

Aproveitamento da torta de moringa na vermicompostagem e desenvolvimento da *Eruca sativa* (rúcula)

Utilization of moringa cake: impact on vermicomposting and growth of Eruca sativa

Reginaldo dos Santos Araujo¹, Fernanda Rubio², Ana Tereza Bittencourt Guimarães³, Priscila Ferri Coldebella⁴, Caroline da Costa Silva Gonçalves⁵

RESUMO: Diante da busca por alternativas para diminuir o uso de fertilizantes sintéticos, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade da utilização da tora de moringa (TM) no enriquecimento de vermicompostos finais (VCF) e substratos no desenvolvimento vegetal (DV) da *Eruca sativa* (rúcula). Foram avaliadas 4 doses de TM (10%, 5%, 2,5%, 1% e 0%) acrescidas a resíduos orgânicos como dejetos bovinos, poda arbórea, folha de bananeira e resíduo de silagem, povoadas com minhocas da espécie *Eisenia foetida*. Após 105 dias de VC, observou-se redução no pH (8,70%), nos sólidos voláteis (10,91%), no carbono orgânico total (6,06%) e na razão C/N (22,51%), além do aumento da condutividade elétrica (8,89%), nitrogênio total (0,21%), fósforo total (44,88%). Os VCFs não apresentaram fitotoxidade (índice de germinação <80%), evidenciando a estabilidade e mineralização dos resíduos, porém, sem diferenças entre os tratamentos. No DV da *Eruca sativa*, os VCFs puro apresentaram melhor desempenho, enquanto a TM *in natura* foi mais eficaz com dose de 1% combinada a 50% de areia lavada. Os resultados demonstram o potencial da TM na vermicompostagem e enriquecimento de substratos, reforçando seu valor como insumo sustentável para a agricultura.

Palavras-chave: *Eisenia foetida*; Biofertilizante; Gestão de resíduos; Sustentabilidade.

ABSTRACT: In the search for alternatives to reduce the use of synthetic fertilizers, this study aimed to evaluate the feasibility of using *Moringa oleifera* seed cake (MC) to enrich final vermicomposts (FVC) and substrates for the plant development (PD) of *Eruca sativa* (arugula). In the vermicomposting (VC) process, four MC doses (10%, 5%, 2.5%, 1%, and 0%) were tested, mixed with organic residues such as bovine manure, tree pruning waste, banana leaves, and silage residue, and processed with *Eisenia foetida* earthworms. After 105 days of VC, reductions were observed in pH (8.70%), volatile solids (10.91%), total organic carbon (6.06%), C/N ratio (22.51%), along with increases in electrical conductivity (8.89%), total nitrogen (0.21%), and total phosphorus (44.88%), with no phytotoxicity (germination index >80%). These results indicate residue stabilization and mineralization, although no significant differences were found between treatments. In *E. sativa* development, pure FVCs showed the best performance, while raw MC was most effective at a 1% dose combined with 50% washed sand. The findings confirm the potential of MC in vermicomposting and substrate enrichment, reinforcing its value as a sustainable agricultural input.

Keywords: *Eisenia foetida*; Biofertilizer; Waste Management; Sustainability.

Autor correspondente: Caroline da Costa Silva Gonçalves
E-mail: caroline.goncalves@unila.edu.br

Recebido em: 2025-02-21
Aceito em: 2025-12-03

¹ Doutorando no Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade (PPGIES) da Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA). Servidor técnico Administrativo Laboratorista no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR), Foz do Iguaçu (PR), Brasil.

² Doutora em Energia e Sustentabilidade pela Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA). Professora Permanente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR), Foz do Iguaçu (PR), Brasil.

³ Doutora em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Professora na Associação Hospitalar de Proteção à Infância Dr. Raul Carneiro, Faculdade Pequeno Príncipe, Curitiba (PR), Brasil.

⁴ Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Professora no Centro Universitário Dinâmica das Cataratas (UDC), Foz do Iguaçu (PR) Brasil.

⁵ Doutora em Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Professora Permanente da Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal da Integração Latino Americana (UNILA), Foz do Iguaçu (PR), Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A destinação adequada de resíduos orgânicos, podem desencadear impactos ambientais graves como processos de eutrofização em rios e lagos, contaminação de solos e lençóis freáticos. Os resíduos agroindustriais podem ser considerados coprodutos devido às suas características nutricionais e energéticas, possibilitando a reinserção em outras cadeias produtivas como geração de energia, alimentação animal e fertilização orgânica de culturas alimentares (Saraiva *et al.*, 2018; Arora *et al.*, 2023; Keehl, 2008).

Na agricultura, diversos tipos de coprodutos podem ser utilizados para fins sustentáveis, como a adubação orgânica, proporcionando benefícios econômicos e ambientais à produção agrícola. A substituição de fertilizantes sintéticos por biofertilizantes contribui para o equilíbrio dos processos biológicos que ocorrem no solo, favorecendo a conservação e a melhoria das características físico-químicas do solo (Chhetri *et al.*, 2020; Kumar *et al.*, 2023; Nogales *et al.*, 2020).

A *Moringa oleifera* Lam. (MO) é uma espécie nativa da Índia, porém distribuída em diversas regiões do mundo, destacando-se pela relevância econômica e etnobotânica devido a propriedades nutracêuticas e farmacológicas, com potencial de aplicação em contextos ambientais, energéticos e industriais (Mahoto *et al.*, 2022; Prajapati *et al.*, 2022). De suas amêndoas, extrai-se um óleo de alta qualidade (Coelho *et al.*, 2024; Gupta *et al.*, 2018), onde este processo gera-se coproduto, a torta de moringa (TM), material este que apresenta teores de proteínas, carboidratos e minerais, demonstrando potencial para diversas aplicações, como a adubação orgânica de culturas alimentares (Gharsallaha *et al.*, 2023; Rubio *et al.*, 2024; Emmanuel *et al.*, 2011).

Diante deste cenário, o vermicomposto se destaca como um biofertilizante rico em macro e micronutrientes, amplamente utilizado na produção de alimentos. Este biocomposto é produzido por meio da vermicompostagem, uma biotecnologia baseada na ação de minhocas associadas a microrganismos na degradação matéria orgânica. Esse processo modifica as características físico-químicas dos materiais, promovendo sua estabilização, recuperação de nutrientes e valorização de resíduos orgânicos, associado a uma baixa emissão de gases de efeito estufa (Dominguez *et al.*, 2021; Cotta *et al.*, 2015; Rubio *et al.*, 2024).

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso da torta de moringa estabilizada em processo de vermicompostagem e em sua forma *in natura* no enriquecimento nutricional de substratos para desenvolvimento vegetal da *Eruca sativa* (rúcula).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 OBTENÇÃO DA TORTA DE MORINGA OLEÍFERA

Os frutos de *Moringa oleifera*, foram coletadas em 6 espécimes distribuídas no território do município de Foz do Iguaçu/PR, durante a estação verão, nos meses de janeiro a maio de 2023, seguidos do beneficiamento dos frutos, moagem das amêndoas, peneiramento a 28 mesh e desidratação em estufa de ar forçado a 40 °C por 48 h (Rubio *et al.*, 2024).

Para a obtenção da torta (TM), as amêndoas trituradas e secas, foram acondicionadas em cartuchos de material celulósico, depositados em extrator tipo Soxhlet, utilizando solvente n-hexano pelo período de 8 ciclos (IUPAC, 2013), seguida de secagem em estufa a 70 °C por 24 h para a volatilização do n-hexano contidos na torta. A TM a seca obtida, foi armazenada em refrigerador em temperatura média de 5 °C para a conservação de suas propriedades físico-químicas.

Para a estabilização da TM via vermicompostagem (VC), os resíduos selecionados: dejetos bovinos (DB), a poda arbórea (PA), o resíduo de Silagem (RS) e as folhas de Bananeiras (FB), passaram por pré-compostagem para adquirirem características físico-químicas adequadas (Dionisio, 2021; Cotta *et al.*, 2015). A PA e FB, foram triturados para facilitar a mistura dos materiais e aspectos relacionados a aeração das misturas iniciais (Rubio *et al.*, 2024; Cotta *et al.*, 2015; Kielh, 2004). Os resíduos (TM, DB, PA, RS e FB) foram caracterizados quanto ao potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), nitrogênio total (NT), com metodologia analítica de Tedesco, (1995). Para sólidos voláteis (SV), carbono orgânico total (COT), razão carbono/nitrogênio (C/N), fósforo total (PT), segundo Teixeira *et al.* (2019).

2.2 ESTABILIZAÇÃO DA TORTA DE MORINGA POR VERMICOMPOSTAGEM

A vermicompostagem consistiu em 5 tratamentos com 4 repetições, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 4 doses de TM, distribuídas entre os tratamentos (T1-10%, T2-5%, T3-2,5%, T4-1% e T5-0% (testemunha), mesclados aos resíduos orgânicos (DB, FB, RS e PA) nas proporções descritas na Tabela 1.

As misturas iniciais (MI), foram depositadas em 20 vermireatores confeccionados em madeira sem tratamento nas dimensões: 45 x 30 x 30 cm, com volume de 40 cm³, onde, após 7 dias ocorreu o povoamento com 15 minhocas cliteladas da espécie *Eisenia foetida* (Rubio *et al.*, 2024; Mago *et al.*, 2021), recebendo manejo diário como a inspeção da permanência das minhocas e a irrigação controlada, esta realizada quando necessário, mantendo os substratos, entre 70% e 90% umidade (U) (Edwards, 2022; Dionisio, 2021). As coletas foram realizadas em intervalos de 15 dias, compreendendo 7 coletas (105 dias). As amostras eram retiradas de cada repetição em regiões aleatórias do substrato, posteriormente realizando as análises físico-químicas e quantificação de macrominerais para a caracterização das MI e após a estabilização nos vermicompostos finais (VCF).

Tabela 1. Proporções dos resíduos utilizados para formar as misturas iniciais

Resíduos	T1	T2	T3	T4	T5 (Test.)
TM	10%	5%	2,5%	1%	0%
DB	20%	20%	20%	20%	20%
PA	3%	20%	25%	30%	40%
FB	65%	45%	35%	29%	20%
RS	2%	10%	17,5%	20%	20%
C/N	20,00/1	20,90/1	21,39/1	21,69/1	21,27/1
ST (kg)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

*Torta de moringa (TM), dejetos bovinos (DB), poda arbórea (PA), folha de bananeira (FB), resíduos de silagem (RS), Razão carbono/nitrogênio (C/N) e sólidos totais (ST).

As misturas iniciais (MI), foram depositadas em 20 vermireatores confeccionados em madeira sem tratamento nas dimensões: 45 x 30 x 30 cm, com volume de 40 cm³, onde, após 7 dias ocorreu o povoamento com 15 minhocas cliteladas da espécie *Eisenia foetida* (Rubio *et al.*, 2024; Mago *et al.*, 2021), recebendo manejo diário como a inspeção da permanência das minhocas e a irrigação controlada, esta realizada quando necessário, mantendo os substratos, entre 70% e 90% umidade (U) (Edwards, 2022; Dionisio, 2021). As coletas foram realizadas em intervalos de 15 dias, compreendendo 7 coletas (105 dias). As amostras eram retiradas de cada repetição em regiões aleatórias do substrato, posteriormente realizando as análises físico-químicas e quantificação de macrominerais para a caracterização das MI e após a estabilização nos vermicompostos finais (VCF).

No teste de fitotoxidade, as amostras foram secas ao ar livre (20 °C e 25 °C) por 7 dias (Teixeira *et al.*, 2017). Posteriormente 5 g de cada amostra/tratamento foi diluída em 50 mL de água destilada a 60 °C, homogeneizada em agitador magnético, por 30 min. As misturas foram filtradas em papel filtro para obtenção dos extratos. Após a decantação, foram depositados 6 mL do extrato coletado em 60 placas de petri com papel de filtro, previamente esterilizadas, somente o tratamento testemunha recebeu água destilada, e 20 sementes de *Lactuca sativa* (Alface comum), e acondicionadas em câmara de germinação programada para oferecer luz por 48 h para a avaliação do número de sementes germinadas e o tamanho da radícula (Zuconi *et al.*, 1981). O Índice de Germinação (IG) (Equação 1) foi utilizado como parâmetro para determinar o grau de fitotoxidade de vermicompostos.

$$IG = \frac{NG_{ext} \cdot LR_{ext}}{NG_{cont} \cdot LR_{cont}} \cdot 100 \quad (1)$$

Em que NG_{ext} é o número de sementes germinadas no extrato; NG_{cont} é o número de sementes germinadas no controle; LR_{ext} é o comprimento médio das radículas do extrato; e LR_{cont} é o comprimento médio das radículas do controle.

Os índices de referência, segundo Trautmann, Krasny, (1998), foram: >100% - estimula a germinação e o crescimento da raiz das plantas, entre 80 e 100% - composto maturado, não fitotóxico, entre 60 e 80% - moderadamente fitotóxico e <30 – muito fitotóxico.

2.2.1 Desenvolvimento vegetal da *Eruca sativa* com vermicompostos finais

O desenvolvimento vegetal (DV) da *Eruca sativa*, consistiu em 6 tratamentos em triplicata, (VCF1, VCF2, VCF3, VCF4, VCF5 e VCF6 – test.) em delineado com blocos ao acaso (DBC). Os tratamentos VCF1 ao VCF5 utilizaram respectivamente os VCFs produzidos na vermicompostagem, no entanto, somente o T6 (testemunha) utilizou vermicomposto comercial. Todos os VCF foram diluídos em areia lavada (AL) em três proporções: 100% VCF, 50% VCF + 50% AL e 25% VCF + 75% AL, usando o índice de massa seca dos materiais como referência para a gravimetria dos substratos.

Durante os 35 dias de cultivo, as plantas receberam duas regas ao dia e duas coletas, com 15 dias (inicial) e com 35 dias (final). As plantas eram coletadas por inteiras

(parte aérea e sistema radicular) para aferição das características necessárias para realizar o cálculo do Índice de qualidade de Dickson (Dickson, Leaf e Hosner, 1960; Meng *et al.*, 2018; Ripp *et al.*, 2020), por meio da Equação 2.

$$DQI = \frac{TDM}{\left(\frac{H}{SD}\right) + \left(\frac{SDM}{RDM}\right)} \quad (2)$$

Em que DQI é o índice de qualidade de Dickson; H: altura da planta (cm); SD é o diâmetro do colo (cm); SDM é a massa seca de parte aérea (g); RDM é a massa seca de raiz (g); e TDM é a massa seca total (g).

2.3 DESENVOLVIMENTO VEGETAL DA *ERUCA SATIVA* COM TORTA DE MORINGA IN NATURA E VERMICOMPOSTO

Para avaliar a TM *in natura* mesclada a vermicomposto (TMV) no DV da *Eruca sativa*, o ensaio consistiu-se em 5 tratamentos em triplicatas (TMV1 - 10% de TM, TMV2 - 5% de TM, TMV3 - 2,5% de TM, TMV4 - 1% de TM e TMV5 - 0% de TM – test.) com 3 diluições com areia lavada (AL) nas seguintes concentrações: 100% de TMV, 50% de TMV + 50% de AL e 25% de TMV + 75% de AL. vermicomposto final T5 (TMV). Foram preenchidas 45 células que receberam 5 sementes de *Eruca sativa*, acondicionadas em casa de vegetação, recebendo duas regas diárias com duas coletas (15 e 35 dias) para calcular o DQI (Equação 2).

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As variáveis dependentes (pH, CE, SV, COT, NT, C/N, IG, PT) na vermicompostagem, e para o desenvolvimento vegetal (número de folhas, diâmetro da folha, tamanho da raiz, diâmetro do colo, massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MAS), massa seca total (MST), relação da altura da planta com o diâmetro do colo (RAD), relação da matéria seca da parte aérea (RPAR), Índice de qualidade de Dickson (DQI), foram avaliadas com relação aos tratamentos, por meio da Análise de Variância (ANOVA), Fator Único, quando os dados se encontravam em normalidade (Teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Teste de Bartlett).

Em caso de significância estatística ($p > 0,05$), foram realizadas comparações múltiplas das médias por meio do teste de acompanhamento (post-hoc test) de Tukey-HSD (Honestly significant difference). As variáveis cujos pressupostos de normalidade e homocedasticidade não foram confirmados, aplicou-se teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido do teste de acompanhamento de Dunn. Considerando que variáveis de desenvolvimento vegetal são todas relacionadas ao padrão de crescimento da planta, realizou-se análise integrativa multivariada por meio da Análise Multivariada de Componentes Principais (PCA). Os valores da variação entre os períodos finais e iniciais

das variáveis de desenvolvimento foram calculados para os resultados dos dois experimentos.

Para a qualidade dos dados, o método de Kaplan-Meyer-Olkin (KMO) foi utilizado, com matriz de variáveis apenas com valores de KMO superiores a 0,5. Para as cargas fatoriais foram extraídas, sendo consideradas como variáveis latentes e comparadas por meio da Análise da Variância fator duplo, utilizando como fatores fixos no Processo de Vermicompostagem, no desenvolvimento vegetal, com diferentes concentrações de torta de *M. oleifera* (10%, 5%, 2,5, 1% e 0%) em diluições com areia lavada (100%, 50% e 25%). Em caso de significância estatística ($p > 0,05$), foi utilizado o teste Tukey-HSD. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa R-studio® versão 4.4.2, porém para a tabulação dos dados se utilizou o software Excel 360® versão 2501.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA TORTA DE MORINGA

A torta de moringa apresentou teores de carbono total de $52,08 \% \pm 1,41$, nitrogênio total $9,45 \pm 0,20$ e razão C/N de $5,41:1 \pm 2,25$. As verificadas, atendem aos padrões exigidos para a destinação de resíduos orgânicos em processos de fertilização em cultivo agrícolas (BRASIL, 2020). Estudos anteriores, utilizando a TM em processos de fertilização orgânica, obtiveram valores semelhantes (El-Hadidy et al., 2022).

3.2 VERMICOMPOSTAGEM COM TORTA DE MORINGA

No processo de vermicompostagem, houve aceitação por parte das minhocas, das misturas iniciais (MI), não sendo registrados mortandades ou fuga, o que demonstra que os resíduos utilizados, ofereceram condições favoráveis para a permanência e sobrevivência destas (Cotta *et al.*, 2015; Dionísio, 2021).

Conforme apresentado na Figura 1, todos os tratamentos apresentaram pH alcalino inicialmente, contudo, após os 105 dias de estabilização, os vermicompostos finais apresentaram redução média de 8,70%.

A maior redução foi observada no T1 (19,93%) quando comparado aos valores iniciais, confirmados com as análises estatísticas ($F_{4, 30} = 17,283$; $p < 0,0001$), que indicaram que o T1 diferiu estatisticamente dos tratamentos T3, T4 e T5, com exceção do T2, segundo tratamento com maior redução (13,07%). Os tratamentos T1 e T2, apresentaram pH próximo a 7,00. A diminuição de pH está ligada a bioprocessos desempenhados pela ação conjunta das minhocas e dos microrganismos que transformam compostos orgânicos complexos em formas mais simples, dinamizando processos de humificação (Kocaman *et al.*, 2023 e Mago *et al.*, 2021). A diminuição dos valores de pH pode também estar ligada a formação de ácidos orgânicos e fenólicos (Kiehl, 1985; Pramanik *et al.*, 2007), o que contribui na acidificação do meio quando comparados aos níveis encontrados no início dos processos de estabilização aeróbicos.

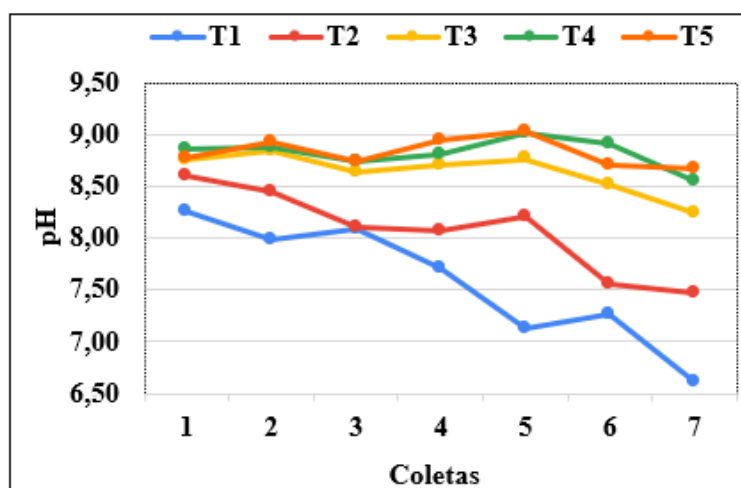


Figura 1. Evolução do pH. *T1 – 10% de TM, T2 – 5% de TM, T3 – 2,5% de TM, T4 – 1% de TM e T5 – 0% de TM (Testemunha).

Outro fator que provoca a acidificação dos compostos é a transformação de Nitrogênio e Fósforo em nitratos e ortofosfatos no decorrer da vermicompostagem (Rai; Suthar, 2020; Lirikum; Kakati; Thyug; Mozhui, 2022). Trabalhos anteriores, descritos na literatura, relataram a redução dos níveis de pH em vermicompostos produzidos com resíduos de origem vegetal e dejetos animais (Kocaman *et al.*, 2023; Mago *et al.*, 2021).

As medidas iniciais da CE demonstradas na Figura 2, apresentaram valores entre 1.451,28 mS cm⁻¹ ± 85,30 (T1) a 733,03 mS cm⁻¹ ± 13,18 (T5), aumentando, no final do processo para 1.592,03 mS cm⁻¹ ± 534,59 (T1) a 845,03 mS cm⁻¹ (T5) ± 292,54 (8,89% médio), demonstrando diferenças estatísticas entre os tratamentos (F4, 30 = 26,45; p < 0,0001), onde o T1 obteve a maior CE.

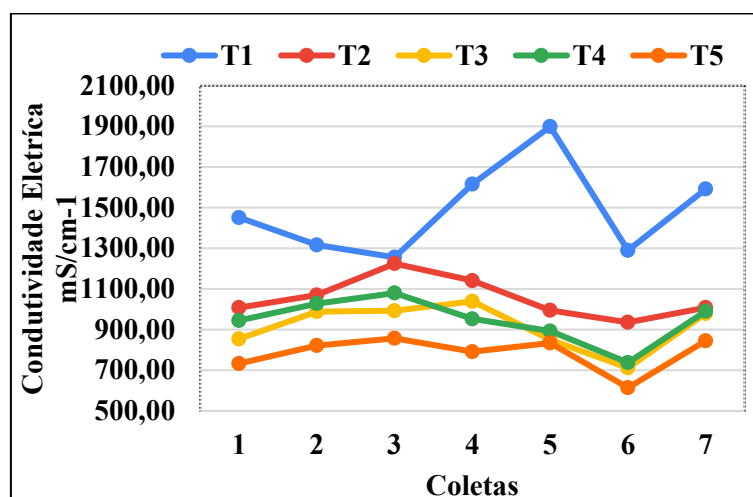


Figura 2. Evolução da condutividade elétrica. * T1 – 10% de TM, T2 – 5% de TM, T3 – 2,5% de TM, T4 – 1% de TM e T5 – 0% de TM (Testemunha)

Os vermicompostos finais apresentaram valores de CE abaixo de 3 mS cm⁻¹, com isso, encontram-se dentro dos níveis permitidos para seu uso como biofertilizantes (Soumaré *et al.*, 2002). O aumento desse parâmetro, apresentado na Figura 2, está relacionado as biotransformações que nutrientes sofrem devido a ação das minhocas e

microrganismos, que os liberam em forma de íons (Kocaman *et al.*, 2023; Turp *et al.*, 2023; Gupta; Garg, 2008). Estudos realizados por Rubio *et al.* (2024) e Filipovic *et al.* (2023), também apresentaram elevação da CE ao final da vermicompostagem.

Analisando os sólidos voláteis (SV) (Tabela 2), os ensaios apresentaram decréscimo médio de 10,91% ao final da vermicompostagem, não demonstrando diferenças significativas entre os tratamentos. A diminuição dos sólidos voláteis, observada neste estudo pode estar ligada a bioprocessos sofridos pela matéria orgânica durante a estabilização, devido a ação das minhocas combinada com microrganismos, provocando a degradação do material orgânico, melhorarias na qualidade nutricional do composto e determinando o grau de maturidade do vermicomposto (Bhunja *et al.*, 2021; Huang *et al.*, 2004; Elango *et al.*, 2009). Estudos anteriores relatam a redução dos sólidos voláteis em processos de vermicompostagem utilizando resíduos orgânicos de origem vegetal e esterco bovino (Mago *et al.*, 2021; Rubio *et al.*, 2024).

O carbono orgânico total (COT) (Tabela 2), apresentou valores iniciais entre $43,84\% \pm 2,25$ (T3) e $40,46\% \pm 3,52$ (T1), onde observou-se redução média de 22,51%, após a vermicompostagem sem diferenças estatísticas entre os tratamentos. A redução do COT está associada a ação das minhocas, que utilizam parte da matéria orgânica como fonte de energia, convertendo-a em biomassa corporal e CO₂ (Velmurugan; Annamalai, 2022; Dores-Silva *et al.*, 2011). Adicionalmente a mineralização do carbono orgânico também é responsável pela diminuição desse parâmetro em processos de vermicompostagem (Hussain *et al.*, 2016; Sharma; Garg, 2019). As reduções dos valores de COT também foram relatadas em estudos realizados por Mago *et al.* (2021) e Sharma e Garg, (2019).

Tabela 2. Características físico-químicas das misturas iniciais e dos vermicompostos finais

Tratamento	SV%	COT%	NT%	C/N	PT%
Mistura inicial					
T1	$72,82 \pm 6,34$	$40,46 \pm 3,52$	$2,23 \pm 0,26$	$18,37 \pm 3,04$	$0,60 \pm 0,07$
T2	$78,08 \pm 3,65$	$43,38 \pm 2,03$	$2,45 \pm 0,14$	$17,78 \pm 1,81$	$0,47 \pm 0,04$
T3	$78,92 \pm 4,05$	$43,84 \pm 2,25$	$2,36 \pm 0,18$	$18,66 \pm 2,05$	$0,50 \pm 0,04$
T4	$75,55 \pm 3,44$	$41,97 \pm 1,91$	$2,36 \pm 0,10$	$17,77 \pm 0,36$	$0,45 \pm 0,01$
T5	$75,02 \pm 2,14$	$41,68 \pm 1,19$	$2,23 \pm 0,30$	$19,47 \pm 2,50$	$0,46 \pm 0,04$
Vermicomposto final					
T1	$64,09 \pm 2,56$	$35,60 \pm 1,42$	$2,58 \pm 0,17$	$13,85 \pm 1,28$	$0,77 \pm 0,06$
T2	$67,42 \pm 2,60$	$37,46 \pm 1,44$	$2,58 \pm 0,09$	$14,51 \pm 0,34$	$0,72 \pm 0,06$
T3	$65,03 \pm 2,77$	$36,13 \pm 1,54$	$2,58 \pm 0,09$	$14,00 \pm 0,35$	$0,70 \pm 0,01$
T4	$64,99 \pm 3,94$	$36,11 \pm 2,19$	$2,49 \pm 0,09$	$14,51 \pm 1,30$	$0,65 \pm 0,02$
T5	$64,31 \pm 3,16$	$35,73 \pm 1,75$	$2,45 \pm 0,14$	$14,36 \pm 1,57$	$0,71 \pm 0,03$
p-valor	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

*Resultados expressos por média seguida de desvio padrão (\pm), p-valor de médias de comparação (Tukey), T1 – 10% de TM, T2 – 5% de TM, T3 – 2,5% de TM, T4 – 1% de TM e T5 – 0% de TM (Testemunha), sólidos voláteis (SV), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), razão carbono/nitrogênio (C/N) e fósforo total (PT).

Os teores de nitrogênio total (NT) aferidos inicialmente e após o processo de vermicompostagem, apresentados na Tabela 2, mostram elevação média de 0,21%, porém não observada diferença significativa entre os tratamentos. O sutil incremento de NT verificados nos vermicompostos finais podem ser atribuídos a secreções nitrogenadas

excretadas pelas minhocas, em forma de muco e hormônios estimulantes de crescimento (Tripathi; Bhardwaj, 2004; Quedar *et al.*, 2022, Charma; Garg, 2019). Adicionalmente, a existência de aminoácidos nos resíduos de origem vegetal, favorecem a potencialização dos processos de mineralização dos nutrientes, o que pode estar associado ao tímido aumento de NT encontrado no presente estudo (Grzyb; Wolna-Maruwka; Niewiadomska., 2021; Zayed *et al.*, 2023).

Trabalhos anteriores que realizaram vermicompostagem com resíduos de origem vegetal, mesclado a dejetos bovinos, também verificamos a permanência dos teores de nitrogênio ao final dos processos de vermicompostagem (Mago *et al.*, 2021; Thamizharasan *et al.*, 2024).

Valores iniciais apresentaram razão C/N entre $19,47:1 \pm 2,50$ a $17,77:1 \pm 0,36$ reduzindo para $14,51:1 \pm 0,34$ a $13,85:1 \pm 1,28$ (Tabela 2), fato que confirma a maturidade do vermicomposto (Velmurugan; Annamalai, 2022; Cotta *et al.*, 2015). A razão C/N representa fator determinante em processos de estabilização aeróbica como a vermicompostagem e compostagem, determinando o estado de maturação do composto (Rubio *et al.*, 2024). A diminuição da razão C/N possivelmente está associada a dois fenômenos simultâneos que ocorrem na vermicompostagem, representados pela volatilização do carbono em forma de CO_2 , via respiração das minhocas e a adição de substâncias nitrogenadas excretadas pelas minhocas (Dionisio, 2021; Suthar, 2008). Estudos que utilizaram a vermicompostagem para estabilizar resíduos orgânicos, também obtiveram diminuição significativas da razão C/N, corroborando com os resultados apresentados neste estudo (Rubio *et al.*, 2024; Mago *et al.*, 2021; Raza., *et al.*, 2019; Pereira *et al.*, 2022).

Na quantificação do fósforo total (PT) (Tabela 1), destacou-se teores iniciais entre $0,60\% \pm 0,07$ (T1 - 10% TM) a $0,45\% \pm 0,01$ (T4 - 1% TM), após o processo de vermicompostagem, os níveis variaram de $0,77\% \pm 0,06$ (T1 - 10% TM) a $0,65\% \pm 0,02$ (T4 - 10% TM), com média de elevação de 44,88%. As análises estatísticas não demonstraram diferença entre os tratamentos ($p < 0,05$). Assim como acontece com o nitrogênio total (NT), o fósforo total (PT) também sofre processos de mineralização via ação das minhocas e microrganismos que atuam na fragmentação e degradação da matéria orgânica, aumenta a área de superfície das partículas, favorecendo a atuação de microrganismos. Outro motivo relatado pela literatura é a respeito da presença de enzimas fosfatases no trato digestório das minhocas, que possibilitam a solubilização do P, aumentando sua disponibilidade destes nutrientes nos vermicompostos (Sharma; Garg, 2019; Turp *et al.*, 2023).

Nos ensaios de fitotoxicidade, os vermicompostos finais (Figura 3), apresentaram Índice de Germinação (IG) com valores entre $95,65\% \pm 8,61$ e $81,86\% \pm 7,34$. Os vermicompostos finais não oferecem risco fitotóxico para o uso como fertilizante orgânico (Trautmann; Krasny, 1997), pois seus índices de germinação demonstraram valores acima de 80%, indicando presença significativos de nutrientes e alto nível de maturação dos vermicompostos (Zucconi *et al.*, 1981; Monteiro *et al.*, 2021).

Os resultados obtidos, também atendem às recomendações da *Environmental Protection Agency* (EPA) que reconhece IG foram superiores a 80% para germinação com hortaliças (EPA, 2014), com isso, todos os vermicompostos finais foram considerados

aptos para os ensaios que compreenderam o desenvolvimento vegetal da *Eruca sativa* (rúcula).

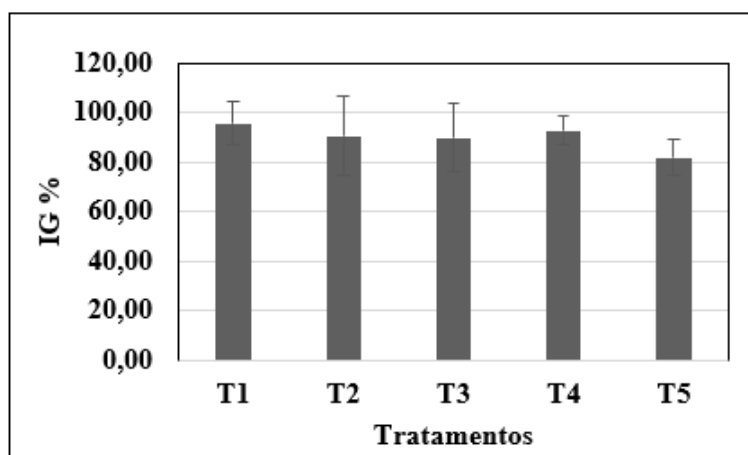


Figura 3. Índice de germinação

3.2.1 Desenvolvimento vegetal da *Eruca sativa* com vermicomposto final

Nos resultados obtidos no desenvolvimento vegetal da rúcula (*Eruca sativa*) utilizando vermicomposto a base de torta de moringa, nos tratamentos: VCF1, VCF2, VCF3, VCF4, VCF5 e VCF6 (testemunha), nas concentrações 100%, 50% e 25%, diluídas com areia lavada (AL), nas coletas inicial e final, verificou-se que a interação dos fatores concentração, tratamento e tempo, não apresentaram diferenças estatísticas significativas, indicando que o padrão de desenvolvimento foi similar apesar de haver diferenças significativas quando avaliado o fator concentração isoladamente ($p < 0,05$) (Figura 4).

Ao realizar a avaliação integrativa das características das variáveis relativas ao desenvolvimento vegetal entre os tratamentos e concentrações de vermicomposto final, verificou-se que o primeiro componente principal (Dimensão 1 - Dim.1) apresentou maior contribuição associada à massa seca total (MST), índice de qualidade de Dickson (DQI), massa seca da parte aérea (MAS), massa seca da raiz (MSR), diâmetro do colo, número de folhas, diâmetro de folha, com variável latente gerada na Dimensão 1 (Autovalor = 6,51; Variância = 59,21%). O segundo componente principal (Dimensão 2 - Dim.2), exposto na Figura 4A apresentou maior contribuição apenas nas variáveis altura da planta (PA), comprimento da raiz, relação da altura da planta com o diâmetro do colo (RAD) e relação da matéria seca da parte aérea (RPAR). (Autovalor = 1,78; Variância = 16,19%).

A Dimensão 1, possui em suas cargas fatoriais positivas (Figura 4B), a demonstração de maiores valores de MST, DQI, MSR, MSPA, diâmetro do colo, número de folhas e diâmetro de folha. Ao realizar a comparação das cargas fatoriais foi possível detectar que houve diferença estatística significativa apenas entre as concentrações ($F_{2, 36}=37,210$; $p < 0,0001$), não havendo diferenças entre os tratamentos ($F_{5, 36}=1,275$; $p=0,29597$).

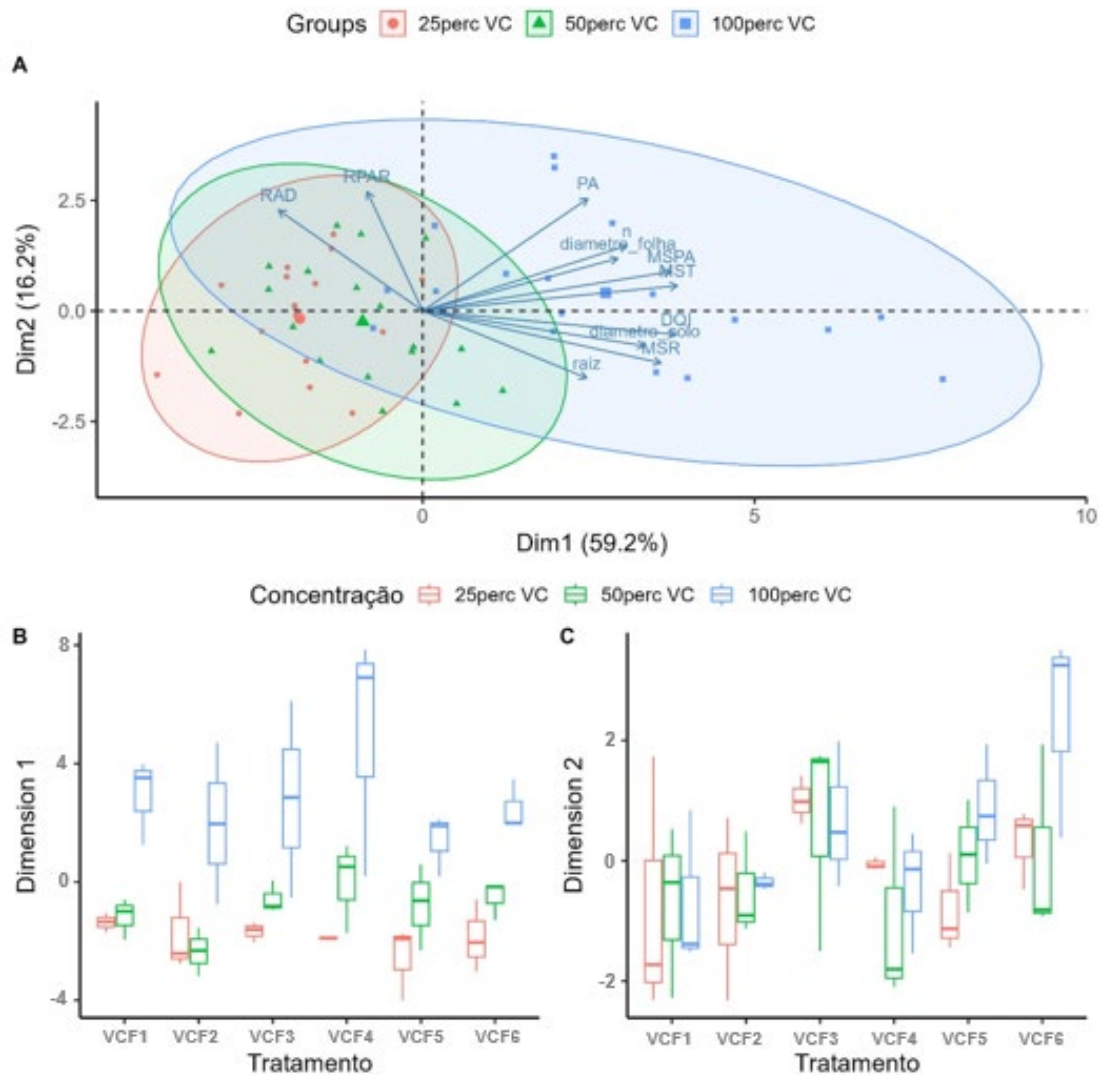


Figura 4. Análise integrativa das variáveis no desenvolvimento vegetal com vermicompostos finais (Dim.1 e Dim. 2). *VCF – Vermicomposto final, VCF6 (test.) – Vermicomposto comercial testemunha

Na Dimensão 2, mostradas em suas cargas fatoriais positivas (Figura 4C), os maiores valores de PA e RAD, mas menores valores de RPAR. Ao realizar a comparação das cargas fatoriais de Dimensão 2, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ($F_{5, 36}=2,72685$; $p=0,03447$), mas sem diferenças significativas entre as concentrações ($F_{2, 36}=1,43495$; $p=0,25142$) e interação dos fatores ($F_{10, 36}=0,69116$; $p=0,72572$).

Foi possível verificar que todos os tratamentos com a concentração de 100% vermicomposto final, apresentaram os maiores valores das variáveis em questão. Em estudos realizados por Segura-Castroita *et al.* (2024), observou-se que o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* L.), evoluiu em função da concentração do biofertilizante mesclado a areia de rio, onde tratamentos que continham maiores concentrações de vermicomposto demonstraram melhores índices de desenvolvimento vegetal, o que corrobora com os resultados encontrados por este estudo. Kiran, (2019) relata que o uso de vermicomposto no cultivo da alface (*Lactuca sativa* var. *crispa*), propiciou condições nutricionais que favoreceram características com peso fresco, peso seco do broto, teor relativo de água e clorofila-A, também notando o aumento significativo de carotenoides.

3.3 Desenvolvimento vegetal da *Eruca sativa* com torta de moringa in natura e vermicomposto

Nos resultados obtidos no desenvolvimento vegetal da rúcula (*Eruca sativa*) utilizando diferentes doses de torta de moringa *in natura* (TMV1 - 10%, TMV2 - 5%, TMV3 - 2,5%, TMV4 - 1% e TMV5 - 0% testemunha), mesclada a vermicomposto nas concentrações 100%, 50% e 25%, diluídas com areia lavada, com coleta inicial e final, foi possível verificar que a interação dos fatores dos tratamentos e concentração dos substratos diluídos em areia, geraram diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$).

Ao realizar a avaliação integrativa das características das variáveis relativas ao desenvolvimento vegetal em diferentes tratamentos e diferentes diluições com areia, foi verificado que o primeiro componente principal (Dimensão 1 – Dim.1) (Figura 5A e 5B) apresentou maior contribuição associada à massa seca total (MST), massa seca da parte aérea (MSPA), diâmetro de folha, altura da planta (PA), número de folhas, Diâmetro do colo, índice de qualidade de Dickson (DQI), massa seca da raiz (MSR) e comprimento da raiz, sendo que a variável latente gerada na Dimensão 1 (Autovalor = 7,30; Variância = 66,41%). O segundo componente principal (Dimensão 2 – Dim.2) apresentou maior contribuição pelas variáveis RAD e RPAR (Autovalor = 1,85; Variância = 16,79%).

A Dimensão 1, apresentou em suas cargas fatoriais positivas (Figura 5C), valores maiores nos parâmetros relacionados a massa seca total, (MST), massa seca da parte aérea (MSPA), diâmetro de folha, altura da parte aérea (PA), diâmetro do colo, índice de qualidade de Dickson (DQI), número de folhas, massa seca da raiz (MSR) e comprimento de raiz. Quando realizado a comparação entre as cargas fatoriais foi possível detectar que houve diferença estatística significativa entre os tratamentos com diferentes concentrações de torta de moringa ($F_{4,30}=3,7828$; $p=0,01318$). Registrou-se diferenças entre as diferentes concentrações do substrato com areia ($F_{2,30}=5,9501$; $p=0,0067$), bem como houve diferenças na interação dos fatores ($F_{8,30}=3,7708$; $p=0,0036$).

A Dimensão 2, mostra nas cargas fatoriais positivas (Figura 5D), os maiores valores de RAD, RPAR. Ao realizar a comparação das cargas fatoriais de Dim. 2, foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ($F_{4,30}=3,1010$; $p=0,030$), mas sem diferenças significativas entre as concentrações do substrato com areia ($F_{2,30}=0,7047$; $p=0,5023$) e interação dos fatores ($F_{8,30}=0,9326$; $p=0,5047$). Foi possível verificar que o uso de 0% de torta de moringa apresentou maior variação de desenvolvimento de RAD, RPAR e comprimento de raiz. Foi possível verificar que o tratamento TMV4 com 1% de TM, em concentrações de 50% com areia lavada, apresentou maior variação de desenvolvimento nas variáveis que contribuem na dimensão 1, apontando como o tratamento com melhor desempenho agrônômico.

Os tratamentos que continham 100% de vermicomposto enriquecido com 10% de torta de moringa *in natura*, (TMV1 – concentração de 100%) desfavoreceram a germinação de sementes, impossibilitando a coleta dos dados para avaliação. Provavelmente, misturas contendo 10% de torta de moringa, interagiram de maneira negativa no desenvolvimento vegetal da *Eruca sativa*, reduzindo o efeito à medida que era reduzida as doses (5%, 2,5%, 1% e 0%). Segundo estudos realizados por Kiehl (2008) e Silva *et al.* (2011), efeitos deletérios possibilitados por resíduos orgânicos utilizados na fertilização podem estar ligados ao grau de maturidade, concentrações do material e presença de metais pesados.

Resíduos e compostos não estabilizados adequadamente ou com presença de metais pesados, podem comprometer a germinação e o desenvolvimento de plantas, alterando a qualidade do solo, reduzindo a concentração de oxigênio e nitrogênio e estimular a proliferação de bactérias. Bernal *et al.* (2009) relatam que elevados teores de ácidos orgânicos, amônia e compostos solúveis em compostos imaturos, limitando a germinação e o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

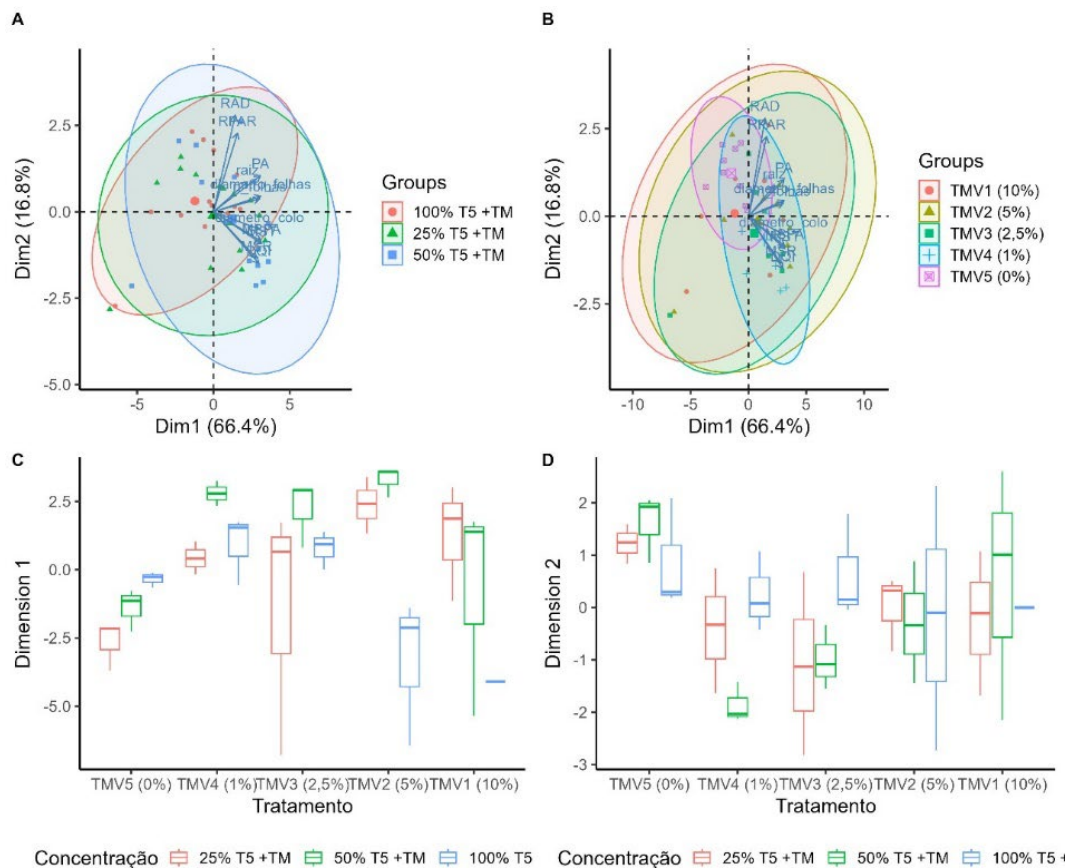


Figura 5. Análise integrativa das variáveis no desenvolvimento vegetal com vermicomposto enriquecido com diferentes doses torta de moringa *in natura*

4 CONCLUSÃO

A adição de torta de *Moringa oleifera* (TM) nas concentrações trabalhadas neste estudo não comprometeram a sobrevivência e permanência das minhocas, viabilizando a vermicompostagem, confirmando a estabilização e a mineralização dos resíduos através da redução nos valores de pH, carbono orgânico total, sólidos voláteis e razão C/N, onde após 105 dias, assim como teores satisfatórios de macronutrientes (N, P, K), reforçando seu potencial na fomentação de modelos sustentáveis de produção agrícola.

No desenvolvimento vegetal da *Eruca sativa* utilizando os vermicompostos, os tratamentos com 100% de vermicomposto demonstraram melhor desempenho agrônomo em comparação com as concentrações de 50% e 25%, embora não tenham sido observadas diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos. Por outro

lado, o uso da TM *in natura* demonstrou efeitos fitotóxicos para o desenvolvimento da *Eruca sativa* nos tratamentos com 10% de TM sem diluição com areia. No entanto, o tratamento contendo 1% de TM combinado com 50% de areia destacou-se com melhor desempenho no desenvolvimento espécie cultivada.

5 AGRADECIMENTOS

A Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por fomentar a pesquisa e inovação em nosso país, financiando pesquisas importantes para o avanço da ciência e da tecnologia. A Pró-reitora de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (PRPPG/UNILA), ao CNPq e Fundação Araucária pelo apoio financeiro. Ao IFPR pelo apoio técnico e logístico no desenvolvimento dos ensaios e análises realizados neste estudo.

REFERÊNCIAS

- ARORA, Jaya; RAMAWAT, K. G.; MÉRILLON, Jean-Michel. Disposal of agricultural waste and its effects on the environment, production of useful metabolites and energy: potential and challenges. *In: Agricultural Waste: Environmental Impact, Useful Metabolites and Energy Production*. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 3-20. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-8774-8_1.
- BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, Raúl. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource technology*, v. 100, n. 22, p. 5444-5453, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>.
- BHUNIA, S.; BHOWMIK, A.; MALLICK, R.; JOYDEEP, M. Agronomic efficiency of animal-derived organic fertilizers and their effects on biology and fertility of soil: A review. *Agronomy*, v. 11, n. 5, p. 823, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050823>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020**. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. Brasília, DF: Instrução Normativa SDA/MAPA 61/2020.
- CHHETRI, R. K.; ARYAL, N.; KHAREL, S.; POUDEL, R. C.; PANT, D. Agro-based industrial wastes as potent sources of alternative energy and organic fertilizers. *In: Current developments in biotechnology and bioengineering*. Elsevier, 2020. p. 121-136. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64309-4.00005-2>.

COELHO, N.; PEREIRA, A. S.; TAVARES, P. Moringa oleifera Seed Cake: A Review on the Current Status of Green Nanoparticle Synthesis. **Applied Biosciences**, v. 3, n. 2, p. 197-212, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/applbiosci3020013>.

COTTA, J. A. O.; CARVALHO, N. L. C.; REZENDE, M. O.; BRUM, T. S. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 65-78, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000111864>.

DAL BOSCO, T. C. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 2017.

MONTEIRO, E. W. S.; Medeiros, T. D. S.; Soares, N. R. M.; Arraes, D. R. S.; Costa, M. K. V.; Ferreira, A. M. S. D.; Queiroz, G. A.; Farias, A. L. F.; Cantuária, P. C.; Almeida, S. S. M. S. Estudo fitoquímico do extrato etanólico das folhas de moringa oleifera lam. *In: plantas medicinais do estado do amapá: dos relatos da população à pesquisa científica*. **Editora Científica Digital**, p. 137-152, 2021. DOI: <https://doi.org/10.37885/210504518>.

DICKSON, A.; LEAF, A.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forest Chronicle*, **West Mattawa**, v. 36, p. 10-13, 1960. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.

DIONÍSIO, J. A. **Vermicompostagem**. Clube de Autores, 2021.

DOMÍNGUEZ, J.; AIRA, M.; CRANDALL, K. A.; PÉREZ-LOSADA, M. Earthworms drastically change fungal and bacterial communities during vermicomposting of sewage sludge. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 15556, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95099-z>.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química nova**, v. 36, p. 640-645, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000500005>.

EDWARDS, C. A.; ARANCON, N. Q. **Biology and ecology of earthworms**. New York: Springer, 2022.

ELANGO, D.; THINAKARAN, N.; PANNEERSELVAM, P.; SIVANESAN, S. Thermophilic composting of municipal solid waste. **Applied Energy**, v. 86, n. 5, p. 663-668, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.06.009>.

EL-HADIDY, G. A. M.; THANAA SH. M. MAHMOUD, T. S.; SHAABANA, F. K. M.; HEMDAN, N. A. Effect of organic fertilization with Moringa oleifera seeds cake and compost on storability of valencia orange fruits. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 65, n. 2, p. 659-667, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21608/ejchem.2021.90997.4329>.

EMMANUEL, S. A.; ZAKU, S. G. Moringa oleifera seed-cake, alternative biodegradable and biocompatibility organic fertilizer for modern farming. **Magnesium**, v. 203, p. 0-08, 2011. DOI: <https://10.5251/abjna.2011.2.9.1289.1292>.

ENVIRONMENAL PROTECTION AGENCY. **A food and drug administration, organization foreconomic cooperation and developed**. EPA, 2014. Disponível em: <https://www.epa.gov/pesticides>. Acesso em: 17 de set. 2024.

FILIPOVIĆ, A.; ANA MANDIĆ, A.; HADŽIABULIĆ, A.; JOHANIS, H.; STIPANOVIĆ, A.; BREKALO, H. Characterization and Evaluation of Vermicomposting Materials. **Ekológia (Bratislava)**, v. 42, n. 2, p. 101-107, 2023. DOI: <https://10.2478/eko-2023-0012>.

GARG, V. K.; GUPTA, R. Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using Eisenia fetida. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 74, n. 1, p. 19-24, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.09.015>.

GHARSALLAH, K.; LEILA REZIG, L.; RAJOKA, M. S. R.; HAFIZA MAHREEN MEHWISH, H. M.; ALI, M. A.; CHEW, S. C. Moringa oleifera: Processing, phytochemical composition, and industrial application. **South African Journal of Botany**, v. 160, p. 180-193, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.07.008>.

GÓMEZ-BRANDÓN, M.; LORES, M.; DOMÍNGUEZ, J. Recycling and valorization of distilled grape marc through vermicomposting: a pilot-scale study. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 25, n. 3, p. 1509-1518, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01627-6>.

GRZYB, A.; WOLNA-MARUWKA, A.; NIEWIADOMSKA, A. The significance of microbial transformation of nitrogen compounds in the light of integrated crop management. **Agronomy**, v. 11, n. 7, p. 1415, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11071415>.

GUPTA, R.; GARG, V. K. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. **Journal of hazardous materials**, v. 153, n. 3, p. 1023-1030, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.055>.

HUANG, G. F.; WONG, J. W. C.; WU, Q. T.; NAGAR, B. B. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. **Waste management**, v. 24, n. 8, p. 805-813, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.011>.

HUSSAIN, N.; SINGH, A.; SOUGATA SAHA, S.; KUMAR, M. V. S., BHATTACHARYYA, P.; BHATTACHARYA, S. S. Excellent N-fixing and P-solubilizing traits in earthworm gut-isolated bacteria: a vermicompost based assessment with vegetable market waste and rice straw feed mixtures. **Bioresource Technology**, v. 222, p. 165-174, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.115>.

- INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. IUPAC, 2013.
Disponível em: <http://www.iupac.org/home/about.html>. Acesso em: 02 fev. 2024.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985.
- KIEHL, E. J. **500 perguntas e respostas** (1aed.). Piracicaba: Agronômica Ceres Ltda, 2008.
- KIEHL, E. J. **Manual da compostagem**: Maturação e Qualidade do Composto. 4. Ed. Piracicaba: Agronômica Ceres Ltda, 2004.
- KIRAN, S. Effects of vermicompost on some morphological, physiological and biochemical parameters of lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) under drought stress. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 47, n. 2, p. 352-358, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha47111260>.
- KOCAMAN, A.; TURAN, M.; TÜFENKÇİ, Ş.; KATIRCIOĞLU, H.; GÜNEŞ, A.; KITIR, N.; GIRAY, G.; GÜRKAN, B.; ERSOY, N.; YILDIRIM, E. Development of plant-friendly vermicompost using novel biotechnological methods. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 25, n. 5, p. DOI: 2925-2936, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01726-4>.
- LIRIKUM, KAKATI, L. N.; THYUG, L.; MOZHUI, L. Vermicomposting: an eco-friendly approach for waste management and nutrient enhancement. **Tropical Ecology**, v. 63, n. 3, p. 325-337, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42965-021-00212-y>.
- MAGO, M.; YADAV, A.; GUPTA, R.; GARG, V. K. Management of banana crop waste biomass using vermicomposting technology. **Bioresource Technology**, v. 326, p. 124742, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124742>.
- NOGALES, R., FERNÁNDEZ-GÓMEZ, M. J., DELGADO-MORENO, L.; CASTILLO-DÍAZ, J. M.; ROMERO, E. Eco-friendly vermitechological winery waste management: a pilot-scale study. **SN Appl. Sci.** 2, 653 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2455-3>.
- PEREIRA, M. M. A.; MORAES, L. C.; MOGOLLÓN, M. C. T.; BORJA, C. J. F.; DUARTE, M.; BUTTRÓS, V. H. T.; LUZ, J. M. Q.; PASQUAL, M.; DÓRIA, J. Cultivating biodiversity to harvest sustainability: Vermicomposting and inoculation of microorganisms for soil preservation and resilience. **Agronomy**, v. 13, n. 1, p. 103, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13010103>.
- PRAJAPATI, C.; ANKOLA, M.; TARUN KUMAR UPADHYAY, T. K.; SHARANGI, A. B.; ALABDALLAH, N. M.; AL-SAEED, F. A.; MUZAMMIL, K.; SAEED, M. Moringa oleifera: Miracle plant with a plethora of medicinal, therapeutic, and economic importance. **Horticulturae**, v. 8, n. 6, p. 492, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae8060492>.

PRAMANIK, P.; GHOSH, G. K.; GHOSAL, P. K.; BANIK, P. Changes in organic-C, N, P and K and enzyme activities in vermicompost of biodegradable organic wastes under liming and microbial inoculants. **Bioresource technology**, v. 98, n. 13, p. 2485-2494, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.09.017>.

RAI, R.; SUTHAR, S. Composting of toxic weed *Parthenium hysterophorus*: Nutrient changes, the fate of faecal coliforms, and biopesticide property assessment. **Bioresource Technology**, v. 311, p. 123523, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123523>.

RAZA, S. T.; ZHU BO, Z.; ZULFIQAR ALI, Z.; LIANG, T. J. Vermicomposting by *Eisenia fetida* is a sustainable and eco-friendly technology for better nutrient recovery and organic waste management in upland areas of China. **Pakistan Journal of Zoology**, v. 51, n. 3, p. 1027, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.3.1027.1034>.

RUBIO, F.; COLDEBELLA, P. F.; BOROSKI, M., ANA TEREZA BITTENCOURT GUIMARÃES, A. T. B.; GONÇALVES, C. C. S. Sustainable valorization of *Moringa oleifera* Lam. co-products and zoo waste. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, v. 59, p. e1816-e1816, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781816>.

SARAIVA, Bianka Rocha et al. Valorização de resíduos agroindustriais: fontes de nutrientes e compostos bioativos para a alimentação humana. **Pubsaúde**, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.31533/pubsaude1.a007>.

SARANGI, P.; SUBUDHI, S.; BHATIA, L.; SAHA, K. Utilization of agricultural waste biomass and recycling toward circular bioeconomy. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 4, p. 8526-8539, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20669-1>.

SEGURA-CASTRUITA, M. A.; VALDIVIA-DÁVILA, M. A.; YESCAS-CORONADO, P.; GÓMEZ-LEYVA, J. F.; CUETO-MEDINA, S. Influence of Vermicompost on the Concentration of Exogenous Indole-3-Acetic Acid and Its Effect on the Development of Tomato Plants (*Lycopersicum esculentum* L.). **Agronomy**, v. 14, n. 6, p. 1311, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14061311>.

SILVA, J. D. C.; LEAL, T. T. B.; ARAÚJO; R. M.; GOMES, R. L. F.; ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. Emergência e crescimento inicial de plântulas de pimenta ornamental e celosia em substrato à base de composto de lodo de curtume. **Ciência Rural**, v. 41, p. 412-417, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-84782011000300008>.

SHARMA, K.; GARG, V. K. Recycling of lignocellulosic waste as vermicompost using earthworm *Eisenia fetida*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 14024-14035, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04639-8>.

SUTHAR, S. Bioremediation of aerobically treated distillery sludge mixed with cow dung by using an epigeic earthworm *Eisenia fetida*. **The Environmentalist**, v. 28, n. 2, p. 76-84, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10669-007-9031-x>.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2. Ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

TEIXEIRA, P. C. DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 2017.

THAMIZHARASAN, A.; AISHWARYA, M.; GAJALAKSHMI, S. Utilizing leaf litter of *Azadirachta indica* for generation of microbial enriched vermicompost. **Bioresource Technology Reports**, v. 26, p. 101839, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2024.101839>.

TRAUTMANN, N. M.; KRASNY, M. E. **Composting in the classroom: Scientific inquiry for high school students**. Kendall/Hunt Publishing Company, 1998.

TRIPATHI, G.; BHARDWAJ, P. Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg). **Bioresource technology**, v. 92, n. 3, p. 275-283, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.09.005>.

TURP, G. A.; OZDEMIR, S.; YETILMEZSOY, K.; OZ, N.; ELKAMEL, A. Role of vermicomposting microorganisms in the conversion of biomass ash to bio-based fertilizers. **Sustainability**, v. 15, n. 11, p. 8984, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15118984>.

VELMURUGAN, K.; ANNAMALAI, V. First report on toddy palm shell-based vermicompost by *Eisenia fetida*. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 20, n. 10, p. 11061-11074, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04597-8>.

ZAYED, O.; HEWEDY, O. A.; ABDELMOTELEB, A.; ALI, M.; YOUSSEF, M. S.; ROUMIA, A. F.; SEYMOUR, D.; YUAN, Z-C. Nitrogen journey in plants: From uptake to metabolism, stress response, and microbe interaction. **Biomolecules**, v. 13, n. 10, p. 1443, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom13101443>.

ZUCCONI, F. Evaluating toxicity of immature compost. **Biocycle**, p. 54-57, 1981.