



Tratamento de resíduos sólidos orgânicos por vermicompostagem e os impactos ambientais ocasionados pela disposição inadequada desses resíduos em aterros sanitários: uma revisão da literatura

Treatment of organic solid waste by vermicomposting and the environmental impacts caused by the inadequate disposal of this waste in landfills: a review of the literature

Daniel Colombari Filho^a, Julia Couri Trevizan^a, Cássio Luiz Vellani^b, Isadora Alves Lovo Ismail^{a*,b,c}

^a Universidade de Ribeirão Preto-UNAERP, Curso de Graduação em Engenharia Química. Avenida Costábile Romano 2201, bloco D, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. CEP: 14096-900. E-mail: daniel.colombarifilho@sou.unaerp.edu.br, julia.trevizan@sou.unaerp.edu.br, eng.isadoralovo@gmail.com* (Autor correspondente).

^b UNAERP, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental. Avenida Costábile Romano, n. 2201, bloco D, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. CEP: 14096-900. E-mail: cassio.vellani@sou.unaerp.edu.br.

^c Universidade de São Paulo-EESC/USP, Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento-PPGSHS. Avenida Trabalhador São Carlense, n. 400, São Carlos, São Paulo, Brasil. CEP: 13566-590.

ARTICLE INFO

Recebido 06 Out 2023

Aceito 24 Jan 2025

Publicado 03 Fev 2025

ABSTRACT

Managing organic solid waste is an extremely relevant topic, considering population growth, industrialization, and rapidly rising urbanization. Inadequate disposal of this waste can cause environmental impacts such as air, soil, and water pollution and risks to human health. Given the above, vermicomposting is a sustainable and economically viable option to solve this problem. In this context, the study aimed to investigate the global scenario of organic solid waste treatment by vermicomposting and the environmental impacts caused by the inadequate disposal of this waste in landfills. To this end, a systematic literature review was conducted, searching for articles on the CAPES Journal Portal and the PUBMED database. According to the data analyzed, there is an exorbitant presence of problems regarding organic waste, which, due to its chemical composition, can be easily treated through the action of earthworms, as in cases of industrial sludge, or even generate biofertilizers, a by-product presents in 92.3% of research, bringing together excellent results regarding the composition of macro and micronutrients. Therefore, the results demonstrated that vermicomposting is an efficient way of managing organic solid waste. It can be applied to produce biofertilizers or stabilize these wastes to reduce their harmful potential. This review is essential for encouraging the use of vermicomposting as an indicator of response to the dumping and incorrect treatment of organic waste. It establishes itself to reuse and treat this waste sustainably, achieving satisfactory results. In this way, vermicomposting is a promising way to mitigate the incorrect disposal of organic solid waste and reduce possible negative environmental repercussions.

Keywords: Environmental problems, earthworms, biofertilizer, sustainability.

RESUMO

O gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos é um tema de extrema relevância frente ao crescimento populacional, à industrialização e à urbanização em rápida ascensão. A disposição inadequada desses resíduos pode causar impactos ambientais como poluição do ar, solo e água, além de riscos para a saúde humana. Diante do exposto, a vermicompostagem consagra-se como uma opção sustentável e economicamente viável para solucionar este problema. Nesse contexto, o estudo objetivou investigar o cenário mundial do tratamento de resíduos sólidos orgânicos por vermicompostagem e os impactos ambientais ocasionados pela disposição



Journal of Environmental Analysis and Progress © 2016
is licensed under CC BY-NC-SA 4.0

inadequada desses resíduos em aterros sanitários. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática da literatura, com busca de artigos no Portal de Periódicos CAPES e na base de dados PUBMED. Segundo os dados analisados, nota-se uma presença exorbitante de problemas quanto aos resíduos orgânicos, que em viés da sua composição química podem ser facilmente tratados a partir da ação das minhocas, como em casos de lodos industriais, ou até mesmo gerar biofertilizantes, um subproduto presente em 92,3% das pesquisas, reunindo ótimos resultados quanto à composição de macro e micronutrientes. Logo, os resultados obtidos demonstraram que a vermicompostagem consiste em uma maneira eficiente de manejar resíduos sólidos orgânicos, podendo ser aplicada para a produção de biofertilizante ou para tratamentos de estabilização desses resíduos a fim de reduzir seus potenciais nocivos. A presente revisão é fundamental para o incentivo da utilização da vermicompostagem como indicador de resposta ao despejo e tratamento incorreto dos resíduos orgânicos, consagrando-se como uma maneira de reutilizar e tratar esses resíduos sustentavelmente, atingindo resultados satisfatórios. Desse modo, a vermicompostagem consagra-se como uma forma promissora de mitigar a disposição incorreta de resíduos sólidos orgânicos e reduzir possíveis repercussões negativas ao meio ambiente.

Palavras-chave: Problemas ambientais, minhocas, biofertilizante, sustentabilidade.

Introdução

O despejo de resíduos orgânicos tem se consagrado como um desafio ao redor do mundo, pois sua disposição inadequada tem alto potencial para deteriorar o meio ambiente e comprometer a saúde do solo e das plantas devido à presença de patógenos indesejáveis e substâncias tóxicas (Westerdahl, 2015).

Desse modo, essa problemática toma proporções cada vez maiores devido ao rápido crescimento populacional, à industrialização e à urbanização (Elkington et al., 2008). Nesse contexto, a produção de resíduos sólidos urbanos globais é de, aproximadamente, 2,3 bilhões de toneladas e, aproximadamente, 33% dessa quantidade gerada não é gerida de forma ambientalmente segura (Wang et al., 2020; The United Nations Environment Assembly, 2024).

Diante disso, inúmeras decisões têm sido tomadas para reciclar e separar estes resíduos ao nível individual, comunitário e governamental, mas ainda existem grandes quantidades de resíduos industriais e domésticos sendo despejados de maneira conjunta. Essa ineficácia da gestão de resíduos sólidos afeta diretamente a vida das comunidades e traz impactos nas áreas de limpeza, saúde e produtividade (Ugwu et al., 2020).

Tais impactos consistem na contaminação da biosfera, incluindo oceanos, rios e mares, provocando inundações e obstrução de drenos. Também há aumento na transmissão de doenças, visto que o acúmulo de resíduos em locais impróprios propicia a propagação de vetores transmissores e de problemas respiratórios devido à queima de resíduos em virtude da limitação de locais adequados para descarte. Os animais também são vítimas do manejo incorreto dos resíduos devido à poluição de seus habitats (Sharma et al., 2020).

Assim, uma gestão eficiente dos resíduos sólidos é obrigatória e exige ações imediatas para a persistência e funcionamento apropriado das sociedades (Bui et al., 2020). Dessa forma, a destinação adequada de resíduos urbanos reduz a quantidade destinada à incineração, aterros ou lixões, assim como possibilita melhorias ambientais. Portanto, resíduos orgânicos produzidos em atividades domésticas ou provenientes de ambientes variados devem ser reinseridos na cadeia econômica e produtiva (Bhat et al., 2017).

Uma das tecnologias disponíveis para tratamento dos resíduos sólidos orgânicos é a vermicompostagem, a qual vem sendo utilizada a fim de reduzir os impactos ambientais ocasionados pelo despejo inapropriado dos resíduos sólidos orgânicos em aterros sanitários, uma vez que podem ser reinseridos na cadeia produtiva.

A vermicompostagem é um processo bio-oxidativo otimizado no qual minhocas detritívoras, especialmente *Eisenia* spp., e microrganismos atuam em conjunto para acelerar a deterioração dos resíduos, modificando drasticamente as propriedades físicas, químicas e biológicas dos resíduos orgânicos (Domínguez et al., 2012).

Esse processo compreende uma fase ativa, na qual a atividade das minhocas é crítica e uma fase de maturação, em que as minhocas deixam o substrato e os microrganismos assumem o controle, tornando-se os principais agentes. A fase ativa abrange os processos relacionados à passagem do substrato pelos intestinos das minhocas. Nesta etapa, a biomassa e a atividade microbiana são reduzidas pela digestão das minhocas, alterando a estrutura e a função das comunidades microbianas durante o processo de vermicompostagem. No decorrer da maturação, os materiais excretados pelas minhocas amadurecem, enquanto suas

comunidades microbianas associadas são renovadas (Aira et al., 2007).

Assim, em contraste à compostagem termofílica convencional, a vermicompostagem consiste na bioconversão dos resíduos em dois produtos úteis: biomassa de minhoca e vermicomposto. A biomassa pode ser processada a fim de obter proteína ou produzir compostos hortícolas de excelência. No mesmo sentido, o vermicomposto também é considerado um excelente produto por ser homogêneo, ter estética desejável, níveis reduzidos de contaminantes e promover maior retenção de nutrientes por longos períodos sem prejudicar o meio ambiente. Esse processo deve ser mantido a temperaturas abaixo de 35°C para garantir a sobrevivência das minhocas que são sensíveis a altas temperaturas (Ndegwa et al., 2000).

Diante disso, o material vermicomposto é capaz de aumentar a disponibilidade de nutrientes minerais, tais como nitrogênio (cinco vezes), fósforo (sete vezes), potássio (11 vezes) e magnésio (duas vezes) no solo (Bridgens, 1981). Portanto, a vermicompostagem pode contribuir para a redução dos riscos ambientais e para a manutenção da agricultura sustentável, fornecendo matéria orgânica ao solo e nutrição mineral para as plantas (Mal et al., 2013).

Os fertilizantes orgânicos fornecem macronutrientes, micronutrientes e nutrientes secundários, além de melhorarem as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo. Ademais, os adubos de origem orgânica são liberados de forma gradual, sendo conseqüentemente menos vulneráveis que os fertilizantes minerais, o que reduz significativamente a poluição do solo, da água e do ar (Bade et al., 2017).

Dessa maneira, além de diminuir problemas econômicos, de saúde e ambientais, a vermicompostagem tem um papel relevante na produção de matéria orgânica e na substituição de fertilizantes químicos perigosos, minimizando a contaminação nos ecossistemas aquáticos e terrestres gerada por resíduos (Edwards et al., 2010).

Diante do exposto, o estudo objetiva investigar o cenário mundial da vermicompostagem por meio de uma revisão sistemática, de modo a reunir os efeitos alcançados por essa técnica, buscando promover e ampliar sua aplicação, além de demonstrar como a vermicompostagem surge como uma alternativa, não só para a questão da disposição dos resíduos sólidos orgânicos, como também consiste em uma maneira de substituir os fertilizantes inorgânicos por biofertilizantes, desenvolvendo um sistema sustentável.

Material e Métodos

No estudo foi utilizada a metodologia de revisão sistemática, com foco em estudos que tenham analisado o tratamento de resíduos sólidos orgânicos pela técnica de vermicompostagem.

Para tanto, foram seguidas cinco etapas subsequentes: identificação do problema e formulação de uma hipótese; seleção das amostras a serem revisadas; definição das características dos estudos; análise dos resultados; e apresentação de resultados e da revisão.

As pesquisas foram realizadas nos meses de julho e agosto de 2023 na plataforma Portal de Periódicos CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) do Governo Brasileiro e na base de dados internacional PUBMED (National Library of Medicine). Para conformação da hipótese norteadora, foram utilizados três elementos da estratégia PICO, sendo eles: P (problema) relacionado à disposição de resíduos sólidos orgânicos em aterros sanitários, I (intervenção), associado à técnica de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos por vermicompostagem e O (*outcome*) relacionado aos impactos ambientais dessa disposição e dessa técnica de tratamento. Assim, resultou-se na pergunta norteadora: “Qual o cenário do tratamento de resíduos sólidos orgânicos por vermicompostagem e os impactos ambientais ocasionados pela disposição inadequada desses resíduos em aterros sanitários?”.

Em ambas as bases de dados foram utilizados os descritores/palavras-chave combinados com operadores booleanos AND, sendo eles “Resíduos Sólidos Orgânicos”; “Tratamento”; “Vermicompostagem” e “Disposição”. As pesquisas foram realizadas em língua inglesa, tendo em vista o número de evidências. A Tabela 1 mostra a estratégia da busca nas bases de dados.

Tabela 1. Descritores de busca em bases de dados e os resultados obtidos, no período entre 2020 e 2023. Fonte: Colombari Filho et al. (2023).

Base de dados	Descritores utilizados (2020-2023)	Resultados
Plataforma CAPES	<i>organic solid waste treatment AND vermicomposting AND disposal</i>	12
	<i>organic solid waste treatment AND vermicomposting</i>	54
	<i>vermicomposting AND disposal</i>	84

PUBMED	<i>organic solid waste treatment AND vermicomposting AND disposal</i>	3
	<i>organic solid waste treatment AND vermicomposting</i>	12
	<i>vermicomposting AND disposal</i>	45
Total		210

Como critério de inclusão, os estudos precisaram seguir as seguintes diretrizes: deveriam estar nos idiomas inglês ou português, originais, disponíveis gratuitamente na internet, a publicação deveria seguir no máximo os últimos três anos (2020 - 2023), inteiramente relacionados ao tema de interesse citado.

Necessariamente, os artigos selecionados precisaram avaliar o tratamento de resíduos sólidos orgânicos por meio da vermicompostagem, bem como os impactos ambientais ocasionados pela disposição inadequada desses resíduos em aterros sanitários, sendo excluídos materiais encontrados como livros, legislações, guias e manuais de

operação, documentos duplicados, revisões de literatura ou qualquer outro que não atendessem a pergunta norteadora.

Tendo em vista o atendimento dos critérios mencionados, os arquivos foram exportados e analisados por inteiro, verificando se de fato as premissas foram atendidas. Nessa etapa, selecionaram-se os artigos de maior relevância, considerando-se resultados encontrados e coerência nos conteúdos estudados, de forma que a avaliação da revisão sistemática pudesse ser o mais comparativa possível.

Sendo assim, foram inicialmente identificadas 210 publicações e removidas, inicialmente, 187 publicações na triagem por serem duplicadas, abordarem outros assuntos ou por não atenderem aos critérios pré-estabelecidos para inclusão. Em seguida, as 23 publicações passaram por leitura de título e resumo, dos quais cinco não se encaixavam nos critérios estabelecidos anteriormente, restando 18 publicações. As 18 publicações foram analisadas na íntegra e destas apenas 13 publicações atenderam aos critérios de elegibilidade definidos. A Figura 1 apresenta as etapas seguidas para a triagem dos artigos.

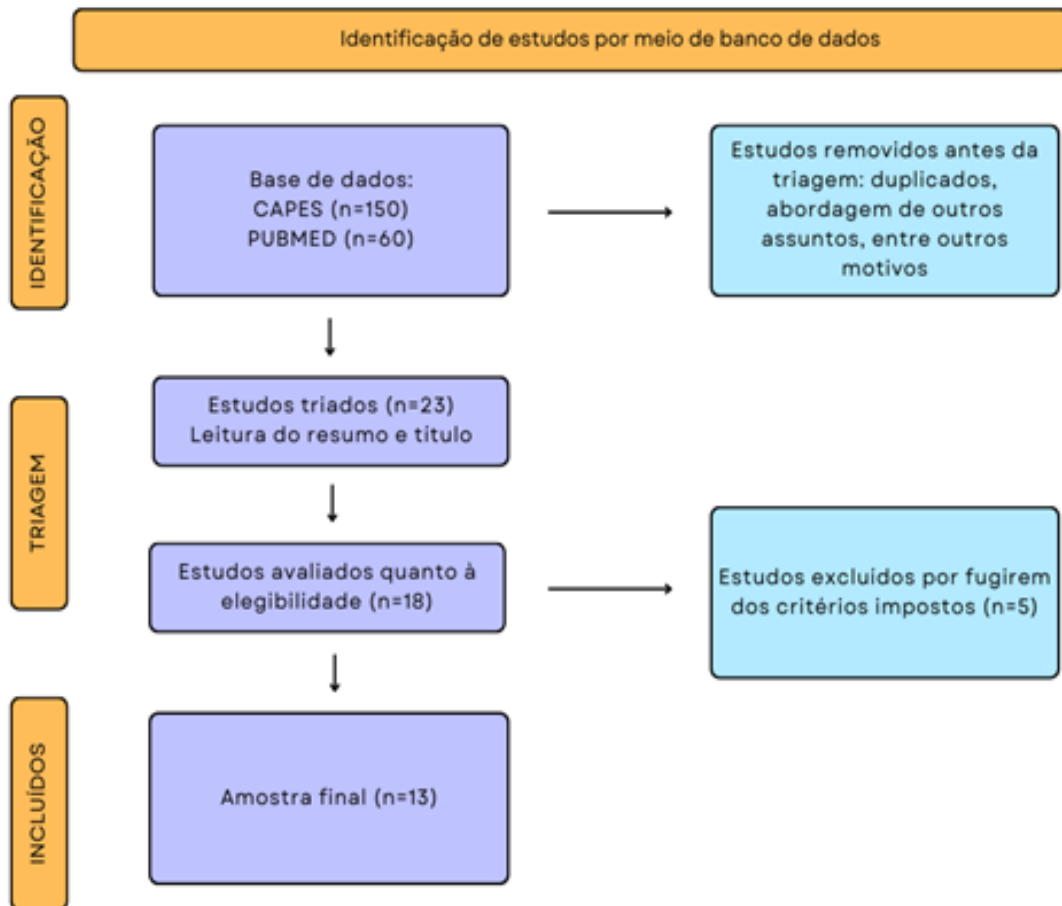


Figura 1. Fluxograma de identificação e seleção dos artigos científicos. Fonte: Colombari Filho et al. (2023).

A partir dos artigos científicos apurados, foi possível catalogar os dados de cada um referente aos resultados obtidos: o cenário do tratamento de resíduos sólidos orgânicos por vermicompostagem e os impactos ambientais ocasionados pela disposição inadequada desses resíduos em aterros sanitários. Além disso, foram considerados os países onde os estudos foram desenvolvidos para compreender a complexidade e a demanda mundial do tema.

Resultados e Discussão

Após a triagem dos artigos, foram selecionados 13 resultados, que, por sua vez, atendiam à proposta inicial de realização desta revisão sistemática. Essa amostra final engloba 10

artigos da plataforma CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), e três da plataforma PUBMED (National Library of Medicine). Desta forma, todos apresentaram resultados satisfatórios quanto ao processo de vermicompostagem, de acordo com cada proposta almejada na pesquisa.

Sendo assim, as propostas dos estudos englobam uma vasta variedade de temas, sintetizados na forma de nuvem de palavras a partir das palavras-chave dos artigos selecionados conforme a Figura 2, evidenciando a relevância das palavras “resíduo”, “sólido”, “orgânico” e “vermicompostagem” se assemelhando aos descritores utilizados para a pesquisa na base de dados.



Figura 2. Nuvem de palavras gerada a partir das palavras-chave traduzidas dos artigos selecionados. Fonte: Colombari Filho et al. (2023).

Os artigos selecionados foram analisados e coletaram-se as informações consideradas de maior relevância, sendo elas: resíduos utilizados, espécie

da minhoca e principais resultados. Tais informações foram sintetizadas e agrupadas na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros referentes aos artigos de vermicompostagem de resíduos sólidos orgânicos selecionados nas bases de dados CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e PUBMED (National Library of Medicine). Fonte: Colombari Filho et al. (2023).

Autor(es) e Ano	Resíduos utilizados	Espécie da minhoca	Principais resultados
Abdulla-Al-Mamun et al. (2023)	Resíduos de curtume	<i>Eisenia fetida</i>	Vermicomposto com parâmetros adequados para um fertilizante, mostrou efeitos positivos no crescimento do Capim Napier.
Aminifard (2022)	Esterco de Vaca Vermicomposto	Não informado	Vermicomposto conferiu melhorias no crescimento e na qualidade da pimenta vermelha.

Domínguez et al. (2021)	Lodo de esgoto proveniente de tratamento de águas residuais	<i>Eisenia andrei</i>	Modificação drástica das comunidades de bactérias e fungos do lodo, reduzindo os patógenos e potencializando o crescimento das plantas.
Ećimović et al. (2022)	Esterco de cavalo e bagaço de uva	<i>Eisenia andrei</i>	Os substratos mais adequados para produção de fertilizante foram folhas com esterco de cavalo e bagaço de uva isolados e em combinação com lâ de rocha e serragem.
Gómez-Brandón et al. (2022)	Bagaço de uva branca e bagaço de uva tinta	<i>Eisenia andrei</i>	O vermicomposto estabilizou biologicamente o bagaço de uva e gerou fertilizante com resultados positivos.
Kasam et al. (2021)	Resíduos orgânicos do mercado, incluindo todos os tipos de vegetais verdes, tomates e frutas.	<i>Lumbricus rubellus</i>	Parâmetros de Carbono / Nitrogênio, Fósforo e Potássio dentro dos critérios exigidos, produzindo um fertilizante potente.
Parseh et al. (2021)	Lixo doméstico, esterco de vaca e lodo desidratado.	<i>Eisenia fetida</i>	Eliminação de ovos de parasitos e redução do teor de coliformes presentes nos resíduos, gerando vermicomposto mais seguro.
Shah, Abid & Qayyum, 2020	Resíduos da Indústria de Cana-de-açúcar	<i>Lumbricus rubellus</i>	Produção de biofertilizante com efeitos satisfatórios no crescimento, rendimento e qualidade do tomate.
Singh et al. (2022)	Resíduo têxtil de algodão	<i>Eisenia fetida</i>	O resíduo de algodão não interfere no processo e gera biofertilizante de qualidade.
Wang et al. (2022)	Lodo de esgoto industrial proveniente de tratamento de águas residuais de uma fábrica de aço.	<i>Eisenia fetida</i>	Resultou em uma menor concentração de metais pesados no lodo industrial.
Winck et al. (2022)	Frutas não cítricas, legumes, verduras, grãos e sementes, cascas de ovo, borras de café e restos de chá e erva-mate.	<i>Eisenia fetida</i> e <i>Eudrilus eugeniae</i>	Baixa luminosidade e umidade entre 50 e 70% são os parâmetros ideais para obtenção de vermicomposto de qualidade.
Yang et al. (2023)	Substrato de cogumelo	<i>Eisenia fetida</i>	Produção de fertilizante com potencial para manejo de doenças causadas por nematódeos.
Zhang et al. (2020)	Lodo desidratado	<i>Eisenia fetida</i>	Estabilização do lodo com desempenho ótimo em parâmetro de temperatura a 25°C, gerando vermicomposto de qualidade.

No que diz respeito à intenção de cada um dos estudos, 53,8% dos artigos apresentaram

pesquisas focadas em produzir biofertilizantes potentes com macro e micronutrientes ampliados e

em 23,1% dos artigos a vermicompostagem foi utilizada para tratamento de estabilização do resíduo sólido orgânico coletado. Correspondentemente, 23,1% dos estudos focaram em investigar como diferentes parâmetros influenciaram o processo de vermicompostagem. É válido ressaltar que apesar de alguns estudos enfatizarem o tratamento dos resíduos e a verificação de parâmetros, o vermicomposto com potencial biofertilizante também foi produzido em 92,3% das pesquisas, as quais mencionaram a obtenção de fertilizante orgânico por meio da vermicompostagem.

Conforme as informações obtidas, é notório que 38,5% dos artigos foram realizados no intervalo de 2020 a 2021, e os 61,5% restantes nos anos de 2022 e 2023, demonstrando uma ascensão em pesquisas relacionadas à vermicompostagem, indicando uma crescente positiva no interesse de meios alternativos de tratamentos sustentáveis de resíduos sólidos orgânicos.

Por conseguinte, a partir das informações relatadas nos artigos, é visível que houve a predominância de restos de alimentos e lodo dentre os resíduos utilizados. Sendo assim, 33,3% dos estudos utilizaram como resíduos restos de frutas e vegetais (não cítricos) por serem de fácil acesso e por conta de suas propriedades potencializadoras do produto final. Em contrapartida, 26,7% dos artigos optaram por resíduos de lodos industriais, a fim de utilizar a vermicompostagem como forma de tratamento tanto em quesitos físicos, químicos e patológicos.

Acima de tudo, as pesquisas relatam uma diversidade abrangente de espécies de minhocas utilizadas, sendo 53,8% da espécie *E. fetida*, 23,1% da *E. andrei*, 15,4% da *L. rubellus* e apenas 7,7% da *E. eugeniae*, conformando diferentes resultados em relação à tipagem da minhoca utilizada.

Os artigos científicos selecionados para a composição desta revisão foram realizados nos seguintes países: Bangladesh, Irã, Paquistão, Canadá, Croácia, China, Indonésia, Itália, Brasil, Arábia Saudita, Índia e Espanha.

Ao observar a Tabela 2, é perceptível que a obtenção de fertilizante orgânico, a partir da vermicompostagem, predomina entre os principais resultados. Para isso, foram explorados resíduos orgânicos de origens variadas a fim de obter um produto sustentável e minimizar os impactos causados pela crescente produção e consequente descarte dos resíduos sólidos orgânicos.

Nesse sentido, segundo Kasam et al. (2021), resíduos orgânicos de mercados são gerados em grandes volumes, causando poluição do ar e das águas e agindo como vetor de doenças. Assim, em suas pesquisas a vermicompostagem foi

aplicada em resíduos orgânicos gerados por mercados, constituídos majoritariamente por verduras e frutas. Obteve-se como resultado um vermicomposto com uma relação carbono/nitrogênio, um teor de potássio e um teor de fósforo conforme os padrões exigidos para um fertilizante eficiente, indicando que esse produto pode ser aplicado no desenvolvimento de plantas, adequando a vermicompostagem como uma forma sustentável de gerenciar os resíduos de mercado.

Com relação à indústria de cogumelos, a problemática surge após a colheita, quando o substrato é descartado, ocasionando poluição ambiental. Somente na China foram gerados 13,2 milhões de toneladas de substrato de cogumelos no ano de 2010 (Gao et al., 2015). Sendo assim, análises feitas por Yang et al. (2023) demonstraram que vermicompostagem é viável para o aproveitamento do substrato remanescente após a colheita de cogumelos. Desse modo, os estudos constataram que a ação das minhocas aprimorou as propriedades físico-químicas e o estado geral dos nutrientes enquadrados como essenciais para um vermicomposto de qualidade. Além disso, o biofertilizante produzido apresentou eficácia em suprimir a doença causada pelo nematódeo *Meloidogyne incognita* que afeta o tabaco, aumentando a resistência dessa planta.

No que diz respeito aos resíduos originários da indústria vinícola, aproximadamente 10.000 a 13.000 kg de bagaço de uva são gerados por ano (Domínguez et al., 2014). Diante disso, Gómez-Brandón et al. (2022) demonstraram que é possível gerar um vermicomposto rico em elementos potencialmente benéficos para o crescimento e evolução das plantas ao se aplicar bagaços de uvas brancas e tintas na vermicompostagem. Os valores da relação carbono/nitrogênio obtidos no vermicomposto se adequaram aos intervalos recomendados compostos de qualidade.

Outro setor produtor de grandes quantidades de resíduos é a indústria de couro, em que a cada 1.000 kg de matéria-prima utilizada, apenas 200 kg caracteriza-se como produto aproveitável. (Ozgunay et al., 2007). Considerando o exposto, os estudos realizados por Abdulla-Al-Mamun et al. (2023) atestaram que o vermicomposto, obtido por meio de resíduos da indústria de curtume, apresentou uma menor quantidade de carbono orgânico total e redução da relação carbono/nitrogênio, assim como uma elevação na taxa de nitrogênio de Kjeldahl total, fósforo total e potássio total, indicando a obtenção de um fertilizante orgânico de qualidade. Além disso, esse produto da vermicompostagem foi aplicado na plantação do capim Napier, e as

análises indicaram resultados satisfatórios no crescimento das plantas sem indícios de contaminação por metais tóxicos nas folhas, caules e raízes da planta.

A atividade pecuária também produz resíduos orgânicos, sendo um dos principais o esterco. Em uma pesquisa realizada por Aminifard (2022), foi comprovado que o esterco de vaca vermicomposto é capaz de gerar efeitos positivos no crescimento de plantas. Neste estudo, o vermicomposto foi aplicado no plantio da pimenta vermelha, apresentando aumento significativo da altura da planta, maior número de folhas, maior produção de frutos, elevação no teor de clorofila e vitamina C, além de as sementes e frutos produzidos apresentarem maior peso.

No que concerne à indústria de cana-de-açúcar, a produção global é de 175,1 milhões de toneladas métricas, sendo gerados 280 kg de bagaço a cada tonelada processada (Duque et al., 2015; Restrepo-Serna et al., 2018). Posto isto, Shah et al. (2020) investigaram a aplicabilidade de vermicomposto proveniente de resíduos da indústria de cana-de-açúcar em combinação com esterco agrícola, gerando mudanças significativas nas características agrônômicas do tomate. A altura das plantas, o diâmetro do caule, o número de folhas, o número de frutos e a produtividade aumentaram em 37, 67, 62, 59 e 24%, respectivamente, quando comparadas ao tratamento de controle. Além disso, o vermicomposto também aumentou os teores de nitrogênio total e licopeno do tomate, evidenciando o êxito na obtenção de biofertilizante ao se utilizar resíduos de cana-de-açúcar na vermicompostagem.

Quanto à indústria de tecidos, o destino dos resíduos têxteis pós-consumo concentra-se em aterros sanitários, propiciando a geração de gás carbônico e gás metano, ambos prejudiciais ao meio ambiente. (Gamberini et al., 2014). À vista disso, ensaios feitos por Singh et al. (2022) embasaram-se em um tratamento de controle sem a presença de algodão pós-consumo e tratamentos onde o resíduo foi adicionado em diferentes quantidades na vermicompostagem. As análises detectaram que todos os ensaios apresentaram uma relação carbono/nitrogênio adequada aos parâmetros necessários para um fertilizante de qualidade, não sendo identificadas grandes diferenças entre o tratamento de controle e o com algodão. Esse fator indica que o resíduo de algodão não interfere no processo de vermicompostagem, representando uma fonte de carbono para as minhocas produzirem um composto eficiente para aplicação na agricultura.

Não obstante, ao analisar as informações contidas na Tabela 2, é notório que outra variável,

além da produção de biofertilizantes, foi investigada nos artigos, o tratamento para a estabilização dos resíduos sólidos orgânicos. Nos estudos realizados, o foco do tratamento concentrou-se em minimizar o potencial nocivo desses resíduos, eliminando ou reduzindo metais pesados, ou substâncias patogênicas, visando prevenir impactos ambientais, ou à saúde humana.

Dessa forma, o principal resíduo aplicado para os tratamentos de estabilização foi o lodo, sua produção é de, aproximadamente, centenas de milhões de toneladas por ano, em todo o mundo. A disposição inadequada desse resíduo provoca graves problemas ambientais, principalmente a poluição do solo por metais pesados, patógenos humanos e poluentes orgânicos. (Domínguez et al., 2021).

Quanto aos metais pesados presentes no lodo, como zinco, chumbo, cobre e cádmio, estes podem representar um sério risco à saúde animal, vegetal e humana, impossibilitando a disposição adequada desse resíduo sólido (Lee et al., 2018). Entretanto, as minhocas são capazes de absorver e acumular os metais pesados do substrato, além de modificar a especiação dos metais pesados no produto final (He et al., 2016). Desse modo, Wang et al. (2022) buscou aplicar a vermicompostagem para estabilizar o lodo de esgoto industrial, notando a redução das concentrações totais de metais pesados. Com o acréscimo de biocarvão, a eliminação da substância polimérica extracelular foi potencializada, fator que favoreceu os mecanismos do metabolismo da minhoca e acelerou os metais pesados que se bioacumularam nos tecidos e intestino da minhoca (Maňáková et al., 2014).

Em relação à redução de patógenos que apresentam riscos à saúde, estudos conduzidos por Parseh et al. (2021) avaliaram a influência da vermicompostagem na atenuação de carga patogênica em tratamentos de lodo, esterco bovino e resíduos domésticos. Assim, observou-se a eliminação total de ovos de parasitos nos três resíduos. Do mesmo modo, a proporção de coliformes foi drasticamente reduzida, garantindo um vermicomposto mais seguro para a saúde humana e o meio ambiente ao ser aplicado para aperfeiçoamento do solo manuseado na agricultura.

No mesmo sentido, Domínguez et al. (2021) constataram em seus estudos que a atividade das minhocas é um fator crítico que leva à rápida redução de patógenos durante a vermicompostagem. Este estudo descreveu como a vermicompostagem modifica drasticamente as comunidades de bactérias e fungos do lodo de esgoto, apresentando a eliminação da maioria dos táxons microbianos presentes neste resíduo,

principalmente durante os processos associados ao intestino e ao excremento das minhocas. Ademais, a vermicompostagem transforma a comunidade microbiana em um sistema com características bioestimulantes que podem contribuir para o crescimento das plantas.

Outra discussão relevante abordada com maior foco em alguns dos artigos consistiu na análise e comparação de como variados parâmetros como temperatura, pH, luminosidade, umidade e composição dos substratos podem comprometer ou aprimorar a eficiência da técnica de vermicompostagem.

Zhang et al. (2020) buscaram esclarecer os impactos da temperatura no processo de vermicompostagem do lodo desidratado. Seus estudos indicaram que a temperatura influenciou na decomposição e mineralização do lodo, sendo a temperatura de 25°C a responsável pelo processo mais rápido de estabilização. Desse modo, esse aumento na temperatura elevou a atividade microbiana e o crescimento das minhocas nos primeiros 30 dias, tais modificações podem ter sido as influências para a rapidez da estabilização do lodo, gerando um vermicomposto de qualidade.

Os estudos realizados por Winck et al. (2022) executaram o monitoramento do pH, da umidade e da luminosidade durante a vermicompostagem. A partir disso, concluiu-se que a proporção de cálcio, potássio, magnésio e fósforo aumentou quando o pH atingiu um grau de estabilidade, enquanto os níveis de zinco e manganês foram maiores quando o composto assumiu um pH característico de meios ácidos. Em relação à umidade, o valor ideal concentra-se entre 50% e 70% de umidade, e quando esse teor foi excedido notou-se aumento da proliferação de insetos na composteira, e maior estresse das minhocas, gerando competição por alimento. Quanto à luminosidade, notou-se a preferência das minhocas pelo fundo da caixa, confirmando-se que seus metabolismos são sensíveis à luz. Assim, tais ajustes de parâmetros permitiram que a vermicompostagem de restos de alimentos realizada nesta pesquisa produzisse um vermicomposto com macro e micronutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas.

Ećimović et al. (2022) analisaram como diferentes composições de substratos afetam o comportamento das minhocas. Para isso, foram realizadas combinações com estrume de cavalo, bagaço de uva, folhas, microrganismos, serragem, lâ de rocha, ureia e lascas de madeira. Assim, foi constatado baixa sobrevivência das minhocas na presença de ureia e microrganismos e quando o estrume de cavalo foi utilizado isoladamente ou sem pré-compostagem. Considerando o teste de

evitação, as minhocas apresentaram preferência pelos substratos que continham bagaço de uva e principalmente pelo que continha estrume de cavalo pré-compostado e folhas.

Conclusão

A quantidade de artigos voltados para a utilização da técnica por vermicompostagem para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos vem crescendo ao longo dos anos, com importantes pesquisas realizadas em diversas partes do mundo. Diante do aumento populacional global nos últimos anos, tem-se analisado sobre o acúmulo excessivo de resíduos dispostos de maneira incorreta, provenientes de práticas essenciais para a sobrevivência, como o consumo de alimentos e as atividades industriais, além do consumismo em geral, conforme a demanda populacional. Dessa forma, este cenário pode acarretar riscos ambientais à saúde da população. Logo, a vermicompostagem tem sido agente principal de pesquisa para o tratamento e a produção de subprodutos provenientes dos resíduos gerados, promovendo uma solução sustentável e rentável para essa problemática.

Deste modo, esta revisão é fundamental para o incentivo da utilização da vermicompostagem como indicador de resposta ao despejo e ao tratamento incorreto dos resíduos orgânicos, consagrando-se como uma maneira de reutilizar e tratar esses resíduos sustentavelmente, atingindo resultados satisfatórios.

Agradecimentos

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP) pelas bolsas oferecidas aos estudantes Daniel Colombari Filho e Julia Couri Trevizan.

Referências

- Abdulla-Al-Mamun, M.; Hossain, N.; Hossain, M. I.; Sultana, R. 2023. Conversion of Leather Industry Solid Waste to Organic Fertilizer by Vermicomposting: Use for Plant Growth. *Textile & Leather Review*, 6, 37-56. <https://doi.org/10.31881/TLR.2022.82>
- Aira, M.; Monroy, F.; Domínguez, J. 2007. Microbial Biomass Governs Enzyme Activity Decay during Aging of Worm-Worked Substrates through Vermicomposting. *Journal of Environmental Quality*, 36, (2), 448-452. <https://doi.org/10.2134/jeq2006.0262>
- Aminifard, M. H. 2022. Effect of cow vermicompost on growth, fruit yield, and quality of hot pepper (*Capsicum annuum* var.

- Red chili). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 11, (3), 363-374.
<https://doi.org/10.30486/ijrowa.2021.1913049.1154>
- Bade, K. K.; Bhati, V.; Singh, V. B. 2017. Effect of Organic Manures and Biofertilizers on Growth, Yield and Quality of Chilli (*Capsicum annum*) cv. Pusa Jwala. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6, (5), 2545-2552.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.605.286>
- Bhat, S. A.; Singh, J.; Vig, A. P. 2017. Amelioration and degradation of pressmud and bagasse wastes using vermiculture technology. *Bioresource Technology*, 243, 1097-1104.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.093>
- Bridgens, S. 1981. The Importance of Earthworms. *Span*. v. 22, n. 8, pp. 20- 40.
- Bui, T. D.; Tsai, F. M.; Tseng, M.-L.; Ali, M. H. 2020. Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104625.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104625>
- Domínguez, J.; Aira, M.; Crandall, K. A.; Pérez-Losada, M. 2021. Earthworms drastically change fungal and bacterial communities during vermicomposting of sewage sludge. *Scientific Reports*, 11, (1), 15556.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-95099-z>
- Domínguez, J.; Gómez-Brandón, M. 2012. Vermicomposting: Composting with Earthworms to Recycle Organic Wastes. *InTech Ebooks*, v. 2, 22p.
<https://doi.org/10.5772/33874>
- Domínguez, J.; Martínez-Cordeiro, H.; Álvarez-Casas, M.; Loes, M. 2014. Vermicomposting grape marc yields high quality organic biofertiliser and bioactive polyphenols. *Waste Management & Research*, 32, (12), 1235-1240.
<https://doi.org/10.1177/0734242x14555805>
- Duque, S. H.; Cardona, C. A.; Moncada, J. 2015. Techno-Economic and Environmental Analysis of Ethanol Production from 10 Agroindustrial Residues in Colombia. *Energy & Fuels*, 29, (2), 775-783.
<https://doi.org/10.1021/ef5019274>
- Ečimović, S.; Velki, M.; Mikuška, A.; Bažon, J.; Kovacic, L. S.; Kristek, S.; Jović, J.; Nemet, F.; Perić, K.; Lončarić, Z. 2022. How the Composition of Substrates for Seedling Production Affects Earthworm Behavior. *Agriculture*, 12, (12), 2128.
<https://doi.org/10.3390/agriculture12122128>
- Edwards, C. A.; Arancon, N. Q.; Sherman, R. L. 2010. *Vermiculture Technology*. 623p.
<https://doi.org/10.1201/b10453>
- Elkington, J.; Hartigan, P. 2008. *The power of unreasonable people: How social entrepreneurs create markets that change the world*. Harvard Business Press. 256p.
- Gamberini, R.; Galloni, L.; Rimini, B.; Luppi, M. 2014. Post-consumer textile waste re-use: Main steps of a sustainable process. In *Proceedings of the XIX Summer School "Francesco Turco"*, Senigallia, AN, Italy, pp. 354-359.
- Gao, W.; Liang, J.; Pizzul, L.; Feng, X. M.; Zhang, K.; del Pilar Castillo, M. 2015. Evaluation of spent mushroom substrate as substitute of peat in Chinese biobeds., 98, 107-112.
<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.12.008>
- Gómez-Brandón, M.; Fornasier, F.; Andrade, N.; Domínguez, J. 2022. Influence of earthworms on the microbial properties and extracellular enzyme activities during vermicomposting of raw and distilled grape marc. *Journal of Environmental Management*, 319, 115654.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115654>
- He, X.; Zhang, Y.; Shen, M.; Zeng, G.; Zhou, M.; Li, M. 2016. Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials. *Bioresource Technology*, 218, 867-873.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.045>
- Kasam; Iresha, F. M.; Kusuma, T. B.; Uman, R.; Mutolib, A.; Rahmat, A. 2021. Study of organic market waste processing using continuous flow bin vermicomposting meet several nutrient parameters. *IOP Conference Series*, 739, (1), 012040-012040.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/739/1/012040>
- Lee, L. H.; Wu, T. Y.; Shak, K. P. Y.; Lim, S. L.; Ng, K. Y.; Nguyen, M. N.; Teoh, W. H. 2018. Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93, (4), 925-935.
<https://doi.org/10.1002/jctb.5490>
- Mal, S.; Chattopadhyay, G. N.; Chakrabarti, K. 2013. Compost quality assessment for successful organic waste recycling. *Ecoscan.*, 3, 199-203.

- Maňáková, B.; Kuta, J.; Svobodová, M.; Hofman, J. 2014. Effects of combined composting and vermicomposting of waste sludge on arsenic fate and bioavailability. *Journal of Hazardous Materials*, 280, 544-551. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.08.024>
- Ndegwa, P. M.; Thompson, S. A. 2000. Effects of C-to-N ratio on vermicomposting of biosolids. *Bioresource Technology*, 75, (1), 7-12. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(00\)00038-9](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(00)00038-9)
- Ozgunay, H.; Colak, S.; Mutlu, M. M.; Akyuz, F. 2007. Characterization of leather industry waste. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16, (6), 867-873.
- Parseh, I.; Mousavi, K.; Badienejad, A.; Golbini Mofrad, M. M.; Hashemi, M.; Azadbakht, O.; Karimi, H. 2021. Microbial and composition changes during vermicomposting process resulting from decomposable domestic waste, cow manure and dewatered sludge. *International Journal of Environmental Health Engineering*, 10, (1), 3. https://doi.org/10.4103/ijehe.ijehe_56_20
- Restrepo-Serna, D. L.; Martínez-Ruano, J. A.; Cardona-Alzate, C. A. 2018. Energy Efficiency of Biorefinery Schemes Using Sugarcane Bagasse as Raw Material. *Energies*, 11, (12), 3474. <https://doi.org/10.3390/en11123474>
- Shah, R.; Abid, M.; Qayyum, M. F. 2020. Effects of composted and vermicomposted sugarcane industry wastes and farm manure on tomato quality and yield. *Mehran University Research Journal of Engineering and Technology*, 39, (2), 380-389. <https://doi.org/10.22581/muet1982.2002.14>
- Sharma, H. B.; Vanapalli, K. R.; Cheela, V. S.; Ranjan, V. P.; Jaglan, A. K.; Dubey, B.; Goel, S.; Bhattacharya, J. 2020. Challenges, opportunities, and innovations for effective solid waste management during and post COVID-19 pandemic. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 105052. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105052>
- Singh, V.; Wyatt, J.; Zoungrana, A.; Yuan, Q. 2022. Evaluation of Vermicompost Produced by Using Post-Consumer Cotton Textile as Carbon Source. *Recycling*, 7, (1), 10. <https://doi.org/10.3390/recycling7010010>
- The United Nations Environment Assembly – UN. 2024. Relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Disponível em: <https://www.unep.org/environmentassembly/unea6>.
- Ugwu, C. O.; Ozoegwu, C. G.; Ozor, P. A. 2020. Solid waste quantification and characterization in university of Nigeria, Nsukka campus, and recommendations for sustainable management. *Heliyon*, 6, (6), e04255. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04255>
- Wang, S.; Yan, W.; Zhang, F. 2020. Recovery of solid waste as functional heterogeneous catalysts for organic pollutant removal and biodiesel production. *Chemical Engineering Journal*, 401, 126104-126104. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126104>
- Wang, X.; Chu, Z.; Fan, T.; Liang, S.; Li, G.; Zhang, J.; Zhen, Q. 2022. Application of Rice Husk Biochar and Earthworm on Concentration and Speciation of Heavy Metals in Industrial Sludge Treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, (20), 13463. <https://doi.org/10.3390/ijerph192013463>
- Westerdahl, B. 2015. Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes: Soil Ecosystem Management in Sustainable Agriculture. 536p.
- Winck, M. F.; Froehlich, C.; Schreiber, D.; Jahno, V. D. 2022. Vermicompostagem para o gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. *Revista Em Agronegócio E Meio Ambiente*, 15, (3), 1-15. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n3e10169>
- Yang, Z. Y.; Wang, X. J.; Cao, Y.; Dong, Q. E.; Tong, J. Y.; Mo, M. H. 2023. Vermicomposting of *Pleurotus eryngii* spent mushroom substrates and the possible mechanisms of vermicompost suppressing nematode disease caused by *Meloidogyne incognita*. *Heliyon*, 9, (4), e15111-e15111. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15111>
- Zhang, H.; Li, J.; Zhang, Y.; Huang, K. 2020. Quality of Vermicompost and Microbial Community Diversity Affected by the Contrasting Temperature during Vermicomposting of Dewatered Sludge. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, (5), 1748. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051748>