

## VERMICOMPOSTAGEM MELHORADA COMO FERRAMENTA PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

*IMPROVED VERMICOMPOSTING AS A TOOL FOR THE SUSTAINABLE MANAGEMENT OF AGRO-INDUSTRIAL WASTE*

Héber Grazik<sup>1</sup>; Joice Batista Reis<sup>2</sup>; Eduardo Pavan Korf<sup>3</sup>

1. Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – Campus Erechim
2. Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – Campus Erechim
3. Professor/pesquisador do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária e Programa de Pós-Graduação Em Ciência e Tecnologia Ambiental da UFFS – Campus Erechim, Doutor em Engenharia Civil/Geotécnica

### **PALAVRAS-CHAVES**

Fertilizante; Microrganismos eficientes; Agroindústria; Gestão socioambiental.

### **KEYWORDS**

*Fertilizer, Efficient microorganisms, Agroindustry; Socio-environmental management.*

### **RESUMO**

O setor da agroindústria é um alto gerador de resíduos orgânicos que podem impactar severamente a sociedade e meio ambiente quando dispostos de forma inadequada, e for realizada uma gestão ineficiente. Nesse sentido, tem se intensificado a busca por soluções socioambientais para a destinação destes resíduos e diversos estudos apontam o uso da vermicompostagem como técnica de valoração, entretanto ainda apresentam lacunas com relação a problemática e os impactos da composição dos subprodutos gerados. A presença de metais e nutrientes podem ser um problema para a utilização como fertilizante, pois altas concentrações contaminam o solo e água, ocasionando impactos negativos ao meio ambiente e a saúde humana. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi utilizar a vermicompostagem com adição de microrganismos eficientes (EM) como solução para a gestão socioambiental de resíduos agroindustriais. A pesquisa foi feita por meio de um estudo de caso em uma propriedade rural, em que realizou-se três tratamentos com resíduos de mistura de esterco (galinha, caprino e ovino), capim (*Pennisetum purpureum*) e palha seca de milho. No tratamento I, foi adicionado apenas as minhocas para vermicompostagem (*Eisenia fetida*) e no tratamento II e III além desta, adicionou-se a concentração de 4 mL/L e 8 mL/L de EM. Os resultados indicam que a técnica é viável para a gestão dos resíduos da agroindústria, produzindo um composto com reduzida presença de metais e maiores teores de nutrientes quando comparado com o composto produzido sem a presença de EM.

## ABSTRACT

*The agro-industrial sector is a high generator of organic waste that may cause severe impacts to society and the environment when improperly disposed, and inefficient management had been carried out. In this sense, it has intensified the search for socioenvironmental solutions for the disposal of this waste and several studies point to the use of composting as a valuation technique, however they still present gaps regarding the composition of the subproduct generated. Presence of metals and nutrients may represent a problem for the use as fertilizer, because high concentrations contaminate the soil and water, resulting negative impacts to environment and human health. Therefore, the objective was to use vermicomposting with the addition of efficient microorganisms (EM) as a solution for the socio-environmental management of agro-industrial wastes. The research was carried out through a case study in a rural property, in which three treatments were carried out with residues of mix of manure (chicken, goat and sheep), grass (*Pennisetum purpureum*) and dry corn straw. In treatment I it was added only to earthworms for vermicomposting (*Eisenia fetida*) and in treatment II and III in addition to this, the concentration of 4 mL / L and 8 mL / L of EM was added. The results indicate that the technique is feasible for agro-industrial waste management, producing a compound with lower presence of metals and higher levels of nutrients when compared to the compound produced without the presence of EM.*

**Keywords:** *Fertilizer, Efficient microorganisms, Agroindustry; Socio-environmental management.*

## 1 INTRODUÇÃO

A economia brasileira, desde seus primórdios, apresenta forte atuação no setor agroindustrial (PINTO JÚNIOR *et al.*, 2018), contudo o crescimento da produção e a falta de políticas efetivas tem contribuído em grande parte para a geração acelerada de impactos ambientais (CARNEIRO, *et al.*, 2013; VIANA, *et al.*, 2016; ALENCAR, *et al.*, 2020). Dentre as diversas atividades econômicas, a agricultura destaca-se como significativa fonte de impactos ambientais negativos devido ao manejo inadequado de recursos naturais (GOMES, 2019; TOREZIN, 2019; SILVA, *et al.*, 2020).

De acordo com o último relatório de pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012), no ano de 2009, para a produção das principais culturas, como a de soja, cana-de-açúcar, trigo, feijão, milho e outras, houve uma geração de 292 milhões de toneladas de resíduos orgânicos no Brasil. Já, relacionado as principais criações de animais, o valor é ainda mais alto, superando a quantidade de 1,7 bilhão de toneladas de resíduos orgânicos. Além disso, as atividades agropecuárias lideram a geração dos gases de efeito estufa (GEE), em que a soma das emissões diretas e indiretas tiveram como resultado 69% do total das emissões para o ano de 2018 (SEEG, 2019).

Historicamente, os agricultores utilizam o tratamento de resíduos orgânicos como forma

de melhorar a produção agrícola e o desenvolvimento das plantas (KIEHL, 1985). Entretanto, quando esses resíduos são manipulados incorretamente e seu uso se faz contínuo, acabam comprometendo a saúde humana e dos solos e águas (CADIS E HENKES, 2014; RODRIGUES *et al.*, 2017; MOREIRA, 2019). Nesse sentido, a busca por soluções que visem a destinação de resíduos da agroindústria de forma ambientalmente segura é uma questão primordial para a garantia de uma economia verde (SURTHAR, 2010).

Diante disso, a vermicompostagem se apresenta como uma ferramenta viável para a valoração e gestão desses resíduos, visto que este processo, pode ser realizado tanto nas zonas rurais como urbanas, resultando em compostos ricos em nutrientes com diferentes aplicações de uso (CARLESSO *et al.*, 2011; VAZ JUNIOR, 2020). Além disso, atua no aumento da degradação de resíduos orgânicos e diminuição de concentrações de metais por bioacumulação (SUTHAR *et al.*, 2008; SINHA *et al.*, 2009; YANG, *et al.* 2016; BÖCK *et al.*, 2020).

Uma tecnologia sustentável, que tem se mostrado viável no melhoramento dos processos de compostagem são os Microrganismos Eficientes (EM). Estes, são um conjunto de microrganismos naturais, geralmente encontrados nos solos e alimentos e podem ser usados na compostagem de diferentes resíduos, bastante indicados para aqueles que possuem uma elevada relação Carbono/Nitrogênio (C/N) (BONFIM *et al.*, 2011).

Nota-se, portanto, cada vez mais a busca por soluções socioambientais para a gestão de resíduos agroindustriais, destacando-se a utilização da técnica de vermicompostagem (SURTHAR, 2010; NAMLI *et al.*, 2020), contudo destaca-se a existência de lacunas com relação a problemática da composição do produto gerado para comercialização, principalmente com relação a passivos ambientais de contaminação por metais pesados e dosagem de nutrientes.

Diante disso, o objetivo desta pesquisa é utilizar a técnica de vermicompostagem melhorada, com a utilização de microrganismos eficientes, para a produção de um composto de qualidade para comercialização, possibilitando a gestão econômica e ambiental de resíduos agroindustriais.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Esta seção tem como objetivo contextualizar acerca da gestão sustentável de resíduos, com enfoque nos resíduos agroindustriais, abordando técnicas de reaproveitamento desses materiais, como a vermicompostagem e seus respectivos desafios.

## 2.1 Gestão socioambiental de resíduos

O conceito de sustentabilidade ambiental é fundamentado em duas vertentes bases, o meio ambiente e a sociedade, portanto, consiste na visão integrada entre gestão de recursos de forma consciente, unido a qualidade de vida humana (SILVA e TORRES, 2020). No Brasil, políticas públicas como a criação do Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentáveis, que aborda sobre o papel fundamental dos órgãos públicos na gestão ambiental para um desenvolvimento sustentável, incluindo a gestão de resíduos, enfatizam a necessidade e seriedade acerca da temática para a constituição de ações sustentáveis (GOMES *et al.*, 2019).

A crescente produção de resíduos sólidos é um fator preocupante no que se refere a destinação de cada vez maiores volumes residuais (ZAMBRA *et al.*, 2016; SILVA, 2020). Estudos apontam a relação de responsabilidade do setor de resíduos sólidos, e o aquecimento global, com relação a intensa emissão de gases de efeito estufa (HAJAR *et al.*, 2020; DEVADOSS *et al.*, 2021).

A discussão acerca de um futuro sustentável remete a urgente intervenção na gestão de resíduos, realidade vista na Jordânia, país que estabeleceu meta de redução de 33% de disposição de resíduos em aterros até 2025 (HAJAR *et al.*, 2020).

No Brasil, de acordo com um estudo feito por Laurett *et al.* (2020), trabalhadores do setor agroindustrial entendem a necessidade de um desenvolvimento sustentável agrícola para as futuras gerações, contudo, apontam a falta de planejamento e informação como as principais dificuldades para a sua efetivação.

Desta forma, a gestão surge como uma ferramenta vital de auxílio aos pequenos proprietários rurais. A Política Nacional do Meio ambiente aborda o conceito de gestão de resíduos, de forma integrada, analisando diversos aspectos, dentre eles socioambientais, como forma de minimização da produção e busca de um desenvolvimento sustentável (BRASIL, 1981).

Desenvolvimento sustentável também se caracteriza como uma ferramenta mundial para uma economia com ações socioambientais. Diante disso, pautas para a construção de uma sociedade atuante na cobrança por políticas sustentáveis, são de caráter primordial (GOMES *et al.*, 2019).

Na visão de uma gestão integrada de resíduos, um material descartado em um processo é considerado produto para uma nova aplicação, dentre elas destaca-se a compostagem como

uma tecnologia sustentável de estabilização da matéria orgânica e valoração (PUJARA *et al.*, 2019; CHIA *et al.*, 2020).

Diversos países emergentes, como a China e Índia destacam o uso da compostagem como uma tecnologia vantajosa para o tratamento de resíduos orgânicos e uma gestão ambiental mais eficiente (FATIMAH *et al.*, 2020). Além disso, a compostagem apresenta uma alta redução de emissões de gases do efeito estufa, quando comparada à disposição em aterros sanitários, podendo esta redução ser 10 vezes menor (INÁCIO *et al.*, 2010).

O cenário problemático apresentado se comporta de forma semelhante para os resíduos produzidos no setor agrícola. Assim, a compostagem também se mostra como uma técnica viável para tratamento dessa carga residual, produzindo um novo composto com propriedades satisfatórias para utilização como fertilizante orgânico (AJMAL *et al.*, 2020).

## 2.2 Desafios na compostagem de resíduos da Agroindústria

Nota-se que o processo de compostagem em pequena escala é uma ótima alternativa de tratamento diante da geração das grandes quantidades de resíduos atualmente, a compostagem em leiras, por exemplo, se apresenta como um processo de baixo custo, fácil manejo e produção de compostos ricos em nutrientes (LOPES *et al.*, 2021).

Entretanto ainda é necessário estudos para seu aprimoramento, uma das principais limitações das aplicações dos produtos oriundos da compostagem é a presença de metais pesados que podem modificar a estrutura ecológica do solo, sendo a utilização de microrganismos uma utilização eficiente para melhoramento do processo (CHEN *et al.*, 2020). Além disso, é necessário que o composto produzido seja rico em nutrientes, para sua qualidade (LOPES *et al.*, 2021)

De acordo com Lourenço (2014, p. 35), a vermicompostagem pode ser entendida como:

[...] um processo biooxidativo no qual determinadas espécies de minhocas detritívoras interagem com microrganismos e fauna decompositora, num processo de mutualismo, afetando de forma positiva e significativa as taxas de decomposição dos resíduos, em grande parte devido as alterações ocorridas nas suas propriedades químicas, físicas e microbiológicas (LOURENÇO, 2014, p. 35).

A degradação rápida unida a fácil execução, além de produzir compostos com macro e micronutrientes favoráveis ao crescimento das plantas, torna a vermicompostagem uma técnica viável para a estabilização de resíduos orgânicos, vegetais e industriais (WANG *et al.*, 2021).

O processo de vermicompostagem, segundo Dal Bosco (2017), possui três fases: a fase de degradação; a de degradação dos resíduos pelas minhocas; e a de maturação. Na primeira

fase, ocorre o início da mineralização dos resíduos, devido ao contato dos microrganismos com os resíduos. Na segunda fase, ocorre a transformação dos resíduos em frações menores através da atividade dos microrganismos e da digestão realizada pelas minhocas. E, por fim, na fase de maturação, os compostos são mineralizados e humidificados, resultando em um composto final estabilizado. Portanto, parte da matéria é convertida em biomassa para as minhocas e o restante equivale ao vermicomposto com disponibilidade de nutrientes (WANG *et al.*, 2021).

A vermicompostagem têm sido cada vez mais utilizada em escala global, em grandes países como Japão e Reino Unido (FATIMAH *et al.*, 2020). A Tabela 1 apresenta diferentes estudos de vermicompostagem aplicados produção de vermifertilizantes:

Tabela 1 – Estudos de aplicação da técnica de vermicompostagem para diferentes resíduos.

Origem residual	Espécie utilizada	Referência
Resíduo orgânico e indústria têxtil	<i>Eisenia fétida</i>	Garg, <i>et al.</i> (2006)
Resíduo Domiciliar e esterco	<i>Eisenia andrei</i>	Loureiro <i>et al.</i> (2007)
Lodo agroindustrial	<i>Eisenia fétida</i>	Suthar (2010)
Resíduos vegetais e agroindústria	<i>Lumbricus rubellus</i>	Bakar <i>et al.</i> (2013)
Indústria de curtume	<i>Eisenia fétida</i>	Malafaia <i>et al.</i> (2015)
Esterco Bovino	<i>Eisenia fétida</i>	Tuerlinckx <i>et al.</i> (2015)
Resíduo de crambe	<i>Eisenia fétida</i>	Jara <i>et al.</i> (2017)
Resíduo orgânico e esgoto doméstico	<i>Eisenia fétida</i>	Rodrigues <i>et al.</i> (2017)
Indústria Açucareira	<i>Eisenia fétida</i>	Namli <i>et al.</i> (2020)
Biomassa de cultura de bamana	<i>Eisenia fétida</i>	Mago <i>et al.</i> (2021)
Resíduos Florais	<i>Eisenia fétida</i>	Sharma <i>et al.</i> (2021)
Fluido de perfuração de gás e esterco	<i>Eisenia fétida</i>	Wang <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Contudo, cada vez mais necessita-se de aprimoramentos, principalmente relacionado ao fato de que a temperatura durante esse processo se encontra comumente na fase mesofílica, restringindo a remoção de patógenos (LLÉO *et al.*, 2013) e também para investigação mais detalhada sobre os passivos ambientais de contaminação por metais pesados.

Segundo Vicentini *et al.* (2009), a adição dos EM na vermicompostagem é capaz de colaborar tanto na reprodução das minhocas, como proporcionar concentrações maiores de nutrientes e otimizar o processo para geração de um composto final de qualidade, com baixa concentrações de patógenos. Os microrganismos eficientes, portanto, possuem função de retirar seu alimento de material orgânico, atuando na decomposição, de forma equilibrada, com pouco gasto energético, proporcionando maior

estabilidade para o ecossistema do solo, colaborando para um processo de compostagem mais rápida e eficiente (BONFIM et al., 2011).

Nesse sentido, as principais vantagens da utilização dos EM no solo são o aumento da diversidade microbiana, melhoria das condições físico-químicas, melhoria no processo de adubação natural, e ainda favorecimento do processo de mineralização e consequentemente disponibilidade de nutrientes, minimizando a necessidade de fertilizantes químicos, além de aumentar a porosidade do solo e disponibilidade de água para as plantas (BONFIM *et al.*, 2011).

Diante disso, o uso de um processo de vermicompostagem melhorada com a incorporação de microrganismos eficientes, se apresenta como uma tecnologia viável para o aperfeiçoamento da técnica.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Vermicompostagem foi estudada em uma propriedade rural, no interior do município de Erechim – RS, com a avaliação da qualidade do composto mediante a adição de microrganismos eficientes, no que se refere a presença de metais pesados, macro e micro nutrientes. Os processos de vermicompostagem e coleta de dados iniciaram na primavera, em novembro de 2018 e finalizaram no início do mês de março do ano de 2019, no verão.

A espécie de minhoca utilizada foi a *Eisenia fétida*, obtida no local da propriedade em que se realizou o estudo, as quais foram cedidas pelo Centro de Apoio a Promoção da Agroecologia (CAPA) da cidade de Erechim – RS. Em cada leira foi introduzida 100 g de minhocas.

A vermicompostagem foi avaliada em três composteiras da propriedade, construídas em madeira, com dimensões internas de 1 metro (m) de largura, 1m de comprimento e 0,7 m de altura, correspondendo 0,7 m<sup>3</sup>. Três tipos de tratamento foram aplicados à uma mistura de resíduos produzidos na propriedade: capim elefante (27 %) (*Pennisetum purpureum*), esterco (63,5 %) de caprino, ovino, galinha e palha seca de milho (9,5 %), visando relação Carbono/Nitrogênio (C/N) inicial de 30 (SILVA, PEDROSA e FERREIRA, 2020).

Para o primeiro tratamento foi utilizada a técnica de vermicompostagem sem a incorporação de microrganismos eficientes (EM), realizada no início e metade do período

experimental. O tratamento II foi realizado com a utilização de uma concentração de 4mL/L de microrganismos eficientes produzidos na propriedade a partir de misturas de arroz e melão de cana. O tratamento III utilizou uma aplicação de 8 mL/L, respectivamente.

A determinação dos micronutrientes, macronutrientes e metais (cádmio, chumbo, cromo e níquel), foi realizada no início e no final dos processos de vermicompostagem. Amostras compostas foram coletadas conforme a NBR 10007 (ABNT, 2004) e preparadas e analisadas imediatamente após a amostragem, conforme metodologias específicas. Foi utilizada a metodologia descrita no manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos, aprovados pela IN SDA n.º 37/2017 (BRASIL, 2017) para análise e determinação dos micronutrientes e macronutrientes e a metodologia EPA 3050 B (USEPA, 1996) para os metais e demais parâmetros monitorados no processo de vermicompostagem.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo de caso foi realizado o processo de vermicompostagem, utilizando EM para melhorias na qualidade do composto final, de forma a viabilizar a utilização do processo para a gestão de resíduos agroindustriais na região do Alto Uruguai Gaúcho, para isso parâmetros de concentração de metais e nutrientes foram estudadas. Referente aos macronutrientes, na Tabela 2, estão apresentados os valores iniciais e finais nos diferentes tratamentos realizados, bem como os valores sugeridos pela IN SDA n.º 25/2009 (BRASIL, 2009).

Tabela 2 – Teores iniciais e finais de teores de macronutrientes nos tratamentos realizados em comparação com os valores permitidos pela legislação vigente

	Teores (%)			
	Nitrogênio (N)	Pentóxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	Carbono Orgânico (CO)
<b>Tratamento I</b>				
Inicial	1,07	1,00	1,22	29,78
Final	1,04	1,16	0,76	21,47
<b>Tratamento II</b>				
Inicial	1,07	1,00	1,22	29,78
Final	1,03	1,23	0,72	20,98
<b>Tratamento III</b>				
Inicial	1,07	1,00	1,22	29,78

Final	1,05	1,26	0,77	20,06
IN SDA n.º 25 (Brasil, 2009)	≥ 0,50	≥ 1,00	≥ 1,00	≥ 10,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

O N é um nutriente essencial para síntese de proteínas e está diretamente associado ao crescimento e reprodução de microrganismos (ORRICO JÚNIOR *et al.*, 2012; ROCHA *et al.*, 2020). Na tabela 2, verifica-se que os valores de N em todos os tratamentos realizados não sofreram grandes perdas. Observa-se, o maior valor no tratamento III, seguido do tratamento I e II. Os resultados finais foram similares entre eles e estão próximos da caracterização inicial e de acordo com a IN SDA n.º 25/2009 (BRASIL, 2009), que estabelece o valor percentual maior ou igual a 0,50.

A redução de N em relação a concentração inicial, se deve principalmente pelo fato de que em processos de compostagem a conservação de N no composto final é complexa, pois possui propriedades de fácil lixiviação e/ou volatilização (KIEHL, 1985; ZHANG, 2016).

Para o  $P_2O_5$ , os resultados se mostram positivos, em que ocorreu aumento em todos os tratamentos realizados (Tabela 2), o que era pretendido, pois a legislação recomenda valores superiores a 1,00%. Nota-se que os resultados finais são maiores no tratamento II e III, que receberam inoculação de EM.

As minhocas possuem capacidade através do seu metabolismo em romper as estruturas dos compostos orgânicos, em que pode ser um fator associado ao aumento deste elemento (SILVA *et al.*, 2002; COTTA *et al.*, 2015). Ainda, segundo Wang *et al.* (2021), o aumento de fósforo (P) em processos de vermicompostagem pode estar relacionado a existência de partículas P solúveis no intestino das minhocas, atuando na mineralização dos resíduos e seu consequente aumento.

Para o  $K_2O$ , os resultados obtidos não atingiram o recomendado na legislação vigente, de 1,00%. Evidencia-se, que os menores valores estão no tratamento II, I e III, respectivamente.

Estudos realizados por Jusoh *et al.* (2013), indicam que os EM tem potencial de elevar as concentrações de macronutrientes. Estes estudos corroboram com o aumento observado neste estudo para N e  $P_2O_5$  nos tratamentos 2 e 3.

Ainda, de acordo com a Tabela 2, para o CO constata-se, que os menores valores se encontram nos Tratamentos II e III, nos quais receberam a inoculação de MEs. Embora,

os resultados finais tenham sido próximos entre os tratamentos e estão de acordo com a legislação vigente, na qual prevê o valor acima de 10,00%, pode-se concluir que nestes tratamentos (II e III) ocorreu maior degradação de CO durante os processos de vermicompostagem.

Na decomposição microbiológica, as minhocas no seu processo de alimentação utilizam parcela da matéria orgânica e também absorvem parte do carbono orgânico (DORES-SILVA *et al.*, 2013). Além disso, em processos de vermicompostagem, Cotta *et al.* (2015) coloca que os teores de CO são menores, porém apresentam teores de ácido húmico maiores, o que mostra um processo de humificação e mineralização mais evoluído quando comparado apenas com o processo de compostagem.

Embora, os tratamentos tenham resultados finais dos macronutrientes similares, evidencia-se, que foi no tratamento em que houve a maior inoculação de EM que se obteve os melhores resultados, como verifica-se na Tabela 2. No tratamento III, ocorreu as maiores concentrações de macronutrientes (N, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), seguido do tratamento I (exceto para o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e II, indicando que a presença de EM no processo de vermicompostagem é capaz de resultar em aumento da concentração de macronutrientes. Em consonância com resultados obtidos por Panisson *et al.* (2021), observou que a inoculação de EM no processo de compostagem teve como resultado o aumento destes, principalmente no P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O.

Nas Tabelas 3 e 4, estão apresentados os resultados iniciais e finais dos micronutrientes nos diferentes tratamentos realizados e os valores recomendados pela IN SDA n.º 25/2009 (BRASIL, 2009) para aplicação no solo.

Tabela 3 – Teores iniciais e finais de teores de micronutrientes Ca, Mg e S nos Tratamentos I, II e III

	Resultados (%)		
	Cálcio (Ca)	Magnésio (Mg)	Enxofre (S)
<b>Tratamento I</b>			
Inicial	0,98	0,32	0,30
Final	0,74	0,33	0,15
<b>Tratamento II</b>			
Inicial	0,98	0,32	0,30
Final	0,79	0,32	0,15
<b>Tratamento III</b>			
Inicial	0,98	0,32	0,30
Final	0,78	0,33	0,16

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação aos micronutrientes Ca, Mg e S, pode-se visualizar na Tabela 3 que houve uma redução de Ca e S, sendo esta redução maior no tratamento sem concentração de EM. Para o Mg, ocorreu um leve aumento (0,01%) dos valores no tratamento I e III, em que no tratamento II apresentou o mesmo valor inicial.

Nascimento *et al.* (2015), estudaram a compostagem de esterco bovino com palha de café e observaram um aumento nos teores de N e diminuição nos teores de S com o aumento da porcentagem de esterco bovino e, contrariamente com aumento do esterco se obteve maiores valores de S, o que pode ser explicado, pelo fato do esterco apresentar maiores concentrações de S.

Neste estudo, as reduções foram maiores para o S, , cerca de 50% do valor inicial, com maior valor no composto final no tratamento III. As concentrações destes micronutrientes no início dos tratamentos já se apresentavam abaixo dos valores mínimos admitidos pela legislação e os tratamentos não foram capazes de aumentar a disponibilidade de micronutrientes. No entanto, verificou-se que nos tratamentos com adição de EM as reduções ao fim do processo foram menores.

Avaliando a Tabela 4, referente aos micronutrientes Manganês (Mn), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Ferro (Fe), verifica-se que todos tiveram aumento no final dos Tratamentos. Além disso, verifica-se, que o Mn foi o segundo micronutriente que teve maior aumento, sendo este em torno de 50% a mais no tratamento III. Já, para o Fe esse aumento foi de aproximadamente de 1,15% para o tratamento III, 0,90% e 0,82% para o tratamento I e II, respectivamente.

Tabela 4 – Resultado iniciais e finais de teores de micronutrientes Mn, Cu, Zn, Fe, B e Co nos Tratamentos I, II e III

	Resultados (%)					
	Manganês (Mn)	Cobre (Cu)	Zinco (Zn)	Ferro (Fe)	Boro (B)	Cobalto (Co)
<b>Tratamento I</b>						
Inicial	0,050	0,0059	0,012	1,540	0,0058	0,0030
Final	0,058	0,0080	0,014	2,244	0,0067	0,0020
<b>Tratamento II</b>						
Inicial	0,050	0,0059	0,012	1,540	0,0058	0,0030

Final	0,057	0,0084	0,015	2,357	0,0057	0,0017
<b>Tratamento III</b>						
Inicial	0,050	0,0059	0,012	1,540	0,0058	0,0030
Final	0,066	0,0090	0,015	2,693	0,0071	0,0019
IN SDA n.º 25/2009 (BRASIL, 2009)	≥ 0,05	≥ 0,05	≥ 0,1	≥ 0,2	≥ 0,03	≥ 0,005

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os micronutrientes Cu e o Zn aumentaram em proporções menores aos anteriormente discutidos, sendo os maiores valores também observados no tratamento III. Já, em relação aos outros tratamentos, verifica-se o maior valor de Zn no tratamento I e para o Cu no tratamento II. Para os demais micronutrientes, o Co apresenta os maiores valores no tratamento I (sem adição de EM), seguido do tratamento III e II e para o B, no tratamento III se observa os maiores teores, seguido do tratamento II e I. No estudo de compostagem de Libório *et al.* (2019), o composto final apresentou aumento nos micronutrientes, principalmente no Fe, Mg e Zn, assim como também observado neste trabalho para Fe e Zn.

De acordo com Soares *et al.* (2004), o Zn depende de determinados minerais para sua fixação e adsorção. Com relação ao Co, este tende a se concentrar onde a quantidade de matéria orgânica é mais rica, indicando que sua fixação se dá através do húmus. Assim como existe uma afinidade do Co ser absorvido por óxidos de Fe, ocasionando uma relação conveniente entre Fe e Co.

A decomposição dos resíduos orgânicos realizada pelos microrganismos em processo de compostagem, estão associadas as quantidades e os diferentes nutrientes presentes nestes resíduos (PEREIRA, 2007).

Observa-se o aumento de todos micronutrientes, conforme a Tabela 3, com excessão do cobalto. Contudo, os valores avaliados não foram suficientes para enquadrá-los aos limites mínimos recomendados pela legislação, com excessão do Mn e Fe, fato que pode estar relacionado às baixas concentrações de EM.

Diante dos resultados apresentados e discutidos, constata-se que a concentração de 8mL/L de EM adicionados no tratamento III teve maior influência em aumentar o teor dos micronutrientes no composto final. Para o tratamento I e II é possível que baixas concentrações não tenham sido eficientes para garantir este aumento.

Apesar do que é considerado na legislação relacionada (SDA n.º 25/2009), a qual indicou para algumas micronutrientes concentrações inferiores ao recomendado, vale salientar que a biodisponibilidade dos nutrientes é mais importante que a quantidade, visto que a presença desses contribui para a qualidade do solo, mesmo em menores concentrações, auxiliando na melhoria de propriedades físico-químicas e ação da biomassa microbiana (SIAVOSHI *et al.*, 2011). Além disso, grandes quantidades fornecidas em um mesmo momento, podem causar impactos nocivos na qualidade do solo, diminuindo sua produtividade (LIU e DIAMOND, 2005; TECCHIO *et al.*, 2006).

O valor inicial e final dos teores metais para cada um dos processos de vermicompostagem realizados estão apresentados na Tabela 5, assim como os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo, que são estabelecidos pela legislação vigente, a IN SDA n.º 27/2006 (BRASIL, 2006).

Os resultados finais obtidos para o Cádmio (Cd), Chumbo (Pb) e o Níquel (Ni) (Tabela 4) apresentaram reduções para todos os tratamentos realizados. Quando comparados com a IN SDA n.º 27/2006, pode-se concluir, que com exceção do Cr, todos os demais metais estão de acordo com os limites máximos aceitáveis para fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo.

No processo de decomposição da matéria orgânica, os metais tendem a aumentar em virtude de não serem degradáveis. Assim, neste estudo verifica-se que as reduções nos metais ocorridas pode ser consequência de acúmulo nas minhocas ou adsorção na fase sólida do composto produzido. Apesar destas importantes reduções e do atendimento aos limites máximos a IN SDA n.º 27/2006 para Cádmio (Cd), Chumbo (Pb) e o Níquel (Ni), cabe salientar que indispensável o monitoramento contínuo do composto orgânico produzido, pois pode ocorrer bioacumulação ou mesmo reduções das concentrações devido às mudanças no processo e, dependendo da situação podem ser estabelecidas medidas para intervenção (RODRIGUES *et al.* 2017).

A quantidade do acúmulo realizado pelas minhocas, vai depender da espécie da minhoca e da quantidade de metal presente e do quanto ele pode ser extraído (SUTHAR *et al.*, 2008), dependendo da realização de estudos complementares específicos. Apesar disso, cabe salientar que ocorre a redução da biodisponibilidade do mesmo no ambiente, minimizando potenciais de contaminação por lixiviação e absorção por plantas e pelo solo

(RIBEIRO *et al.*, 2015).

As menores reduções de metais pesados ocorreram no tratamento III, no qual havia a maior concentração de EM (8 mL/L) e os melhores resultados apresentam-se no tratamento II, em que foram inoculados 4 mL/L, com redução de todos elementos, inclusive do Cr.

Tabela 5 – Resultados iniciais e finais dos teores dos metais nos tratamentos I, II e III.

	Resultados (mg/g)			
	Cádmio (Cd)	Chumbo (Pb)	Cromo (Cr)	Níquel (Ni)
<b>Tratamento I</b>				
Inicial	1,67	16,40	5,80	26,70
Final	0,80	11,87	6,15	11,29
<b>Tratamento II</b>				
Inicial	1,67	16,40	5,80	26,70
Final	0,87	8,40	4,06	9,72
<b>Tratamento III</b>				
Inicial	1,67	16,40	5,80	26,70
Final	1,02	16,09	6,53	12,49
IN SDA n.º 25/2009 (BRASIL, 2009)	3,00	150,00	2,00	70,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

Desta forma, é possível afirmar que pode existir uma concentração ideal de EM que associado com as minhocas podem trazer melhores resultados, como no caso do tratamento II, para 4 mL/L. Além disso, observa-se que o Ni foi o metal que mais reduziu e, também o que apresentou as maiores concentrações iniciais, seguido do Pb e Cd.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A vermicompostagem aliada à adição de EM é uma ferramenta de alto potencial para a gestão de resíduos agroindustriais em pequenas propriedades, podendo solucionar problemas com relação a qualidade do composto e favorecendo sua comercialização como um fertilizante orgânico.

A partir dos experimentos realizados, verifica-se que a adição de EM resultou em diversos benefícios ao composto final produzido. Com relação a concentração de micronutrientes, o magnésio obteve comportamento quase constante com relação a quantidade inicial. Observou-se aumento nos teores de manganês, ferro, cobre, boro e zinco em todos os tratamentos estudados.

Também pode-se concluir que a utilização do processo de vermicompostagem melhorada teve importância para o aumento da concentração de um macronutriente ( $P_2O_5$ ), contudo os compostos ficaram de acordo com a recomendação da legislação vigente, com exceção do óxido de potássio.

Para os metais, a adição de EM também proporcionou resultados positivos, sendo observada a redução nas concentrações finais de Cd, Pb e o Ni, possivelmente devido à adsorção na fase sólida ou acúmulo nas minhocas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJMAL, M.; AIPING, S.; AWAIS, M.; ULLAH, M. S.; SAEED, R.; UDDIN, S.; AHMAD, I.; ZHOU, B.; ZIHAO, X. (2020). Optimization of pilot-scale in-vessel composting process for various agricultural wastes on elevated temperature by using Taguchi technique and compost quality assessment. *Process Safety and Environmental Protection*, v. 140, p. 35-45, 2020.
- ALENCAR, V. N. S.; BATISTA, J. M. S.; NASCIMENTO, T. P.; DA CUNHA M. N. C.; LEITE, A. C. L. Resíduos agroindustriais: uma alternativa promissora e sustentável na produção de enzimas por microrganismos. In: Congresso Internacional da Agroindústria, 1., 2020, Recife. *Anais [...]*. Recife: Instituto Internacional Despertando Vocações, 2020, p. 482-498.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 10007: Amostragem de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: ABNT. 2004. p. 1-21.
- BAKAR, A. A.; GAWI, S. N. A. S. M.; MAHMOOD, N. Z.; ABDULLAH, N. Vermicomposting of Vegetable Waste Amended with Different Sources of Agro-Industrial By-Product Using *Lumbricus rubellus*. *Polish Journal of Environmental Studies*, v. 23, n.5, p. 1495-1498, 2013.
- BÖCK, E. L.; SILVA, A. G.; AZZOLIN, G. Z. O.; MACHADO, A. A.; COSTA, H. F.; SANTANA, N. A.; OLIVEIRA SILVEIRA, A. O. Respostas de *Eisenia Andrei* (Bouché 1972) ao excesso de cobre em um solo arenoso. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, v. 23, n.1, p.28-36, 2020.
- BONFIM, F. P. G.; HONÓRIO, I. C. G.; REIS, I. L.; PEREIRA, A. J.; SOUZA, D. B. de. (2011). *Caderno dos microrganismos eficientes (EM): instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM*. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: DOU de 01/9/1981.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 37 de 17 de outubro de 2017. Brasília: DOU de 13/10/2017.

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 25 de 23 de julho de 2009. Brasília: DOU de 28/7/2009.

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 27 de 5 de julho de 2006. Brasília: DOU de 09/7/2006.

CADIS, P.; HENKES, J. A. Gestão Ambiental na Suinocultura: Sistema de Tratamento de resíduos líquidos por unidade de compostagem. *Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 3, n.1, p. 115-150, 2014.

CARLESSO, W. M.; RIBEIRO, R.; HOEHNE, L. Tratamento de resíduos a partir de compostagem e vermicompostagem. *Revista Destaques Acadêmicos UNIVATES*, v. 3, n.4, p.105-110, 2011.

CARNEIRO, L. J.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; MARTINS, M. F. L.; ROZATTI, M. A. T. Nutrient loss in composting of agroindustrial residues. *Engenharia Agrícola*, v. 33, n.4, p. 796-807, 2013.

CHEN, X.; ZHAO, Y.; ZHANG, C.; ZHANG, D.; YAO, C.; MENG, Q.; ZHAO, R.; WEI, Z. Speciation, toxicity mechanism and remediation ways of heavy metals during composting: A novel theoretical microbial remediation method is proposed. *Journal of Environmental Management*, v. 272, 2020.

CHIA, W. Y.; CHEW, K. W.; LE, C. F.; LAM, S. S.; CHEE, C. S. C.; OOI, M. S. L.; SHOW, P. L. Sustainable Utilization of Biowaste Compost for Renewable Energy and Soil Amendments. *Environmental Pollution*, v. 267, 2020.

COTTA, J. A. O.; CARVALHO, N. L. C.; BRUM, T. S.; REZENDE, M. O. O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. *Eng Sanit Ambient*, v.20, n.1, p. 65-78, 2015.

DAL BOSCO, T. C. et al. Contextualização teórica: compostagem e vermicompostagem. In: DAL BOSCO, T. C. (org.). *Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas*. São Paulo: Blucher, 2017, p. 19-44.

DEVADOSS, P. S. M.; AGAMUTHU, P.; MEHRAN, S.B.; SANTHA, C.; FAUZIAH, S. H. Implications of municipal solid waste management on greenhouse gas emissions in Malaysia and the way forward. *Waste Management*, v. 119, p.135-144, 2021.

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

FATIMAH, Y. A.; GOVINDAN, K.; MURNININGSIH, R.; SETIAWAN, A. A sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: Case study in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 269, 2020.

GARG, P.; GUPTA, A.; SATYA, S. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*, v. 97, p. 391-395, 2006.

GOMES, A. R.; FILHO, J. C. L. S.; LEOCÁDIO, A. L. Teorias das práticas: análise da adoção de práticas socioambientais em um programa público. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 14, n.1, p. 03-17, 2020.

GOMES, C. S. Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais. *Cadernos do Leste*, Belo Horizonte, v. 19, n. 19, p. 63-78, 2019.

HAJAR, H. A. A.; TWEISSI, A.; HAJAR, Y. A., AL-WESHAH, R.; SHATANAWI, K. M., IMAM, R.; MURAD, Y. Z.; HAJER, M. A. A. Assessment of the municipal solid waste management sector development in Jordan towards green growth by sustainability window analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 258, 2020.

INÁCIO, C. T.; BETTIO, D. B.; MILLER, P. R. M. *O papel da compostagem de resíduos urbanos na mitigação de emissões de Metano*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). *Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas*. Brasília: IPEA, 2012.

JARA, P. T. C.; RUBIO, F.; SANTOS, F. T. S.; LORIN, H. E. F.; LUIZ, F. N. Crambe wastes vermicomposting in arugula seedlings production. *Revista de ciências agrárias*, v. 40 n. 1, p. 45-52, 2017.

JUSOH, M. L. C.; MANAF, L. A.; LATIFF, P. A. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, v. 10, p.1-9, 2013.

KIEHL, J. E. *Fertilizantes orgânicos*. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985.

LAURETT, R.; PAÇO, A.; MAINARDES, E. W. Measuring sustainable development, its antecedents, barriers and consequences in agriculture: An exploratory factor analysis. *Environmental Development*, 2020.

LIBÓRIO, J. B. S.; SOARES, R. B.; SILVA, R. S.; RODRIGUES, T. G.; CHAVES, J. S.; GOULART, L. M. L. Teores de nutrientes em composto orgânico à base de resíduos de alimentos. VIII Fórum de Integração Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação Tecnológica do IFRR, v. 6 n. 1, 2019.

LIU, J.; DIAMOND, J. China's environment in a globalizing world. *Nature*, v. 435, p. 1179-1186, 2005.

LLEÓ, T.; ALBACETE, E.; BARRENA, R.; FONT, X.; ARTOLA, A.; SÁNCHEZ, A. Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management. *Journal of Clean Production*, m. 47, p. 70-76, 2013.

LOPES, I. G.; BRAOS, L. B.; CRUZ, M. C. P.; VIDOTTI, R. M. Valorization of animal waste from aquaculture through composting: Nutrient recovery and nitrogen mineralization. *Aquaculture*, v. 531, p. 1-6, 2021.

LOUREIRO, D. C.; AQUINO, A. M.; ZONTA, E.; LIMA, E. Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para produção de insumo orgânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 7, 2007.

LOURENÇO, N. *Manual de vermicompostagem e vermicultura para a agricultura orgânica*. Lisboa: Publindústria, 2014.

MAGO, M.; YADAV, A.; GUPTA, R.; GARG, V. Management of banana crop waste biomass using vermicomposting technology. *Bioresource Technology*, v. 326, 2021.

MALAFAIA, G.; JORDÃO, C. R.; FERNANDES, E. P.; ARAÚJO, F. G.; LEANDRO, W. M.; RODRIGUES, A. S. L. Vermicompostagem de lodo de curtume em associação com esterco bovino utilizando Eisenia fetida. *Eng Sanit Ambient*, v. 20, n. 4, p. 709-716, 2015.

MOREIRA, A. C. Utilização de resíduos agroindustriais baseado nos princípios da produção mais limpa. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – UNICESUMAR – Centro Universitário de Maringá, Maringá, 2019.

NAMLI, A.; AKÇA, H.; AKÇA, M. O. Vermicomposting of agro-industrial waste by-product of the sugar industry. *Eurasian Journal of Soil Science*, v. 9, n. 4, p. 292-297, 2020.

NASCIMENTO, A. F.; PIRES, F. R.; CZEPAK, M. P.; FERNANDES, A. A.; RODRIGUES, J. O. Caracterização de vermicomposto produzido com palha de café e esterco bovino. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 4, p. 1-9, 2015.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JUNIOR, J. de; SAMPAIO, A. A. M.; FERNANDES, A. R. M.; OLIVEIRA, E. A. de. Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 41, n. 5, p. 1301-1307, 2012.

PANISSON, R.; MUSCOPE, F.; MULLER, C.; TREICHEL, H.; KORF, E.P. Increased quality of organic compost on a small scale with the addition of efficient microorganisms'. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, v. 56, p. 531-540, 2021.

PEREIRA, J. T. N. *Manual de compostagem: processo de baixo custo*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007.

PINTO JÚNIOR, V. M.; GONDIM, A. R. O.; MARACUJÁ, P. B.; ANDRADE, A. B. A. Sustentabilidade Agropecuária de produtores rurais em municípios do sertão da Paraíba. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 12, p. 77-94, 2018.

PUJARA, Y.; PATHAK, P.; SHARMA, A.; GOVANI, J. Review on Indian Municipal Solid Waste Management practices for reduction of environmental impacts to achieve sustainable development goals. *Journal of Environmental Management*, p. 248, 2019.

RIBEIRO, R.; MARTINI, M. C.; CARLESSO, W. M.; STÜLP, S.; ETHUR, E. M.; HOEHNE, L. Avaliação do fator de bioacumulação de cádmio em minhocas no

- processo de vermicompostagem. *Revista Jovens Pesquisadores*, v. 5, n. 1, p. 40-49, 2015.
- ROCHA, E. A.; MAIA, E. A.; MELO, D. C. P. DE.; SILVA, F. R. DA.; FAUSTINO, A. M. C. Compostagem dos resíduos sólidos orgânicos de restaurante por leiras estáticas aeradas. *Sustentare*, v. 4, n. 1, p. 13-23, 2020.
- RODRIGUES, A. C.; BAUM, C. A.; FORMENTINI, J.; BOZZETTO, C.; RITTER, L. G.; ROS, C. O. da. Atributos químicos de resíduos orgânicos compostados. *Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 6, n. 1, p.193-208, 2017.
- RODRIGUES, A. S. L.; MESAK, C.; SILVA, M. L.; SILVA, G. S.; LEANDRO, W. M.; MALAFAIA, G. Organic waste vermicomposting through the addition of rock dust inoculated with domestic sewage wastewater. *Journal of Environmental Management*, v. 196, p. 651-658, 2017.
- SHARMA, D.; PANDEY, A. K.; YADAV, K. D.; KUMAR, S. Response surface methodology and artificial neural network modelling for enhancing maturity parameters during vermicomposting of floral waste. *Bioresource Technology*, v. 324, 2021.
- SIAVOSHI, M.; NASIRI, A.; LAWARE, S. L. Effect of organic fertilizer on growth and yield components in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Agricultural Science*, v. 3, n. 3, p. 217–224, 2011.
- SILVA R. M.; PEDROSA, T. D.; FERREIRA, L. K. R. Análise da viabilidade técnica da compostagem para produção de adubo orgânico. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, p. 182-191, 2020.
- SILVA, C. D. da; COSTA, L. M. da; MATOS, A. T. de; CECON, P. R.; SILVA, D. D. Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, p. 487-491, 2002.
- SILVA, C. S. S.; BOLL, N.; ZANIN, G. B.; PERETTI, G.; SOUZA, D. S. Análise histórica da geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 17, n. 49, p. 125-138, 2020.
- SILVA, R. A.; TORRES, M. B. R. Sustentabilidade e educação ambiental na agricultura familiar: o caso de uma cooperativa no semiárido potiguar. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 55, p. 300-313, 2020.
- SINHA, R. K.; HERAT, S.; BHARAMBE, G.; BRAHAMBHATT, A. Vermistabilization of sewage sludge (biosolids) by earthworms: converting a potential biohazard destined for landfill disposal into a pathogen-free, nutritive and safe biofertilizer for farms. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, v. 28, p. 872-881, 2009.
- SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA (SEEG). *Análises das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas do Brasil 1970-2018*. São Paulo, 2019.

SOARES, J. P.; SOUZA, J. A. de.; CAVALHEIRO, E. T. G. Caracterização de amostras comerciais de vermicomposto de esterco bovino e avaliação da influência do pH e do tempo na adsorção de Co(ii), Zn(ii) e Cu(ii). *Revista Química Nova*, v. 27, n. 1, p. 5-9, 2004.

SUTHAR, S. Recycling of agro-industrial sludge through vermitechnology. *Ecological Engineering*, v. 36, p. 1028-1036, 2010.

SUTHAR, S.; SINGH, S.; DHAWAN, S. Earthworms as bioindicator of metals (Zn, Fe, Mn, Cu, Pb and Cd) in soils: Is metal bioaccumulation affected by their ecological category?. *Ecological Engineering*, v. 32, n. 2, p. 99-107, 2008.

TECCHIO, M. A.; PAIOLI-PIRES, E. J.; TERRA, M. M.; FILHO, H. G.; CORRÊA, J.; VIEIRA, C. R. Y. I. Correlation between yield and results of leaf and soil analysis in Niagara Rosada vineyards. *Ciênc. agrotec.*, v. 30, n. 6, p.1056-1064, 2006.

TOREZIN, A. F. *Avaliação da aplicação da vermicompostagem como temática para o desenvolvimento da alfabetização científica*. 2019. Dissertação (Mestrado em Formação Educacional, Científica e Tecnológica) – Programa de Pós-Graduação em Formação Educacional, Científica e Tecnológica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

TUERLINCKX, S. M.; MORSELLI, T. B. G. A.; HUBER, A. C. K. Indução de ivermectina na hormese sobre *Eisenia foetida* durante a vermicompostagem de esterco bovino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 7, 2015.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USEPA. (1996). *Microwave assisted Acid digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils – Method 3050 – SW – 846*.

VAZ JUNIOR, S. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: uma abordagem sustentável. Brasília, DF: *Embrapa Agroenergia*, 2020.

VIANA, L. G.; CRUZ, P. S. Reaproveitamento de resíduos agroindustriais. In: IV Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 4., 2016, Cruz das Almas. *Anais [...]*. Cruz das Almas: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2016. p. 1-3.

VICENTINI, L. S.; CARVALHO, K.; RICHTER, A. S. Utilização de microorganismos eficazes no preparo da compostagem. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 4, n 2, p. 3367-3370, 2009.

WANG, Z.; CHEN, Z.; NIU, Y.; REN, P.; HAO, M. Feasibility of vermicomposting for spent drilling fluid from a nature-gas industry employing earthworms *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 214, 2021.

YANG, J.; XING, M.; LV, B. Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure. *Bioresource Technology*, v. 209, p. 397-401, 2016.

ZAMBRA, E. M.; SOUZA, P. A. R. DE; REINALDO, I. A.; PEREIRA, R. S. Gerenciamento municipal de resíduos sólidos urbanos: o papel estratégico de um centro

de triagem em São Paulo. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade*, v. 6, n. 2, 97-112, 2016.

ZHANG, Y.; ZHAO, Y.; CHEN, Y.; LU, Q.; LI, M.; WANG, X.; WEI, Y.; XIE, X.; WEI, Z. A regulating method for reducing nitrogen loss based on enriched ammonia-oxidizing bacteria during composting. *Bioresource Technology*, v. 221, p. 276-283, 2016.