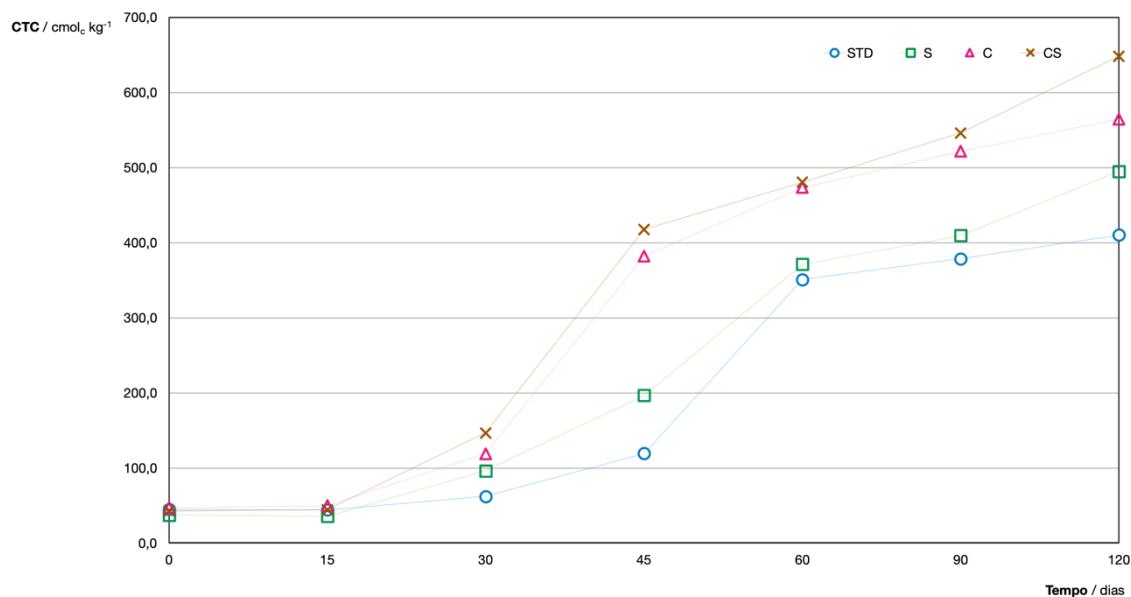


Figura 14. Monitoramento da capacidade de trova catiônica (CTC) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) - e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105 e 120 dias (média ± DP).

Tabela 11. Monitoramento da saturação por bases (%V) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (palha e sabugo de milho: amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) e amostra controle (VRC - STD) (média seguida de ANOVA e teste de Duncan, n = 3, p < 0,05, com base no peso seco dos materiais). Unidades em cmol_c kg⁻¹.

	VRC - STD	VRC - C	VRC - S	VRC - CS
0 dias	86,22a	85,37a	79,57a	86,81a
15 dias	93,97b	94,99b	92,62b	94,60b
30 dias	95,34bc	97,92c	97,32bc	98,12c
45 dias	97,99cd	99,36c	98,78c	99,40c
60 dias	99,33d	99,49c	99,46c	99,34c
90 dias	99,44d	99,54c	99,34c	99,59c
120 dias	99,58dA	99,72cB	99,68cB	99,72cB

Valores na mesma coluna, seguidos pela mesma letra minúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam os resultados de uma mesma amostra em diferentes tempos, de 0-120 dias.

Valores na mesma linha, seguidos pela mesma letra maiúscula, são estatisticamente iguais em P < 0,05 de acordo com o teste de Duncan e ANOVA One-way e comparam o atributo analisado em todos os vermicompostos obtidos, no tempo de 120 dias.

LEGENDA: VRC - STD Amostra controle, apenas substrato orgânico; VRC - C Vermicomposto de sabugo + substrato orgânico; VRC - S Vermicomposto de palha + substrato orgânico; VRC - CS Vermicomposto de sabugo + palha + substrato orgânico.

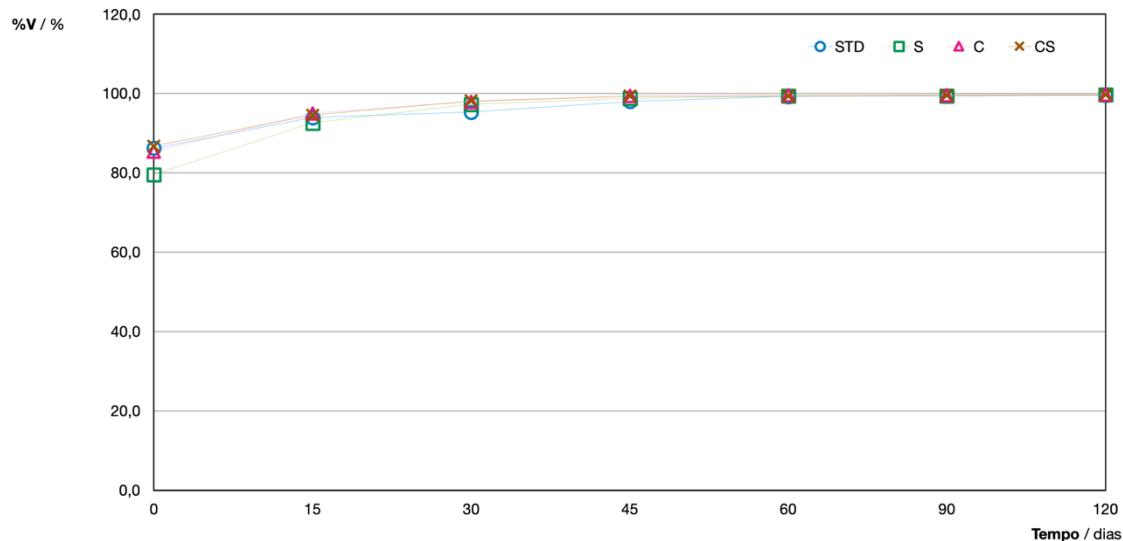


Figura 15. Monitoramento da saturação por bases (%V) durante a vermicompostagem dos resíduos de milho (amostras VRC - C, VRC - S e VRC - CS) - e a amostra controle (VRC - STD), nos tempos de 0, 15, 30, 45, 60, 90, 105, 120 dias (média ± DP).

5. DISCUSSÃO

As características químicas dos resíduos frescos indicaram a possibilidade de suas vermicompostagens, com a finalidade de se produzirem insumos de elevado potencial agrícola.

Ao avaliar os atributos de fertilidade dos resíduos frescos (CTC e %V, principalmente) e compará-los aos mesmos parâmetros, porém, nos vermicompostos produzidos, nota-se um aumento drástico e significativo de suas potencialidades para uso e aplicação na produção vegetal.

Os %WPG e os %LPG indicaram o percentual de ganho de massa e tamanho das minhocas. Levando em consideração os resultados obtidos de %WPG e %LPG foi possível observar que as minhocas tiveram uma boa adaptação à vermicompostagem. Um dos fatores que possibilitaram uma alta proliferação das minhocas foi a utilização do esterco e do material celulósico (resíduos de milho), os quais não apresentaram toxicidade para as minhocas, permitindo sua ambientação ao meio vermicompostor (EMBRAPA, 1992).

Além disso, um diferencial deste estudo foi a utilização dos resíduos frescos facilmente encontrados nas propriedades rurais do sertão pernambucano. Por mais que existam trabalhos na literatura onde a vermicompostagem tenha sido aplicada como tecnologia na valorização da matéria orgânica dos resíduos de milho, não existem trabalhos onde os mesmos tenham sido vermicompostados nas condições edafoclimáticas aplicadas neste estudo.

Um dado importante foi que, amo comparar a amostra controle com as demais (que receberam resíduos de milho), os valores do %WPG e do %LPG na amostra VCS – STD manteve-se muito aquém das demais, indicando que os resíduos de milho favoreceram a ambientação das minhocas, muito provavelmente por ter adicionado ao meio uma carga de alimento maior às *E. fetida*.

Ao analisar o monitoramento da vermicompostagem e o desenvolvimento dos atributos químicos, notou-se que alguns deles seguiram uma tendência aquém do esperado, é o caso do ST, do pH e da EC. Porém, aqueles que são intrínsecos à fertilidade dos vermicompostos apresentaram resultados conforme o esperado; foi o caso do TOC, da CTC e da %V.

Os valores de pH diminuíram em todas as amostras que continham resíduos de milho. Uma vez que as minhocas se ambientaram melhor nesses ambientes, conforme o esperado, ocorreu uma maior transformação desses substratos. Isso ocorreu, principalmente, pela produção de CO₂, mineralização do nitrogênio a NO₃ ou NO₂, mineralização do fosforo à PO₄³⁻, e bioconversão de compostos orgânicos presentes na estrutura dos resíduos em ácidos orgânicos (NUNES et al., 2018).

As variações nos valores de ST não foram significativas, uma vez que os sólidos totais estão diretamente relacionados com a umidade, que é muito baixa; além da temperatura local, que é muito alta.

Os valores da MO e do TOC apresentaram uma diminuição ao longo da vermicompostagem, isso ocorreu devido à degradação da MO dos resíduos utilizados, transformando-as em uma MO transformada, recalcitrante e resistente a degradação térmica.

Os valores da CTC aumentaram significativamente. A CTC é um indicador importante de fertilidade do solo e insumos agrícolas. Valores altos de CTC indicam que o vermicompostor possui um maior número de cátions trocáveis (Na⁺, K⁺, Mg⁺², e Ca⁺²) com espécies trocáveis que não oferecem nutrição as plantas (Al⁺³ e H⁺) (NUNES et al., 2018).

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

6.1. Conclusão

- Analisando os dados reportados neste estudo, consideram-se às seguintes conclusões:
- ix.* O presente trabalho confirma a expectativa que é possível produzir vermicompostos a partir dos resíduos da produção de milho (palha e sabugo), levando em consideração as condições edafoclimáticas do sertão pernambucano;
 - x.* Comparando os valores obtidos da amostra controle (VRC – STD), os vermicompostos produzidos com resíduos de milho (amostras VRC – C, VRC – S e VRC – CS) apresentaram melhores resultados no que se refere aos atributos relacionados à fertilidade agrícola;
 - xi.* Levando em consideração as condições aplicadas no estudo, os resultados do pH, TOC e o teor de MO diminuíram durante a vermicompostagem. Já o teor de CTC tendeu a aumentar. Ambas as tendências indicam o êxito da vermicompostagem como processo biológico de valorização e reciclagem da MO de resíduos de milho;
 - xii.* A vermicompostagem da amostra VRC – CS indicou a possibilidade do processo com a junção de ambos os resíduos, palha e sabugo de milho. Assim, considera-se mais viável beneficiar em conjunto ambos os resíduos que individualmente;
 - xiii.* As minhocas *E. fetida* apresentaram uma boa adaptação aos vermicompostores, ganhando peso e tamanho durante o processo de vermicompostagem; e
 - xiv.* Assim, foi possível concluir que a vermicompostagem pode ser utilizada como uma tecnologia eficaz no tratamento de resíduos de milho e produção de insumos agrícolas.

6.2. Perspectivas futuras

Como perspectivas futuras, nas próximas estadas deste estudo, espera-se:

- xv.* Isolar as frações orgânicas presentes nos vermicompostos e avalia-las em termos químicos e espectroscópicos;
- xvi.* Realizar um monitoramento espectroscópico da vermicompostagem, sob a perspectiva da química e da física molecular;
- xvii.* Avaliar a atividade hormono-similar (ação auxino-similar) dos vermicompostos e suas frações orgânicas, individualmente, via ensaios de germinação;
- xviii.* Realizar os ensaios agronômicos da aplicação dos vermicompostos em ambiente protegido (casa de vegetação);
- xix.* Realizar um estudo econômico da viabilidade e rentabilidade do uso da vermicompostagem como tecnologia aplicada à valorização da MO dos resíduos de milho e produção de insumos agrícolas, conforme proposto neste estudo, com base nos resultados que serão obtidos nos ensaios agronômicos.
- xx.* Espera-se aplicar o vermicomposto em novas safras de milho, em condições de campo, ciclando sua matéria orgânica e nutrientes, em prol do desenvolvimento agrário e social do interior da Região Nordeste.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **Norma técnica NBR 13591:** Compostagem. Brasília: ABNT, 1996.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). **Agricultura orgânica:** quando o passado é futuro. Brasília: BNDES, 2002.

BONI, T. P. et al. Resposta do almeirão à aplicação de três fontes de fertilizantes orgânicos. **Agroecologia**, v. 9, n. 4, p. 1–6, 2014.

CALDARELLI, C. E.; BACCHI, M. R. P. Fatores de influência no preço do milho no Brasil. **Nova Economia**, v. 22, n. 1, p. 141–164, 2012.

CAMPANHOLA, C.; VALARINI, P. J. A agricultura orgânica e seu potencial para o pequeno agricultor. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 1, p. 69–101, 2001.

CARLESSO, W. M.; RIBEIRO, R.; HOEHNE, L. Tratamento de resíduos a partir de compostagem e vermicompostagem. **Revista Destaques Acadêmicos**, n. 4, p. 105–110, 2011.

CONTINI, E. et al. Série desafios do agronegócio brasileiro (NT2) Milho-Caracterização e Desafios Tecnológicos. **Revista EMBRAPA**, v. 5, n. 1, p. 1–45, 2019.

DOMINGUEZ, J.; EDWARDS, C. A.; SUBLER, S. A comparison of vermicomposting and composting. **Manure processing**, v. 1, n. 1, p. 57–59, 1997.

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

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Utilização das minhocas na estabilização de resíduos orgânicos:** vermicompostagem. Brasília: EMBRAPA, 1992.

FONSECA, M. F. de A. C. **Agricultura orgânica: regulamentos técnicos e critérios para acesso aos mercados dos produtos orgânicos no Brasil.** Rio de Janeiro: PESAgro, 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Resultados do Censo Agro 2017.** Brasília: IBGE, 2017. Disponível em: <www.censoagro2017.ibge.gov.br>. Acesso em 03 dez 2019.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Produção agrícola e área plantada por cidade do Brasil.** Brasília: IPEA, 2010.

International Organization for Standardization (ISO). **ISO 10390.** Soil quality: determination of pH. Genebra: ISO, 1994.

ISO. **ISO 11260.** Soil quality: determination of effective cation exchange capacity and base saturation level using barium chloride solution. Genebra: ISO, 1994.

ISO. **ISO 11465.** Soil Quality: Determination of dry matter and water content on a mass basis – Gravimetric method. Genebra: ISO, 1993.

ISO. **ISO 14254.** Soil Quality: Determination of exchangeable acidity in barium chloride extracts. Genebra: ISO, 1994.

ISO. **ISO 17025.** Processo de Acreditação e Requisitos gerais para a competência de Laboratórios de Ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

Netherlands Normalisation Institute (NEN). **NEN 5754.** Determination of organic matter content in soil as loss-on-ignition. Delft:NEN, 1994.

NUNES, R. R. et al. Vermicomposted tannery wastes in the organic cultivation of sweet pepper: growth, nutritive value and production. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 1, n. 1, 2017.

RICCI, M. DOS S. F. **Manual de vermicompostagem.** Brasília: EMBRAPA, 1996.

SANES, F. S. M. et al. Compostagem e fermentação de resíduos de pescado para produção de fertilizantes orgânicos. **Semina**, v. 36, n. 3, p. 1241–1251, 2015.

ANEXOS

Os itens a seguir apresentam as metodologias adotadas nas análises de caracterização dos resíduos frescos — resíduos de milho (palha e sabugo), esterco de bode e serragem — assim como no monitoramento da vermicompostagem e na caracterização dos vermicompostos produzidos.

M.1. Sólidos totais (TS)

Para determinação dos ST, ~ 10,0 g (com precisão de 0,1 mg) de amostra foram colocados em um cadiño previamente tarado e levado a estufa a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ até peso constante. Após seu resfriamento em um dessecador hermeticamente fechado, determinou-se o percentual de ST, via análise gravimétrica (ISO, 1993).

M.2. pH

Para a determinação pH, ~ 10,0 g (com precisão de 0,1 mg) da amostra foram dissolvidas em 50,0 mL de solução de CaCl_2 0,01 mol L⁻¹, sob agitação periódica durante 30 min. Em seguida, os pHs foram determinados utilizando um pHmetro Tecnal modelo pH Meter TEC-2 (Piracicaba, Brasil) (ISO, 1994).

M.3. Matéria orgânica (MO)

Para determinar a MO, aproximadamente 10 g da amostra foram adicionadas em um cadiño de porcelana e, posteriormente, aquecidos em um forno mufla modelo Q318M – QUIMIS (Diadema, Brasil) a uma temperatura de 550 °C durante 4 h. O material foi retirado da mufla e resfriado em um dessecador hermeticamente fechado e, em seguida, o teor de MO foi determinado por meio de análise gravimétrica (NEN, 1994).

M.4. Carbono Orgânico total (TOC)

As análises de TOC foram realizadas ao oxidar 0,1 g de amostra a 900°C sob um fluxo de O₂ a 0,3 L min⁻¹. Utilizou-se um espectrofotômetro TOC-V CPH Shimadzu, acoplado ao módulo para amostras sólidas e detector espectrofotométrico operante na região do infravermelho SSM-5000A Shimadzu (Kyoto, Japão).

As análises de TOC foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental da Universidade de São Paulo (USP), no Instituto de Química de São Carlos (IQSC).

M.5. Acidez trocável (A)

Para determinar A, aproximadamente 5,0 g da amostra foram pesadas em um erlenmeyer de 125 mL. A amostra foi suspensa em 50,0 mL de uma solução de KCl 1,0 mol L⁻¹ e, em seguida, agitada durante 30 min em um agitador magnético. Após isso, a amostra foi filtrada com papel de filtro em sistema pressurizado, além disso, 2 porções de 10,0 mL da solução de KCl 1,0 mol L⁻¹ foram adicionadas ao filtro. Na sequência, o filtrado foi titulado com a solução de NaOH 0,01 mol L⁻¹ e, a acidez trocável foi calculada por meio de análise volumétrica.

Entende-se como acidez trocável, o somatório das concentrações de íons H^+ e Al^{+3} trocável, em solução (Equação 1) (ISO, 1994):

$$A = [H^+] + [Al^{+3}] = \left(\frac{C \times V}{m} \right) \times 100$$

Equação 1

Onde A é a acidez trocável ($cmol_c kg^{-1}$), C é a concentração do titulante ($NaOH 0,01 mol L^{-1}$), V é o volume titulado (L) e m é a massa de solo pesada (kg).

M.6. Bases trocáveis (SB)

Para determinar SB, aproximadamente 5,0 g da amostra foram pesadas em um erlenmeyer de 125 mL. A amostra foi suspensa em 50,0 mL de uma solução de $NH_4Cl 1,0 mol L^{-1}$ e, em seguida, agitada durante 30 min em um agitador magnético. Após isso, a suspensão permaneceu em repouso durante 24 h. Em seguida, a amostra foi filtrada com papel de filtro em sistema pressurizado. O filtrado foi separado para determinação das concentrações dos íons Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ e K^+ , as quais foram somadas para calcular SB (Equação 2) (ISO, 1994):

$$SB = [Ca^{+2}] + [Mg^{+2}] + [Na^+] + [K^+] \quad \text{Equação 2}$$

Onde SB é a soma das bases ($cmol_c kg^{-1}$), somada às concentrações dos íons Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ e K^+ .

M.7. Capacidade de troca catiônica (CTC)

A CTC foi calculada pela soma da acidez trocável (A) e a soma das bases trocáveis (SB) (Equação 3) (ISO, 1994).

$$CTC = A + SB$$

$$CTC = [H^+] + [Al^{+3}] + [Ca^{+2}] + [Mg^{+2}] + [Na^+] + [K^+] \quad \text{Equação 3}$$

Onde CTC ($cmol_c kg^{-1}$) é a capacidade de troca catiônica, A é a acidez trocável ($cmol_c kg^{-1}$) e SB é a soma das bases ($cmol_c kg^{-1}$), somada às concentrações dos íons H^+ , Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ e K^+ .

M.8. Saturação por bases (%V)

A %V foi calculada dividindo a CTC pela soma das bases trocáveis (SB) (Equação 4) (ISO, 1994):

$$\%V = \left(\frac{SB}{CTC} \right) \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde %V é a saturação por base, SB é a soma das bases ($cmol_c kg^{-1}$) e CTC é a capacidade de troca catiônica ($cmol_c kg^{-1}$).