



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**  
**CAMPUS ERECHIM**  
**ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**HÉBER ADÃO GRAZIK**

**TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS AGROINDUSTRIAIS POR**  
**VERMICOMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA**

**ERECHIM – RS**

**2020**

**HÉBER ADÃO GRAZIK**

**TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS AGROINDUSTRIAIS POR  
VERMICOMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado na  
Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS  
como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.  
Orientador: Eduardo Pavan Korf

Erechim – RS

2020

## **Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Grazik, Héber Adão  
TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS AGROINDUSTRIAIS POR  
VERMICOMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA / Héber Adão Grazik.  
-- 2020.  
49 f.

Orientador: Doutor Eduardo Pavan Korf

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária,  
Erechim, RS, 2020.

I. Korf, Eduardo Pavan, orient. II. Universidade  
Federal da Fronteira Sul. III. Título.

**HÉBER ADÃO GRAZIK**

**TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS AGROINDUSTRIAS POR  
VERMICOMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção de grau de  
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da  
Universidade Federal da Fronteira Sul.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 05/10/2020

BANCA EXAMINADORA

---

Orientador: Professor Eduardo Pavan Korf

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – Campus Erechim

---

Professora Doutora Gean Delise Leal Pasquali Vargas

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – Campus Erechim

---

Professora Doutora Marília Teresinha Hartmann

Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – Campus Erechim

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço profundamente ao corpo docente da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – Campus Erechim, em específico aos professores do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária – Bacharelado, em que cada um tem contribuído na minha formação.*

*Agradeço ao meu orientador Professor Doutor Eduardo Pavan Korf por ser um grande profissional e ter me dado a honra em trabalhar ao seu lado e obter muitos conhecimentos, ter tido paciência e acreditado no meu potencial para realizar este trabalho.*

*Agradeço ao Eloir e Mari, proprietários onde realizou-se o presente estudo, pelo apoio, ajuda e estarem abertos para isso.*

*Agradeço a Professora Doutora Helen Treichel, por ser uma grande inspiração na área da pesquisa, pelos grandes ensinamentos e ser um ser humano extraordinário.*

*Agradeço ao meu melhor amigo Luan Vieira dos Santos por sempre me apoiar, ajudar e estar presente nos momentos difíceis.*

*Agradeço aos meus irmãos por sempre me apoiarem e me ajudarem.*

*Agradeço, a pessoa mais importante que eu tenho na minha vida, a minha guerreira Mãe e/ou Pai, que nunca mediu esforços em me ajudar e me incentivar a estudar.*

## RESUMO

As atividades agroindustriais são responsáveis por grande parte da geração de resíduos orgânicos. Estes, quando manipulados de forma inadequada causam diversos impactos negativos ao meio ambiente. A vermicompostagem é uma alternativa tecnológica de baixo custo e adaptável à pequena produção que proporciona a minimização destes impactos. Contudo, estudos mostram que a pequena escala normalmente apresenta algumas dificuldades referentes a eliminação de patógenos contidos nestes resíduos. Portanto, este trabalho teve como objetivo melhorar o processo de vermicompostagem de pequena escala com a adição de diferentes concentrações de Microrganismos Eficientes (EM) no processo, visando a eliminação de patógenos e assim obter um composto de qualidade e que atenda a legislação vigente. Em campo, realizaram-se três tratamentos com resíduos de mistura de esterco (galinha, caprino e ovino), *Pennisetum purpureum* e palha seca de milho. No tratamento I foi adicionado apenas a *Eisenia fetida* e no tratamento II e III além desta, adicionou-se a concentração de 4 mL/L e 8 mL/L, respectivamente. Nos tratamentos, monitorou-se diariamente a temperatura e avaliou-se o resultado inicial e final de patógenos, metais, micronutrientes e macronutrientes. De acordo com os resultados, a adição de EM ao processo mostrou-se uma tecnologia eficiente na redução de patógenos, em que as maiores reduções ocorreram no tratamento III, seguido do tratamento II e I. Para os metais, as maiores reduções apresentaram-se no Tratamento II. Em relação aos nutrientes, as maiores concentrações de macronutrientes ocorreram no tratamento III, I e II e, nos micronutrientes os maiores aumentos foram no tratamento com maior quantidade de EM. Desta forma, foi possível concluir que o processo de vermicompostagem com a adição de EM, mostrou-se uma tecnologia eficiente para os resíduos utilizados e resultou em um composto final de qualidade.

**Palavras-chave:** Microrganismos Eficientes. Patógenos. Temperatura. Micronutrientes. Macronutrientes. Metais.

## ABSTRACT

Agro-industrial activities are responsible for a large part of production of organic waste. These, when improperly handled, cause several negative impacts on the environment. Vermicomposting is a low-cost and adaptable technological alternative to small production that minimizes these impacts. However, studies show that the small scale usually presents some difficulties regarding the elimination of pathogens contained in these residues. Therefore, this work aimed to improve the small-scale vermicomposting process with the addition of different concentrations of Efficient Microorganisms (EM) in the process, aiming the elimination of pathogens and obtaining a quality compound that meets the current legislation. In the field, three treatments were carried out with waste mixtures of manure (chicken, goat and sheep), *Pennisetum purpureum* and dry corn straw. In treatment I only *Eisenia fetida* was added and in treatment II and III in addition to this, was added the concentration of 4 mL / L and 8 mL / L, respectively. In the treatments, the temperature was monitored daily and the initial and final results of pathogens, metals, micronutrients and macronutrients were evaluated. According to the results, the addition of EM to the process proved to be an efficient technology in reducing pathogen. The greatest reductions occurred in treatment III, followed by treatment II and I. For metals, the greatest reductions were founded in treatment II. In relation to nutrients, the highest requirements for macronutrients occurred in treatment III, I and II and, in micronutrients, the greatest increases were in treatment with a greater amount of EM. In this way, it was possible to conclude that the vermicomposting process with the addition of EM was analyzed as an efficient technology for the waste and resulted in a final quality compound.

**Keywords:** Efficient microorganisms. Pathogens. Temperature. Micronutrients. Macronutrients. Metals.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
3.1 LEGISLAÇÃO VIGENTE.....	13
3.2 VERMICOMPOSTAGEM.....	14
<b>3.2.1 Principais fatores que influenciam na vermicompostagem</b> .....	14
3.2.1.1 Temperatura.....	14
3.2.1.2 Umidade e aeração.....	15
3.2.1.3 Relação C/N.....	16
3.3 ESTUDOS DE VERMICOMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA .....	16
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	18
4.1 DESCRIÇÃO DA VERMICOMPOSTAGEM .....	18
<b>4.1.1 Local e período de tempo do estudo</b> .....	18
<b>4.1.2 Composteiras utilizadas</b> .....	18
<b>4.1.3 Caracterização, preparo e determinação da relação C/N dos resíduos orgânicos</b> ..	19
<b>4.1.4 Espécies de minhocas utilizadas</b> .....	20
4.2 MICRORGANISMOS EFICIENTES .....	21
<b>4.2.1 Obtenção dos EM</b> .....	21
<b>4.2.2 Ativação dos EM</b> .....	21
<b>4.2.3 Inoculação dos EM</b> .....	21
4.3 MONITORAMENTO DO PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM .....	21
<b>4.3.1 Temperatura</b> .....	21
<b>4.3.2 Umidade e aeração</b> .....	22
<b>4.3.3 Determinação dos micronutrientes, macronutrientes e metais</b> .....	23
<b>4.4 AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE PATÓGENOS</b> .....	23
<b>4.4.1 Coliformes termotolerantes e Salmonella spp.</b> .....	23
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	24
5.1 TEMPERATURA.....	24
5.2 PATÓGENOS .....	31
5.3 UMIDADE E AERAÇÃO .....	34
5.4 MACRONUTRIENTES .....	36

5.5 MICRONUTRIENTES .....	38
5.6 METAIS .....	40
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A soma das atividades realizadas pelo setor agropecuário com o objetivo de transformar e processar matérias-primas, pode ser entendida como agroindústria (LOURENÇO, 2009; VIANA; CRUZ, 2016). Esta possui importância para suprir as demandas internas do país, como tem grande valor nas exportações, tornando-se um setor fundamental para a economia do Brasil (SPADOTTO; RIBEIRO, 2006).

A maioria dos resíduos gerados pelas atividades agroindustriais não recebem tratamento e nem disposição final ambientalmente adequada, que representa um dos principais problemas enfrentados, pois podem resultar em impactos ambientais negativos ao meio ambiente, como a contaminação dos recursos hídricos e dos solos (VIANA; CRUZ, 2016; GOMES, 2019; TOREZIN, 2019). O crescimento da produção e a falta de políticas efetivas no setor agroindustrial tem contribuído em grande parte para estes impactos ambientais (LOURENÇO, 2009; CARNEIRO, et al., 2013).

De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012), no ano de 2009, o Brasil gerou aproximadamente 292 milhões de toneladas de resíduos orgânicos na agroindústria, estes referentes a produção das principais culturas, como de trigo, soja, feijão, milho, café, cana-de-açúcar, dentre outros. Em relação as principais criações de animais, o Brasil supera a quantidade de 1,7 bilhão de toneladas de resíduos orgânicos. Evidencia-se, que a geração de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil é liderada pelas atividades agropecuárias, no qual a soma das emissões diretas e indiretas resultaram em 69% do total das emissões para o ano de 2018 (SEEG, 2019).

As grandes quantidades de resíduos orgânicos gerados pela agroindústria, apesar de muitas vezes não serem valorizados, quando recebem tratamentos adequados se tornam boas fontes de nutrientes podendo ser utilizados para diversos fins e consequentemente reduzem os impactos negativos decorrente da sua destinação inadequada (COSTA et al., 2005; VALENTE, 2015; SARAIVA et al., 2018).

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, por possuírem microrganismos patogênicos, grandes quantidades de carga orgânica e nutrientes acabam comprometendo a saúde dos solos e das águas (BERTONCINI, 2014) e, ainda “[...] representam desperdícios para o setor produtivo e oferecem riscos ecológicos e sociais” (SPADOTTO; RIBEIRO, 2006, p. 12).

Existem muitas alternativas para o tratamento e a destinação ambientalmente adequada destes resíduos. O tratamento de resíduos orgânicos por compostagem e vermicompostagem em pequena escala, apresentam-se como tecnologias de baixo custo referentes a sua construção, operação e manutenção, em que permitem a estabilização da fração orgânica (GONÇALVES, 2014). Estes processos, podem ser realizados tanto nas zonas rurais como urbanas, em que o produto final pode resultar em compostos ricos em nutrientes com diferentes aplicações de uso (CARLESSO; RIBEIRO; HOEHNE, 2011). Além disso, é uma excelente alternativa para aplicar em instituições de ensino e empresas, caracterizando-se também como um mecanismo de educação ambiental (BRITO, 2008; ZANETTE, 2016, TOREZIN, 2019).

No processo de vermicompostagem, “[...] as minhocas desempenham um papel fundamental na biologia do solo, servem como biorreatores naturais versáteis para aproveitar a energia e destruir os patógenos do solo” (PAREKH; MEHTA, 2015, p. 13). Também, conseguem aumentar a degradação de resíduos orgânicos e diminuir concentrações de metais por bioacumulação (SINHA; HERAT; BHARAMBE; BRAHAMBHATT, 2009).

Conforme Kiehl (1985), quando é realizada a compostagem em pequena escala o calor produzido pela atividade microbiológica é perdido facilmente, não atingindo as temperaturas desejáveis para a eliminação de patógenos. Assim, é preciso que os resíduos orgânicos permaneçam expostos durante um período de tempo para que ocorra esta eliminação ou redução (ARTHURSON, 2008). Desta forma, é fundamental monitorar e controlar os fatores que influenciam no processo, pois é na fase termofílica que ocorre a eliminação de patógenos (HECK et al., 2013).

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).

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.

Diante do exposto e considerando o potencial da aplicação dos EM para o melhoramento da vermicompostagem dos resíduos orgânicos, este trabalho buscou estudar a aplicação de diferentes concentrações de EM no processo de vermicompostagem em pequena escala, como alternativa para a eliminação de patógenos. O presente estudo, foi desenvolvido em uma

propriedade rural, localizada no interior do município de Erechim–RS, com a utilização de resíduos orgânicos agroindustriais nela produzidos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O presente estudo tem como objetivo principal estudar a aplicação de microrganismos eficientes no processo de vermicompostagem em pequena escala, visando a eliminação de patógenos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar experimentos de vermicompostagem em pequena escala com a aplicação de diferentes concentrações de EM;
- Monitorar e controlar os principais fatores que influenciam no processo de vermicompostagem, tais como temperatura, umidade, aeração e relação C/N;
- Avaliar a presença de patógenos, macronutrientes, micronutrientes e metais.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 LEGISLAÇÃO VIGENTE**

As Instruções Normativas (IN) citadas abaixo, serviram como base para as análises dos resultados dos processos de vermicompostagem realizados neste estudo.

O Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) com a Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) criou a IN SDA n.º 25, de 23 de julho de 2009, em que aprova: “[...] normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura” (BRASIL, 2009, p. 1).

Já, a IN SDA n.º 27, de junho de 2006 estabelece: “[...] os limites de concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas para produzir, importar ou comercializar fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes” (BRASIL, 2006, p. 1).

## 3.2 VERMICOMPOSTAGEM

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.

O processo de vermicompostagem, segundo Dal Bosco et al. (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 mais 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.

### 3.2.1 Principais fatores que influenciam na vermicompostagem

A eficiência da estabilização da fração orgânica está relacionada com a interação e a atividade da comunidade microbiana. Estes por sua vez, dependem do desenvolvimento das condições adequadas dos fatores que influenciam no processo, como a temperatura, relação C/N, aeração, tamanho das partículas dos compostos, umidade e do potencial hidrogeniônico (pH) (DAL BOSCO et al., 2017).

De acordo com Aquino (2005), a qualidade do composto final do processo de vermicompostagem está associado com as características e propriedades das matérias utilizadas e como são manipuladas. Ainda, segundo a autora, monitorar os fatores de aeração, umidade e temperatura já é possível ter excelentes condições para o processo.

#### 3.2.1.1 Temperatura

No processo de compostagem, as faixas de temperatura para as fases variam de acordo com alguns autores, segundo Kiehl (1985), para cada intervalo de temperatura irão atuar diferentes microrganismos, estes são: os criofílicos, que ocorrem próximos a temperatura ambiente; os mesofílicos, em torno de 45 a 55°C; e os termofílicos, em temperaturas maiores

que 55°C. Já, para o autor Sun et al. (2017), na fase inicial de aquecimento as temperaturas estão na faixa de 20 a 45°C, acima dos 45°C já é caracterizada a fase termofílica e após se tem a fase de maturação, em que a temperatura do processo tende a se estabilizar com a temperatura ambiente. Na compostagem termofílica, ocorre a “[...] decomposição microbiológica da matéria orgânica, dependente de oxigênio (aeróbia) e com geração de calor, se desenvolvendo em temperaturas acima de 45°C (atingindo picos que podem chegar a mais de 70°C).” (BRASIL, 2018, p. 25).

A fase termofílica se torna a principal responsável pela eliminação de patógenos, pois de acordo com Nunes (2009, p. 4), “[...] a temperatura da leira nos primeiros 15 a 20 dias atinge 60 a 70°C, o que é importante e necessário para eliminar patógenos (fungos e bactérias) causadores de doenças nas plantas, sementes e, ovos e larvas de insetos”.

Entretanto, quando se trabalha com o processo de vermicompostagem, as minhocas quando expostas em temperaturas muito baixas acabam reduzindo sua capacidade de digestão e em altas temperaturas podem acabar morrendo (LOURENÇO, 2014). De acordo com Eckhardt et al. (2016), é recomendado trabalhar com temperaturas na faixa de 15 a 27°C, assim é preciso realizar uma pré-compostagem dos resíduos e, após é indicado realizar a inoculação das minhocas.

### 3.2.1.2 Umidade e aeração

O controle da umidade é importante pois é necessário para os organismos presentes no processo, também influencia em outros fatores como a temperatura e aeração. Recomenda-se, teores de umidade entre 40 a 60% nos processos de vermicompostagem, o seu excesso diminui o oxigênio e torna a decomposição dos resíduos mais difícil, assim como dificulta atingir os valores de temperaturas desejáveis para a eliminação de patógenos (RICCI, 1992; OLIVEIRA, SARTORI, GARCEZ, 2008).

Segundo Lourenço (2014), teores muito baixos de umidade (menores que 12%) também fazem com degradação da matéria orgânica se torne muito lenta e se tenha pouca atividade microbiológica. Além disso, este é um fator essencial para sobrevivência das minhocas e recomenda-se valores acima de 50%.

Da mesma forma que a umidade é fundamental para as atividades biológicas no processo, os organismos também necessitam de oxigênio. E, este é responsável pelo aumento da temperatura e pela presença de certos microrganismos na fase termofílica (KIEHL, 1985).

Através da aeração é possível evitar altos teores de umidade e assim evitar a formação

de maus odores e lixiviação dos nutrientes, bem como evitar altas temperaturas durante o processo (COTTA; CARVALHO; BRUM; REZENDE, 2015). Na vermicompostagem, em decorrência dos movimentos realizados pelas minhocas, estas acabam realizando a aeração dos compostos em decomposição automaticamente (PAREKH; MEHTA, 2014).

### 3.2.1.3 Relação C/N

De acordo com Lourenço (2014), a relação C/N ideal para se iniciar o processo de vermicompostagem é de 20/1 a 25/1, contudo pode se considerar relações de 15/1 a 35/1. Já, para o autor Kiehl (2004) os valores ideais são de 25 a 35. Um composto estabilizado vai apresentar uma relação C/N próxima de 18/1, enquanto no produto final esse valor está em torno de 10/1 (KIEHL, 1998).

Para resíduos orgânicos que apresentam baixa relação C/N, deve-se adicionar resíduos vegetais para que este atinja um valor ideal, uma vez que a relação C/N baixa faz com que seja liberado nitrogênio (amoniaco), comprometendo a qualidade do produto final. De forma análoga, se a relação C/N for alta deve-se adicionar resíduos que possuam bastante nitrogênio, esta relação sendo alta implica em um processo mais lento e com pouca matéria orgânica no produto final (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

Quando compostos com alta relação C/N são empregados no solo, os microrganismos utilizam o nitrogênio disponível nele, na forma nítrica ou amoniaco, com a finalidade de diminuir a proporção de carbono. Assim, é possível que exista carência de nitrogênio nas plantas e em casos mais graves pode ocorrer a morte das plantas (KIEHL, 1985). Os nutrientes liberados no solo pelos compostos orgânicos estão associados principalmente aos microrganismos nele presentes, em que a relação C/N é um dos principais fatores que controlam, assim como a origem do material e seu grau de estabilidade (CORBO, 2019).

## 3.3 ESTUDOS DE VERMICOMPOSTAGEM EM PEQUENA ESCALA

Para se ter um composto final de qualidade, este também deve apresentar baixos valores, permitidos pela legislação, ou até mesmo a ausência de microrganismos patogênicos. É primordial monitorar e controlar os fatores que influenciam no processo de vermicompostagem e garantir o período de tempo dos resíduos orgânicos em temperaturas termofílicas para a efetiva redução e/ou eliminação dos patógenos (NUNES, 2009; HECK et al., 2013; COTTA; CARVALHO; BRUM; REZENDE, 2015).

Valente et al. (2009, p. 72), colocam que “[...] a compostagem é mais eficiente quando

se mantêm temperaturas termófilas, porque reduz um maior número de microrganismos patogênicos, além de diminuir os fatores fitotóxicos, que inibem a germinação de sementes”.

Como o estudo de compostagem em pequena escala realizado por Muscope (2017), em que utilizou resíduos de esterco bovino, ovino e serragem, concluiu que a concentração de EM de 4 mL/L de água inoculados no processo, resultou em um tempo maior de exposição dos resíduos na fase termofílica, eliminando de forma eficiente os patógenos. Contudo, o processo em que se realizou apenas a compostagem e o que recebeu menor concentrações de EM ficaram menos tempo expostos na fase termofílica e conseqüentemente não foram suficientes na redução de patógenos para se enquadrar na legislação vigente<sup>1</sup>.

Os autores Fan et al. (2018), avaliaram em escala doméstica o processo de compostagem com a adição de EM e obtiveram como resultados compostos mais umidificados e uma redução dos maus odores durante a decomposição da matéria orgânica.

Monroy, Aira e Domínguez (2009), avaliaram a redução de bactérias Coliformes totais em dejetos suínos com *Eisenia fetida* e concluíram que estas juntamente com os microrganismos presentes no processo foram responsáveis por 98% das reduções ocorridas. Também, verifica-se em estudo em pequena escala utilizando minhocas *Eisenia andrei*, a redução de bactérias Coliformes termotolerantes e *Enterococci*, *Escherichia coli* e *Salmonella* spp. (Procházková et al., 2018).

Estudos realizados por Mupambwa, Ravindran e Mnkeni (2016), avaliando a presença dos EM em resíduos de cinzas volantes, esterco de vaca e resíduos de papel, afirmam que há uma cooperação entre os EM juntamente com as minhocas (*Eisenia fetida*), em que favorecem a disponibilidade de fósforo e reduzem o tempo de maturação dos resíduos em compostagem.

Panisson (2017), avaliou os dois processos (compostagem e vermicompostagem) com inoculação de EM e seus resultados mostraram que a adição de 4 mL/L na compostagem reduziu o maior número de Coliformes totais e, para a vermicompostagem os melhores resultados foram verificados onde inoculou-se os EM. Em relação aos nutrientes, a autora concluiu que no processo de compostagem com os EM houve aumento de pentóxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), óxido de potássio (K<sub>2</sub>O) e cálcio (Ca), enquanto na vermicompostagem foram significativos para reduzir metais e Coliformes totais.

O processo de compostagem em pequena escala é uma ótima alternativa de tratamento diante da geração das grandes quantidades de resíduos atualmente, entretanto ainda é necessário estudos para seu aprimoramento (PEREIRA, 2013). Da mesma forma, Fan et al. (2018)

---

<sup>1</sup> Legislação vigente refere-se a IN SDA n.º 27/2006 (BRASIL, 2006), abordada na seção 3.1.

colocam que é importante e necessário indagar sobre o real papel dos EM, usando diversos resíduos com controle dos fatores que influenciam na compostagem, para melhores esclarecimentos da eficiência dos EM.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 DESCRIÇÃO DA VERMICOMPOSTAGEM**

#### **4.1.1 Local e período de tempo do estudo**

O presente estudo foi realizado em uma propriedade rural, no interior do município de Erechim – RS, na RS 420, Povoado Cristo Rei. Os processos de vermicompostagem iniciaram na primavera, em novembro de 2018 e finalizaram no início do mês de março do ano de 2019, no verão.

#### **4.1.2 Composteiras utilizadas**

Como realizou-se três processos de vermicompostagem, para o estudo foi necessário três composteiras feitas de madeira, as quais o produtor já possuía na propriedade, com dimensões internas de 1 metro (m) de largura, 1m de comprimento e 0,7 m de altura, correspondendo 0,7 metros cúbicos (m<sup>3</sup>), como apresentado na Figura 1. As composteiras utilizadas eram abertas ao solo no fundo e foram cobertas por uma tampa de madeira e lona plástica transparente após iniciar os processos, com o objetivo de evitar o excesso de água da chuva, lixiviação de nutrientes e entrada de animais.

Figura 1 – Composteira de madeira utilizada no processo de vermicompostagem



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

#### 4.1.3 Caracterização, preparo e determinação da relação C/N dos resíduos orgânicos

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes resíduos orgânicos: capim elefante (*Pennisetum purpureum*), esterco de caprino, ovino, galinha e palha seca de milho. A quantidade dos resíduos inserido em cada uma das composteiras foram iguais.

Para a disposição dos resíduos nas composteiras, o esterco e o capim elefante (fragmentado em tamanhos menores, em torno de 5 centímetros (cm)) foram adicionados em camadas alternadas, ou seja, o resíduo rico em nitrogênio (N) e carbono (C). Já, a palha seca de milho foi adicionada inteira na primeira e última camada de resíduos nas composteiras, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Finalização da disposição dos resíduos na composteira com a cobertura de palha de milho seca



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Em campo, os resíduos foram pesados em um recipiente com determinado volume e assim foi possível extrair o valor da densidade destes e, juntamente com uma previsão de caracterização inicial de N e C, a partir de dados da literatura, foi possível determinar a partir da equação 1, a proporção dos resíduos a ser utilizada em cada composteira para os processos de vermicompostagem, nas quais foram aproximadamente: 63,5% de esterco; 27% de capim elefante; e 9,5% de palha de milho seca. Além disso, depois de iniciar o experimento foi determinado, de acordo com a metodologia descrita no manual de métodos analíticos oficiais

para fertilizantes e corretivos IN SDA n.º 37/2017<sup>2</sup> (BRASIL, 2017), a relação C/N inicial da mistura e de cada material utilizado.

$$\text{Relação } \frac{C}{N} = \frac{(\% C_e \times C C_e) + (\% E_m \times C E_m) + (\% P \times C P)}{(\% C_e \times N C_e) + (\% E_m \times N E_m) + (\% P \times N P)} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

$C$  = carbono (%)

$C_e$  = capim elefante (%)

$E_m$  = esterco mistura (%)

$P$  = palha seca de milho (%)

$N$  = nitrogênio (%)

#### 4.1.4 Espécies de minhocas utilizadas

A espécie de minhoca utilizada nos processos de vermicompostagem foi a *Eisenia fetida*, obtidas 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. Foram adicionadas 100 gramas (g) em cada composteira após o término da disposição dos resíduos, em uma cavidade realizada com profundidade em torno de 10 cm (Figura 3).

Figura 3 – Disposição das minhocas nos resíduos a serem compostados



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

<sup>2</sup> Estas análises foram realizadas por um laboratório especializado de prestação de serviço externo da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), financiadas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## 4.2 MICRORGANISMOS EFICIENTES

A obtenção e a ativação dos EM foram realizados conforme a metodologia descrita no Caderno dos Microrganismos Eficientes, por BONFIM et al. (2011).

### 4.2.1 Obtenção dos EM

Para a obtenção dos EM foi cozido aproximadamente 700 g de arroz sem sal e após foi adicionado num recipiente protegido por uma tela. Em seguida, o arroz foi inserido em uma cavidade feita no solo em uma área protegida por vegetação presente na propriedade rural em que se realizou o estudo. Após 15 dias os microrganismos já estavam presentes no arroz, nas quais as partes com coloração escura foram descartadas.

### 4.2.2 Ativação dos EM

Para a ativação dos EM, o arroz foi distribuído em 5 garrafas de plástico de 2 L e após foi adicionado 200 mL de melão em cada garrafa e completado com água limpa (sem cloro). Após, as garrafas foram fechadas e abrigadas da luz do sol por 20 dias, nas quais a cada 2 dias foram abertas para liberar o gás produzido. Após estes procedimentos os EM já estavam prontos para serem utilizados.

### 4.2.3 Inoculação dos EM

Foram adicionadas diferentes concentrações de EM em cada composteira, com o objetivo de verificar a eficiência de diferentes composições no processo de vermicompostagem. As concentrações de EM utilizadas no processo foram: na primeira composteira inoculou-se apenas a *Eisenia fetida* (Tratamento I); na segunda composteira foi adicionado uma concentração de 4 mL/L (Tratamento II) de água; e na terceira 8 mL/L de água (Tratamento III).

Os EM foram solubilizados em água e aplicados entre as camadas dos resíduos quando foram dispostos nas composteiras. Desta forma, também já se realizou o umedecimento necessário inicial nos processos, as quais foram verificadas pela análise tátil visual.

## 4.3 MONITORAMENTO DO PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM

### 4.3.1 Temperatura

As medidas de temperatura foram realizadas através de um termômetro portátil (marca AKSO e modelo AK904) com sonda externa e faixa de medição de -50 °C a 200 °C. As medidas

foram feitas na parte central das composteiras diariamente, em torno das 12h.

Para a análise das medições de temperatura, nos diferentes tratamentos realizados no presente estudo, utilizou-se os intervalos de temperatura, referentes as fases de compostagem, definidos pelos autores Sun et al. (2017), como citados anteriormente na seção 3.2.1.1. Em razão, de como já discutido, em processos de compostagem e vermicompostagem em pequena escala ainda existem algumas dificuldades em se atingir altas temperaturas na fase termofílica, o que compromete a redução e/ou eliminação dos patógenos.

O ideal nos processos de vermicompostagem é realizar uma pré-compostagem dos resíduos, após este tratamento é recomendado adicionar as minhocas (ECKHARDT et al., 2016). Contudo, optou-se em inseri-las no início do processo justamente para verificar a eficiência da remoção dos patógenos e garantir altas temperaturas. Ainda, como as composteiras eram abertas ao solo as minhocas poderiam migrar para outras regiões caso sofressem estresse e/ou desconforto.

#### **4.3.2 Umidade e aeração**

As minhocas realizam a ação de aeração pelos seus movimentos através dos resíduos (PAREKH; MEHTA, 2014), assim no experimento não foi necessário realizar revolvimento mecânico ou manual dos resíduos dispostos nas composteiras.

Na umidificação dos resíduos em compostagem, utilizou-se o método tátil visual. De acordo com Nunes (2009, p. 4) este método consiste em: “[...] pegar com a mão um pouco de material do interior da leira e comprimi-lo com bastante força. O ponto ideal da umidade é quando a água começa a verter entre os dedos, sem escorrer”. Na Figura 3, apresenta-se método tátil visual para verificar o teor de umidade do composto orgânico.

Para a determinação dos valores de teores de umidade, seguiu-se a NBR 6457 (ABNT, 2016) e os procedimentos foram realizados no laboratório de solos da UFFS – *Campus Erechim*. As coletas foram realizadas nas seguintes datas: 8/11/2018 (caracterização inicial); 30/11/2018; 10/01/2019; 05/02/2019; e 12/03/2019 (caracterização final).

Figura 3 – Método tátil visual: verificação do teor de umidade nos resíduos em compostagem



Fonte: NUNES (2009, p. 5).

#### 4.3.3 Determinação dos micronutrientes, macronutrientes e metais

A determinação dos micronutrientes, macronutrientes e metais (cádmio, chumbo, cromo e níquel), foram realizados no início e no final dos processos de vermicompostagem<sup>3</sup>, no qual 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 os micronutrientes e macronutrientes e a metodologia 3050 B (USEPA, 1996) para os metais. Após, os resultados foram analisados e comparados com os demais parâmetros monitorados no processo de vermicompostagem.

### 4.4 AVALIAÇÃO DA PRESENÇA DE PATÓGENOS

#### 4.4.1 Coliformes termotolerantes e *Salmonella* spp.

Foram realizadas análises microbiológicas<sup>4</sup>, referentes aos coliformes termotolerantes e a *Salmonella* spp. no início e no final dos processos. A metodologia empregada para os coliformes termotolerantes foi através da determinação quantitativa pela técnica de tubos múltiplos. Já, para a *Salmonella* spp. utilizou-se a técnica de determinação qualitativa pela

<sup>3</sup> Estas análises foram realizadas por um laboratório especializado de prestação de serviço externo da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), financiadas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

<sup>4</sup> Estas análises foram realizadas por um laboratório especializado de prestação de serviço externo da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), financiadas pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

técnica de Presença/Ausência (VIDAS, Easy Salmonella Method (SLM)).

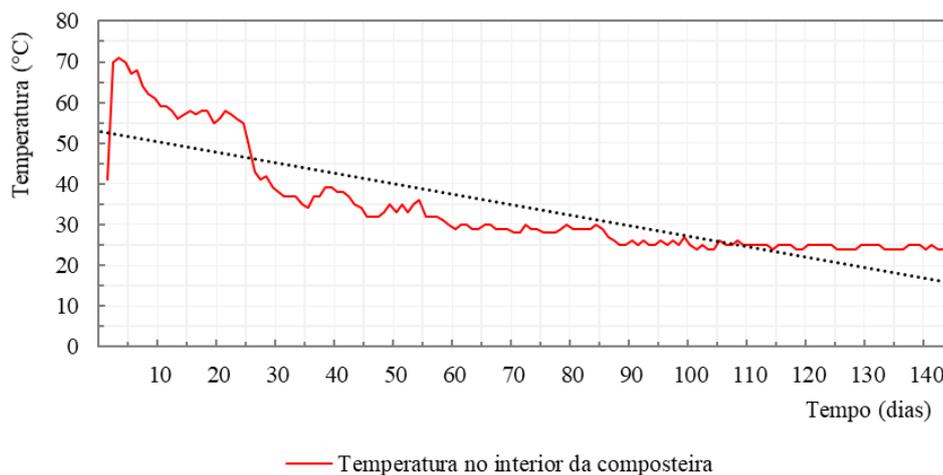
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 TEMPERATURA

Na Figura 4, em relação ao tratamento I, está representada a variação da temperatura no interior da composteira durante o processo de vermicompostagem. Ressalta-se, que as medições das temperaturas foram efetuadas diariamente no mesmo horário (12h) e no mesmo ponto da composteira, no centro. A relação C/N inicial para todos os tratamentos foi de aproximadamente 18/1.

Neste tratamento, não houve a adição de EM, somente da *Eisenia fetida* no início do processo. Verificou-se, que no período de tempo de 109 dias o composto já estava estabilizado, devido a relação C/N final e a estabilização da temperatura dos resíduos em compostagem com a temperatura ambiente. Visualiza-se, na Figura 4, que as temperaturas variaram durante o processo de 25°C (109º dia) a 71°C (3º dia), compreendendo a temperatura mínima e máxima, respectivamente e a temperatura média foi de aproximadamente 37,19°C.

Figura 4 – Tratamento I (sem adição de EM): variação da temperatura no interior da composteira em função do tempo de vermicompostagem

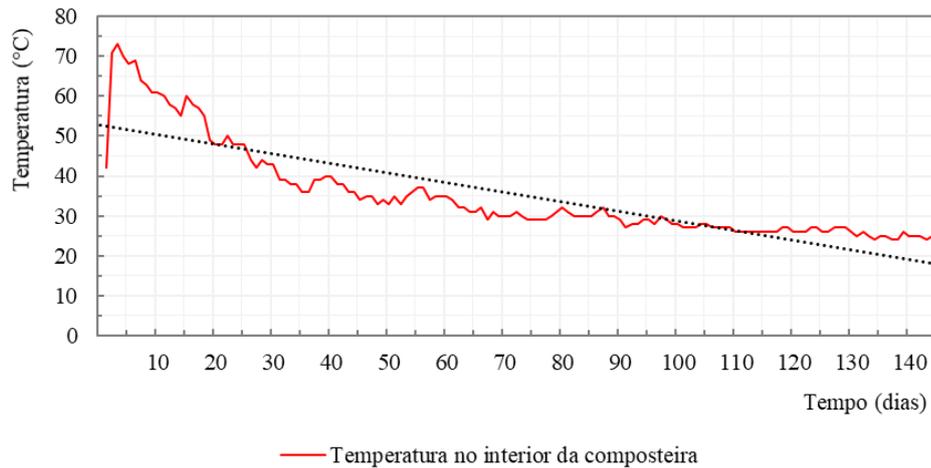


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

No tratamento II, além da inoculação da *Eisenia fetida*, adicionou-se a concentração de 4 mL/L de EM, em que a temperatura média do processo foi em torno de 38,31°C. Na Figura 5, apresenta-se a variação de temperatura no interior da composteira para este tratamento e

observa-se que a temperatura mínima e máxima foi em torno de 26°C (110º dia) e 73°C (3º dia), respectivamente. O período de tempo para que o composto se estabilizasse foi de 110 dias.

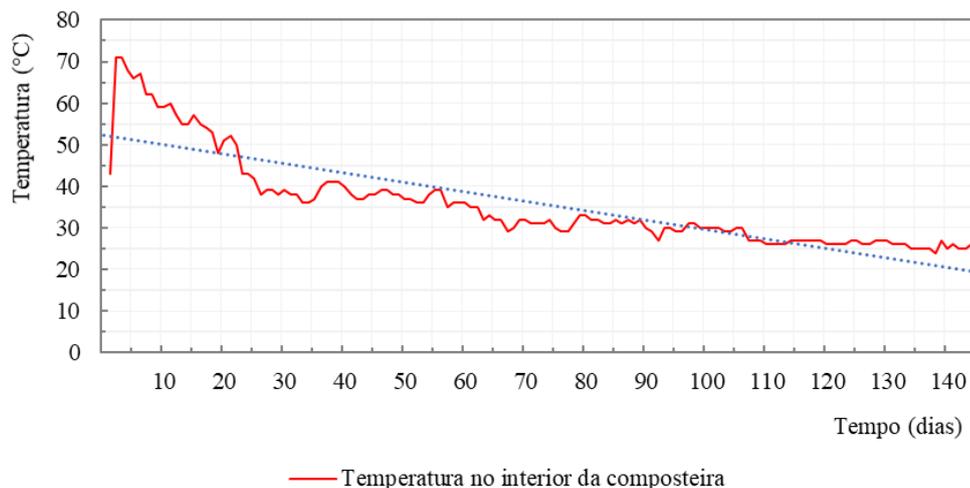
Figura 5 – Tratamento II (adição de 4mL/L de EM): variação da temperatura no interior da composteira durante o processo de vermicompostagem



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Para o tratamento III, além da *Eisenia fetida* adicionou-se a concentração de 8 mL/L de EM. Como apresentado na Figura 6, a temperatura mínima foi de 26°C no 110º dia e a temperatura máxima de 71°C no 2º dia do processo, com uma temperatura média de 38,37°C, na qual a estabilização do composto ocorreu no período de tempo de 113 dias.

Figura 6 – Tratamento III (adição de 8mL/L de EM): variação da temperatura no interior da composteira durante o processo de vermicompostagem



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Inicialmente, após a disposição adequada dos resíduos nas composteiras e de acordo com as Figuras apresentadas (4, 5 e 6), registraram-se as temperaturas iniciais de 38°C, 39°C e 43°C para o tratamento I, II e III, respectivamente. Estas temperaturas, caracterizaram a fase mesofílica ou de aquecimento dos processos desenvolvidos, em que tiveram a duração de apenas um dia.

Nesta fase, calor é liberado e a temperatura aumenta de forma rápida até alcançar 45°C e, é onde se inicia a degradação dos compostos, que resultam principalmente em ácidos, com a predominância de fungos e bactérias mesofílicas (KIEHL, 1985; SHUELER; MAHLER; GUIÃO, 2012; BRASIL, 2018). Evidencia-se, que as maiores temperaturas registradas são nos tratamentos que receberam a adição da concentração de EM, em relação proporcional, contudo o período de tempo para se atingir a fase mesofílica foi igual para os tratamentos.

No presente estudo, a fase termofílica ocorreu após 24h, ou seja, para os tratamentos atingirem a temperatura de 45°C. Para todos os tratamentos registraram-se temperaturas acima dos 70°C (não excedendo 73°C), nas quais não se mantiveram mais que dois dias. Esta rápida transição de fases, pode ser consequência da baixa relação C/N inicial nos tratamentos, em que a decomposição da matéria orgânica se torna mais rápida.

Na fase termofílica os microrganismos que predominam são os actinomicetes, fungos e bactérias termófilas, em que as altas temperaturas são em decorrência do aumento de oxigênio, assim como neste caso, demonstra que os compostos estavam bem aerados. No início do processo de compostagem, em cerca de dois dias as temperaturas podem se elevar num intervalo de 40 a 50°C e, em torno de menos de quinze dias chegam a valores de 60 a 70°C (KIEHL, 1985; SHUELER; MAHLER; GUIÃO, 2012; BRASIL, 2018).

As altas temperaturas em curto período de tempo, como verificado neste estudo, também podem ser explicadas em decorrência da origem dos resíduos utilizados, que de acordo com Ricci (1996), em processos de vermicompostagem, os esterco de galinha aquecem de maneira rápida e fácil. Assim como, o fato das composteiras ficarem expostas ao sol parte do período do dia também contribuiu, pois não havia telhado de sombreamento.

Durante a compostagem de resíduos orgânicos, o tempo de exposição dos resíduos orgânicos a altas temperaturas são fundamentais para a redução e/ou eliminação de patógenos. De acordo com Nunes (2009), temperaturas no intervalo de 60 a 70°C mais de 15 dias já é suficiente para exterminar fungos e bactérias patogênicas.

Apresenta-se, na Tabela 1, a temperatura inicial nos processos, a temperatura máxima e média e o tempo em que os resíduos ficaram expostos na fase termofílica

Tabela 1 – Temperatura inicial e tempo de exposição dos resíduos, temperatura máxima e média na fase termofílica

Tratamento	Temperatura inicial (°C)	Tempo de exposição dos resíduos na fase termofílica (dias)	Temperatura máxima registrada (°C)	Temperatura média (°C)
I	38	24	71	59,95
II	39	24	73	58,29
III	43	22	71	57,95

Elaborado pelo autor, 2020.

No tratamento III, verifica-se, que embora tinha a maior concentração de EM, foi entre os demais tratamentos, o que menos permaneceu na fase termofílica, totalizando 22 dias e apresentou a menor temperatura média, em torno de 57,95°C. Já, para o tratamento I e II, ambas permaneceram na fase termofílica por 24 dias e de modo respectivo com temperaturas médias de 59,95°C e 58,29°C, verifica-se que a maior média se encontra no tratamento em que apenas havia a inoculação de *Eisenia fetida*.

A biodegradação dos resíduos ocorreu de forma mais rápida no tratamento III, isso pode ter ocorrido pela maior concentração de EM neste tratamento, potencializando esta atividade. Nesta fase, ocorre uma profunda decomposição dos compostos, em que vapor d'água e calor são liberados pela elevada atividade dos microrganismos presentes (BRASIL, 2018). Além disso, de acordo com Brito (2008) e Bonfim et al. (2009) esta fase do processo a atividade microbiológica promove uma acelerada degradação, em que os organismos são bastante ativos.

Referente a fase de maturação dos resíduos compostados, na Tabela 2, apresenta-se o período de tempo para atingir a temperatura de maturação, tempo da fase de maturação e o tempo total que os diferentes tratamentos demoraram para atingir a estabilização da matéria orgânica.

Os tratamentos I e II, iniciaram a maturação no 26º dia, posterior ao tratamento III, com diferença de dois dias. O período de tempo de maturação, como apresentado na Tabela abaixo (2), dos tratamentos com a adição de EM foram maiores que no tratamento sem, com uma diferença de 1 dia e 6 dias em relação ao tratamento II e III, respectivamente.

Tabela 2 – Tempo dos diferentes tratamentos para atingir a fase de maturação e o tempo total para a estabilização

Tratamento	Tempo para atingir a temperatura de maturação (dias)	Tempo de maturação dos resíduos compostados (dias)	Tempo total para atingir a estabilização (dias)
I	25	84	109
II	25	85	110
III	23	90	113

Elaborado pelo autor, 2020.

De acordo com Barreira (2005), a fase de maturação é onde ocorre a estabilidade do composto, assim pode-se dizer que no tratamento I o composto se estabilizou mais rápido que no tratamento II e III. Evidencia-se, que no tratamento com maior concentração de EM, demorou mais tempo para a estabilização dos resíduos em compostagem.

Na fase de maturação, os compostos vão diminuindo suas temperaturas e assim voltam para a fase mesofílica. Então, novamente ocorre a presença de bactérias e fungos mesófilos, com um tempo maior do que na fase anterior (termofílica), em que há formação de húmus e a degradação dos compostos se torna bastante lenta até a sua estabilização (SHUELER; MAHLER; GUIÃO, 2012).

Na Tabela 7, consta os valores inicial e final para a relação C/N para os diferentes tratamentos. É possível notar, que as menores relações C/N são as dos Tratamento II, III, nos quais receberam as concentrações de EM, seguida do Tratamento I, em que foi inoculado apenas a *Eisenia fetida*.

Tabela 7 – Resultado inicial e final da relação C/N para os diferentes tratamentos realizados

	Relação C/N	
	Inicial	Final
Tratamento I	18,00	9,14
Tratamento II	18,00	8,96
Tratamento III	18,00	8,99

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Mupambwa, Ravindran e Mnkeni (2016), estudaram a associação da *Eisenia fetida* com EM e, constataram que quando inoculados juntamente no processo de vermicompostagem resultam em alterações significativas na relação C/N, bem como em melhores taxas de matéria orgânica dissolvida, quando comparados apenas com a inoculação individual. Em referência a isto e observando a Tabela 7, a relação C/N final dos compostos produzidos no Tratamento I, II e III, foram: 9,14; 8,96; 8,99; respectivamente, em que este decréscimo mostra que a degradação dos resíduos utilizados ocorreu adequadamente.

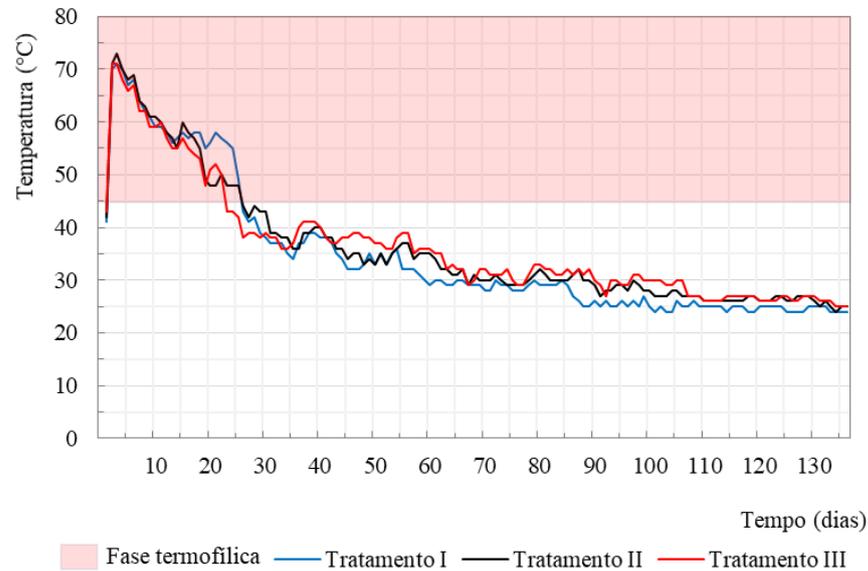
De acordo com Cantarella (2007), valores de relações C/N superiores a 30 os microrganismos acabam utilizando o N inorgânico devido a alta concentração de C, em que predomina a sua imobilização. Com relações próximas de 10 a 12, valores característicos de materiais orgânicos estáveis no solo, a imobilização é menor que a mineralização (apud CORBO, 2007).

Além disso, segundo Silva et al. (2020, p. 189), a relação C/N é a principal determinante do grau de maturação no composto final e ainda, colocam que “[...] a eficiência de um processo de compostagem é diretamente proporcional à eficiência com que os microrganismos conseguem captar e metabolizar os nutrientes”.

Diferentemente dos resultados apresentados para a maturação do presente estudo, Vicentini et al. (2009), concluíram que a utilização dos EM associado ao processo de vermicompostagem podem diminuir o tempo de estabilização da matéria orgânica.

Na Figura 7, está representado as curvas de temperatura obtidas em todos os processos de vermicompostagem. No tratamento II, verifica-se a maior temperatura registrada, em torno de 73°C, no 3º dia após o início do processo. Todos os tratamentos estiveram no mesmo período de tempo na fase mesofílica, já na fase termofílica, o tratamento III permaneceu dois dias a menos e registrou-se a maior temperatura (em torno de 43°C) no início do processo entre os demais tratamentos.

Figura 7 – Tratamentos I, II e III: comportamento da temperatura durante os processos de vermicompostagem e delimitação da fase termofílica



Elaborado pelo autor, 2020.

Resultados obtidos por Panisson (2017), indicam que os EM associados ao processo de vermicompostagem podem diminuir o tempo de exposição dos resíduos na fase mesófila e, conseqüentemente atingir mais rapidamente a fase termofílica, com potencial de acelerar o processo.

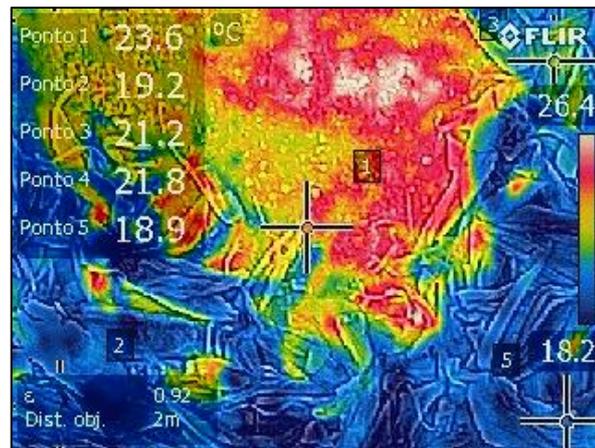
Diante dos resultados apresentados, evidencia-se que referente a fase mesofílica, que a adição dos EM juntamente com a *Eisenia fetida*, podem ter tido um papel no aumento da temperatura, já que as temperaturas medidas foram em ordem crescente de acordo com a quantidade de EM adicionados. Contudo, todos Tratamentos permaneceram o mesmo período de tempo nesta fase.

Na fase termofílica, os EM não tiveram papel de desempenho em elevar a temperatura, já que em todos os Tratamentos a média de temperatura foram similares. Em relação a degradação da matéria orgânica, pode-se concluir que o tratamento III, com a concentração de 8 mL/L de EM, foi capaz de acelerar a degradação dos resíduos orgânicos utilizados, pois a fase termofílica se encerrou dois dias antes dos demais tratamentos.

Apesar dos tratamentos atingirem altas temperaturas, não foi constatado mortes de *Eisenia fetida*, mas se observou que as minhocas na fase termofílica deslocaram-se para as partes laterais das composteiras. Este comportamento, pode explicado pelo fato das temperaturas serem mais baixas, fazendo com que as minhocas migrassem para este local, como

pode ser visualizado na Figura 8, em que se apresenta uma imagem termográfica da superfície do tratamento III.

Figura 8 – Imagem termográfica do Tratamento III (com adição de 8mL/L de EM): temperaturas da superfície dos resíduos em compostagem



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

No estudo realizado por Vicentini et al. (2009), os autores concluíram que a adição de EM teve impactos positivos em relação as minhocas, em que no experimento com EM resultou em uma média de 5,45 de minhocas por repetição e, para o experimento sem EM obteve uma média de 0,6 minhocas por repetição. No presente estudo, também se observou o desenvolvimento de novas minhocas nos Tratamentos com EM, sendo um indicativo da ocorrência de reprodução.

Referente a fase de maturação, as concentrações de EM adicionados nos Tratamentos II (4 mL/L) e III foram mais longas na estabilização dos resíduos em compostagem, pois no Tratamento I a estabilização ocorreu de 1 dia a 6 dias antes, respectivamente.

Na seção seguinte, analisa-se a redução de patógenos relacionando-se com as temperaturas aqui discutidas.

## 5.2 PATÓGENOS

Na Tabela 3, apresenta-se o resultado inicial e final obtido de coliformes termotolerantes para cada tratamento realizado, em comparação com o valor máximo admitido pela legislação, a IN SDA n.º 27/2006 (BRASIL, 2006).

Tabela 3 – Coliformes termotolerantes: resultado inicial e final de cada tratamento e valor máximo admitido pela legislação.

Tratamento	Coliformes termotolerantes (número mais provável por grama de matéria seca) ((NMP g <sup>-1</sup> de MS)		Valor máximo admitido  (NMP g <sup>-1</sup> de MS)
	Inicial	Final	
I	1300000	780	1000
II	1300000	200	
III	1300000	<180	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Em todos os tratamentos realizados, os resultados indicaram uma redução superior à 90% do número de coliformes termotolerantes. Em relação a adição da concentração de EM nos tratamentos, a maior redução de coliformes termotolerantes ocorreu no Tratamento III, de aproximadamente 98,6 %, no qual a concentração foi de 8 mL/L. Em consonância ao Tratamento II, com a menor concentração, de 4 mL/L, verificou-se a redução de aproximadamente 98,4 % e, a menor redução ocorreu em torno de 94% no Tratamento I, com a inoculação somente da *Eisenia fetida*.

Diferentemente dos resultados apresentados, estudos realizados por Panisson (2017), no qual também avaliou reduções do número de coliformes termotolerantes no processo de vermicompostagem com adição de EM, constatou, que as maiores reduções não ocorreram onde haviam as maiores concentrações destes, embora tiveram papel significativo quando comparados apenas com o processo de vermicompostagem.

Segundo Larbier e Leclercq (1994), os EM utilizados na alimentação de animais, podem reduzir significativamente os microrganismos patogênicos presentes no trato digestivo destes. Diante disso, acredita-se que de mesma maneira ocorra quando os microrganismos estão associados com a *Eisenia fetida*, uma vez que o processo neste estudo se tornou mais eficiente na redução de patógenos.

Quando os EM realizam a degradação da matéria orgânica, estes liberam muitos compostos que nutrem os organismos presentes nesse material. E, com isso acabam ajudando na multiplicação de microrganismos, que por sua vez contribuem agregando melhor as partículas minerais e aumentando a disponibilidade de água (BONFIM, 2011).

Como pode ser visualizado na Tabela 4, todos tratamentos atingiram a fase termofílica no segundo dia do processo de vermicompostagem, nos quais se mantiveram praticamente no mesmo período de tempo, exceto o Tratamento III, no qual permaneceu 22 dias com temperatura média na fase termofílica de 57,95 °C, enquanto os Tratamentos I e II, 24 dias, com temperatura média de 59,95 °C e 58,29 °C, respectivamente. Embora, o Tratamento III obteve a menor média e permanência na fase termofílica, foi o tratamento entre os demais que mais reduziu o número de coliformes termotolerantes, também, evidencia-se que há diferença entre os tratamentos sem e com a adição das concentrações de EM.

Tabela 4 – Redução do número de coliformes termotolerantes: comparação com a temperatura média e tempo na fase termófila e concentração de microrganismos eficientes

	Temperatura média na fase termófila  (°C)	Tempo na fase termófila  (dias)	Redução de coliformes termotolerantes  (%)	Concentração de microrganismos eficientes  (mL/L)
Tratamento I	59,95	24	94,00	0,00
Tratamento II	58,29	24	98,40	4,00
Tratamento III	57,95	22	98,60	8,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Ainda, analisando-se a Tabela 4, constata-se, que não somente a presença da *Eisenia fetida* e o período de tempo exposto as temperaturas na fase termófila foram responsáveis pela redução de coliformes termotolerantes. Mas, a presença dos EM nos tratamentos II e III foram os que obtiveram as maiores reduções no número de coliformes termotolerantes, que associados com a *Eisenia fetida*, obteve-se os melhores resultados e, conseqüentemente a melhor qualidade do composto final em relação a este parâmetro de estudo.

Um estudo realizado por Muscope (2017), coloca que o uso de EM associado a compostagem em pequena escala, aplicados em altas concentrações aos resíduos agroindustriais, é o principal fator responsável pela eliminação de coliformes termotolerantes. Assim como, é colocado pelo mesmo autor, que baixas concentrações utilizadas de EM, no caso 2 mL/L, não tiveram eficiência na redução e/ou eliminação de coliformes termotolerantes para o enquadramento na legislação vigente.

A Instrução Normativa apresentada inicialmente, que prevê sua ausência em 10g de matéria seca (MS), se fez necessário as análises desse agente patogênico nos tratamentos realizados neste estudo. Entretanto, nas análises realizadas no início e final de todos os tratamentos, não foi detectada a presença *Salmonella* spp., o que representa um resultado positivo.

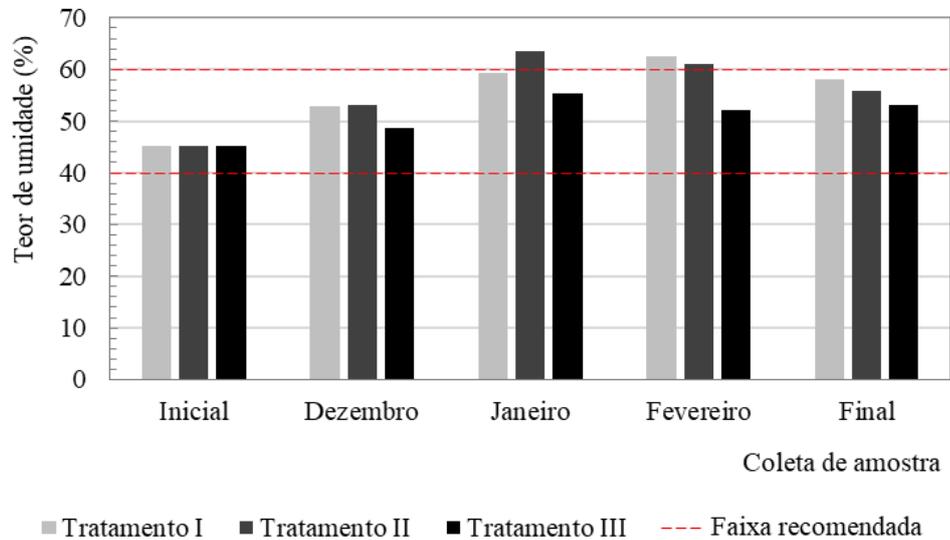
De acordo com o que foi apresentado, pode-se concluir, que a redução do número de coliformes termotolerantes no composto final, como apresentado na Tabela 3, indica que os processos de vermicompostagem com ou sem adição de EM, aplicado aos resíduos agroindustriais utilizados, mostrou-se eficiente para este parâmetro, em razão de que todos os resultados obtidos não excederem o limite máximo de 1000 NMP g<sup>-1</sup> de MS, no qual estão conformidade com a IN SDA n.º 27/2006 (BRASIL, 2006).

### 5.3 UMIDADE E AERAÇÃO

Durante os processos de vermicompostagem, através do método tátil visual foi possível identificar o momento que os resíduos em compostagem requeriam umedecimento, no qual foi necessário realizar mais duas vezes, após o início dos experimentos. No início dos experimentos (08/11/2018), juntamente com a água, foi adicionada a concentração de EM respectiva de cada Tratamento (I: 0 mL/L, II: 4mL/L, III: 8mL/L) e também realizado o umedecimento no dia 27/12/2018 e no dia 15/02/2019.

Os resultados obtidos dos teores de umidade para cada Tratamento, referente aos meses de coleta, estão apresentados na Figura 9, assim como a faixa de umidade recomendada para o processo de vermicompostagem adotado, conforme Ricci (1992) de 40 a 60%.

Figura 9 – Resultados dos teores de umidade para os Tratamentos de acordo com os meses de coleta



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Primeiramente, determinou-se o teor de umidade da condição inicial (08/11/2018) dos resíduos orgânicos utilizados e de acordo com a Figura 9, obteve-se o valor de 45,25%.

Na determinação do teor de umidade do composto final (12/03/2019) dos Tratamentos I, II e III, os resultados foram: 58,14%; 55,95%; e 53,08%, respectivamente. Embora estes estejam de acordo com a faixa adotada, a IN SDA n.º 25/2009 (BRASIL, 2009) recomenda o teor de umidade máximo de 50%. Contudo, este parâmetro pode ser facilmente controlado com a exposição ao sol para diminuir estes teores, já para aumentar pode-se adicionar água.

Apresenta-se, na Tabela 5 a comparação dos valores da temperatura média, teor de umidade ao final da fase termofílica e redução dos coliformes termotolerantes.

Tabela 5 – Resultados dos parâmetros físicos e microbiológicos avaliados nos diferentes Tratamentos realizados

	Concentração de EM (mL/L)	Temperatura média na fase termofílica (°C)	Teor de umidade ao final da fase termofílica (%)	Redução de coliformes termotolerantes (%)
Tratamento I	0	59,95	52,93	94,00
Tratamento II	4	58,29	53,04	98,40
Tratamento III	8	57,95	47,39	98,60

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

De acordo com a Figura 9 e a Tabela 5, os teores de umidade encontrados no mês de novembro (30/11/2018), ao final da fase termofílica, foram maiores no Tratamento II (53,04%), seguido do Tratamento I e III (52,93%) e III (47,39%).

O oxigênio no processo de compostagem é um fator essencial para o desenvolvimento de determinados microrganismos, os quais são fundamentais na decomposição da matéria orgânica e dissolução de nutrientes (MENDES; SANDES, 2018).

No Tratamento III, a fase termofílica encerrou anteriormente aos demais Tratamentos, com a menor temperatura média (57,95°C) e teor de umidade, em que reduziu a maior concentração de coliformes termotolerantes.

Desta forma, é possível que não somente a presença da *Eisenia fetida* e a exposição dos resíduos às temperaturas desejáveis foram capazes de eliminar e/ou reduzir coliformes termotolerantes, mas também a presença dos EM no Tratamento.

De acordo com Souza et al. (2020, p. 206), “a anaerobiose é a principal causa da emissão de odores, e está associada geralmente ao excesso de umidade, à falta de aeração, à geometria da leira e à granulometria do composto”. Embora, o Tratamento I no mês de janeiro teve um teor de umidade superior ao recomendado, assim como o Tratamento II nos meses de janeiro e fevereiro, não se notou odores desagradáveis e a formação de chorume, um indicativo de que parcela da água presente eram utilizadas no processo de decomposição e os excessos de umidade (menores que 60%) não interferiram no processo.

#### 5.4 MACRONUTRIENTES

Referente aos macronutrientes, na Tabela 6, estão apresentados o valor inicial e final nos diferentes tratamentos realizados, bem como os valores sugeridos pela IN SDA n.º 25/2009 (BRASIL, 2009).

Tabela 6 – Resultado inicial e final dos macronutrientes nos tratamentos realizados em comparação com os valores admitidos pela legislação vigente

Resultado			
----- (%) -----			
Nitrogênio (N)	Pentóxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	Carbono orgânico (CO)

Tratamento I				
Inicial	1,07	1,00	1,22	29,78
Final	1,04	1,16	0,76	21,47
Tratamento II				
Inicial	1,07	1,00	1,22	29,78
Final	1,03	1,23	0,72	20,98
Tratamento III				
Inicial	1,07	1,00	1,22	29,78
Final	1,05	1,26	0,77	20,06
Legislação	≥ 0,50	≥ 1,00	≥ 1,00	≥ 10,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Verifica-se, na Tabela 6 que os valores de N em todos os tratamentos realizados não sofreram grandes perdas. O maior valor encontra-se no Tratamento III, seguido do Tratamento I e II, os resultados finais foram similares entre eles e estão bem 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.

Segundo Dias (2009), o esterco de galinha é um dos resíduos agroindustriais com maiores quantidades de nutrientes, como N, Ca e P, se tornando uma excelente fonte para os solos. Contudo, de acordo com Kiehl (1985), em processos de compostagem, é muito difícil conservar o N no composto final, este facilmente pode sofrer lixiviação e/ou volatilização, em que sua perda na forma de amônia está associada aos demais parâmetros aqui estudados e também a relação C/N, além do potencial Hidrogeniônico e da capacidade de troca catiônica.

Para o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ocorreu um aumento em todos os tratamentos realizados (Tabela 5), o que era pretendido, pois a legislação recomenda valores superiores a 1,00% e nota-se que os resultados finais são maiores no Tratamento II e III, que receberam inoculação de EM.

Infelizmente, para o K<sub>2</sub>O, os resultados obtidos não se enquadraram na legislação vigente, com valores abaixo do recomendado de 1,00%. Evidencia-se, que os menores valores estão no Tratamento II, I e III, respectivamente.

Resultados obtidos por Muscope (2017), analisando concentrações de EM no processo de compostagem, verificou que a adição de EM resultou em aumento dos macronutrientes, principalmente no P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O. Assim como, estudos realizados por Jusoh, Puziah e Latiff (2013), que os EM tem potencial em aumentar as concentrações de macronutrientes.

Ainda, de acordo com a Tabela 5, para o CO constata-se, que os menores valores se encontram nos Tratamentos II e III, nos quais receberam a inoculação de EM. 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.

De forma geral, em todos os tratamentos houve uma redução dos macronutrientes, exceto para os valores de  $P_2O_5$ , nos quais houve aumento. 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 5. No tratamento III, ocorreu as maiores concentrações de macronutrientes (N,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ), seguido do Tratamento I (exceto para o  $P_2O_5$ ) e II, indicando que a presença de EM no processo de vermicompostagem é capaz de resultar em uma maior concentração de macronutrientes. Além disso, constata-se, que no Tratamento III obteve-se a menor relação C/N e CO. Apenas, com exceção do  $K_2O$ , os demais macronutrientes enquadram-se nos limites recomendáveis pela legislação vigente.

## 5.5 MICRONUTRIENTES

Nas Tabelas 8 e 9, estão apresentados os resultados inicial e final dos micronutrientes nos diferentes tratamentos realizados e os valores recomendados pela SDA n.º 25/2009 (BRASIL, 2009) para aplicação no solo.

Tabela 8 – Resultado inicial e final de micronutrientes no Tratamento I, II e III

	Resultados (%)		
	Cálcio (Ca)	Magnésio (Mg)	Enxofre (S)
Tratamento I			
Inicial	0,98	0,32	0,30
Final	0,74	0,33	0,15
Tratamento II			
Inicial	0,98	0,32	0,30
Final	0,79	0,32	0,15

Tratamento III			
Inicial	0,98	0,32	0,30
Final	0,78	0,33	0,16
Legislação (%)	≥ 1	≥ 1	≥ 1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Em relação aos micronutrientes Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), pode-se visualizar na Tabela 8 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. Referente ao S, as reduções foram maiores, 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 como avaliado anteriormente, os Tratamentos não foram capazes de aumentar a disponibilidade de micronutrientes, desta forma não segue o recomendado pela legislação.

Avaliando a Tabela abaixo (9), referente aos micronutrientes Manganês (Mn), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Ferro (Fe) 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 9 – Resultado inicial e final de micronutrientes no Tratamento I, II e III

	Resultados (%)					
	Manganês (Mn)	Cobre (Cu)	Zinco (Zn)	Ferro (Fe)	Boro (B)	Cobalto (Co)
Tratamento I						
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
Tratamento II						
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

Tratamento III						
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
Legislação (%)	≥ 0,05	≥ 0,05	≥ 0,1	≥ 0,2	≥ 0,03	≥ 0,005

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Referente ao Cu e o Zn, estes aumentaram em quantidades menores aos anteriormente discutidos, sendo encontrado os maiores valores também no Tratamento III. Já, em relação aos outros Tratamentos, apresenta-se o maior valor de Zn no Tratamento I e para o Cu no Tratamento II. Para os demais macronutrientes, o Co apresenta os maiores valores no Tratamento I (sem adição de EM), seguido do Tratamento III e II e para o Bo, no Tratamento III se tem as maiores porcentagens, seguido do Tratamento II e I. A decomposição dos resíduos orgânicos realizada pelos microrganismos em processo de compostagem, está associada as quantidades e os diferentes nutrientes presentes nestes resíduos (PEREIRA, 2007).

Embora, houve aumento de todos micronutrientes apresentados na Tabela 9, os valores avaliados não foram suficientes para enquadrá-los nos limites mínimos indicados pela legislação, com excessão do Mn e Fe. Percebe-se, que com excessão do Co todos os outros micronutrientes tiveram mais aumento no Tratamento III, em que recebeu a concentração de 8mL/L de EM. Além disso, nota-se que em relação ao Tratamento I, sem adição de EM, obteve-se melhores resultados para Mn, B e Co quando comparado com o Tratamento II, que recebeu a concentração de 4mL/L de EM.

Estudos realizados por Panisson (2017), em que avaliou a concentração de 2mL/L e 4mL/L adicionados ao processo de vermicompostagem, apresentou como resultado os maiores valores de micronutrientes (com exceção do Fe) para o processo sem a adição de EM.

Diante dos resultados apresentados e discutidos, a concentração de 8mL/L de EM adicionados no Tratamento III teve influência em aumentar o teor dos micronutrientes no composto final. Contudo, em relação ao Tratamento I e II é possível que baixas concentrações não sejam eficientes para garantir este aumento, como apresentado no estudo de Panisson (2017).

## 5.6 METAIS

O valor inicial e final dos metais para cada um dos processos de vermicompostagem realizados estão apresentados na Tabela 10, 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).

Para os metais pesados, analisando-se abaixo (10), os resultados finais obtidos para o Cádmio (Cd), Chumbo (Pb) e o Níquel (Ni) apresentaram reduções para todos os tratamentos realizados. Diferentemente, para o Cromo (Cr) ocorreu um aumento nos tratamentos I e III. Quando comparados com a legislação vigente, pode-se concluir, que com exceção do Cr, no qual não deve exceder o limite de 2,00 mg/kg, 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 ficaram acumuladas nas minhocas. 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, SINGH, DHAWAN, 2008).

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 10 – Tratamentos I, II e III: resultado inicial e final dos metais em comparação com os valores máximos admitidos pela legislação vigente

	Resultado ----- (mg/g) -----			
	Cádmio (Cd)	Chumbo (Pb)	Cromo (Cr)	Níquel (Ni)
Tratamento I				
Inicial	1,67	16,40	5,80	26,70
Final	0,80	11,87	6,15	11,29
Tratamento II				
Inicial	1,67	16,40	5,80	26,70
Final	0,87	8,40	4,06	9,72
Tratamento III				
Inicial	1,67	16,40	5,80	26,70

Final	1,02	16,09	6,53	12,49
Legislação	3,00	150,00	2,00	70,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Desta forma, não é possível afirmar que a associação das minhocas com os microrganismos eficientes teve papel preponderante na redução dos metais pesados. Contudo, avalia-se que pode existir uma concentração ideal de EM, que associado com as minhocas podem trazer melhores resultados, como no caso do tratamento II. 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.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir, que a redução do número de coliformes termotolerantes no composto final dos tratamentos realizados, indica que os processos de vermicompostagem com ou sem adição de EM aplicado aos resíduos agroindustriais mostram-se eficientes, em que todos os resultados estiveram em conformidade com a IN SDA n.º 27/2006 (BRASIL, 2006). Evidencia-se, que os tratamentos com a presença de EM tiveram maior papel de desempenho na redução de coliformes termotolerantes, com melhores resultados apresentados ao tratamento III com maior concentração, de 8mL/L. Na fase termofílica, os EM não tiveram influência para elevação da temperatura, já que em todos os tratamentos a média de temperatura foram similares.

Referente aos macronutrientes, foi no tratamento III que 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 uma maior concentração de macronutrientes. Com exceção do K<sub>2</sub>O, os demais macronutrientes estiveram todos de acordo com o recomendado na IN SDA n.º 25/2009 (BRASIL, 2009).

Quantos aos micronutrientes, em relação ao Ca e S, houve uma redução em todos tratamentos e mesmo para os demais micronutrientes em que houve aumento, apenas foi possível enquantrar Mn e Fenos teores recomendados pela IN SDA n.º 25/2009 (BRASIL, 2009). Conclui-se, que com excessão do Co todos os outros micronutrientes tiveram mais aumento no tratamento III.

Para os metais pesados, os resultados finais obtidos para Cd, Pb e o Ni apresentaram reduções para todos os tratamentos realizados. Diferentemente, para o Cr ocorreu um aumento nos tratamentos I e III. Quando comparados com a IN SDA n.º 27/2006 (BRASIL, 2006), pode-se concluir que, com exceção do Cr, todos os demais metais estão de acordo com os limites recomendados para fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo. Os melhores resultados apresentaram-se no tratamento II, com redução de todos elementos, inclusive do Cr.

Diante dos resultados, pode-se concluir que o processo de vermicompostagem com a adição de EM, que teve como propósito melhorar o processo de vermicompostagem em pequena escala de resíduos orgânicos agroindustriais, visando a eliminação de patógenos, mostrou-se como uma tecnologia eficiente para os resíduos utilizados e resultou em um composto final de qualidade.

Sugere-se para trabalhos futuros, estudar concentrações de EM maiores que 8 mL/L adicionados ao processo de vermicompostagem, uma vez que os resultados se apresentaram melhores nessa concentração e por existir uma carência desse tipo de estudo, ainda mais quando se trata da inoculação de EM.

## REFERÊNCIAS

- AQUINO, A. M. de. Aspectos práticos da vermicompostagem. *In*: AQUINO, A. M. de.; ASSIS, R. L. de. (Org.). **Agroecologia**: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, p. 423-432.
- ARTHURSON, V. Proper sanitization of sewage sludge: a critical issue for a sustainable society. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 74, p. 5267-5275, set. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457**: Amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). Validation of alternative analysis methods VIDAS® Easy Salmonella methods (certificate number: BIO 12/16-09/05) – for the detection of *Salmonella* in food and feed products, and environmental samples. Disponível em: [https://nf-validation.afnor.org/wp-content/uploads/2017/02/Synt-BIO-12-16-09-05\\_en.pdf](https://nf-validation.afnor.org/wp-content/uploads/2017/02/Synt-BIO-12-16-09-05_en.pdf). Acesso em: 11 out. 2020.
- BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. Tese (Doutorado em saúde pública) – Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-08032006-111308/publico/tese.pdf>. Acesso em: 15 set. 2020.
- BERTONCINI, E. I. Tratamento, uso e impacto de resíduos urbanos e agroindustriais na agricultura. **Pesquisa & Tecnologia**, São Paulo, v. 11, n. 1, p. 1-5, jan./jun. 2014.
- BONFIM, F. P. G. et al. **Caderno dos microrganismos eficientes (EM)**: instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa nº 27, de 5 de julho de 2006. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 09 de julho de 2006.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 28 de julho de 2009.
- BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa n.º 37, 17 de outubro de 2017. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 13 de outubro de 2017.
- BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação. Brasília, DF, 2018.
- BRITO, M. J. C. **Processo de Compostagem de Resíduos Urbanos em Pequena Escala e Potencial de Utilização do Composto como Substrato**. 2008. Tese (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, Aracaju, 2008. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp045847.pdf>. Acesso em: 21 set. 2020.

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

CARNEIRO, L. J. et al. Nutrient loss in composting of agroindustrial residues. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 796-807, jul./ago. 2013.

CORBO, J. Z. F. **Métodos para a estimativa do nitrogênio disponível para plantas em resíduos orgânicos**. 2019. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/209872/1/Corbo-metodo-estimativa-2019.pdf>. Acesso em: 12 out. 2020.

COSTA, D. R. da. et al. Tratamento de resíduos agropecuários através da vermicompostagem. *In: II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel, 2., 2005, Varginha. Anais [...]. Varginha: Pedro Castro Neto e Antônio Carlos Fraga, 2005, p. 360-365.*

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

DIAS, B. de O. **Compostagem de esterco de galinha: composição química da matéria orgânica e extração de substâncias húmicas**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009. Disponível em: [http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/3785/1/TESE\\_Compostagem%20de%20esterco%20de%20galinha%20composi%C3%A7%C3%A3o%20qu%C3%ADmica%20da%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica%20e%20extra%C3%A7%C3%A3o%20de%20subst%C3%A2ncias%20h%C3%BAmicas.pdf](http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/3785/1/TESE_Compostagem%20de%20esterco%20de%20galinha%20composi%C3%A7%C3%A3o%20qu%C3%ADmica%20da%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica%20e%20extra%C3%A7%C3%A3o%20de%20subst%C3%A2ncias%20h%C3%BAmicas.pdf). Acesso em: 15 out. 2020.

ECKHRDT, D. P. et al. Vermicompostagem como alternativa para o tratamento de resíduos nas propriedades rurais do sul do Brasil. *In: TIECHER, T. (Org). Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água. Porto Alegre: UFRGS, 2016, p. 87-99.*

FAN, Y. V. et al. Evaluation of Effective Microorganisms on home scale organic waste composting. **Journal of environmental management**, Skudai, v. 216, p. 41-48, jun. 2018.

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

GONÇALVES, F. **Tratamento de camas de equinos por compostagem e vermicompostagem**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2596/1/LD\\_COEAM\\_2013\\_2\\_07.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2596/1/LD_COEAM_2013_2_07.pdf). Acesso em: 20 set. 2020.

HECK, K. et al. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 54-59, jan. 2013.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: Edmar José Kiehl, 2004.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: Edmar José Kiehl, 1998.

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

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

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, fev. 2013.

LARBIER, M.; LECLERCQ, B. **Nutrition and feeding of poultry**. Nottingham University Press, 1994.

LOURENÇO, J. C. **Logística agroindustrial**: desafios para o Brasil na primeira década do século XXI. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) – Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras, 2009. Disponível em: [https://storage.googleapis.com/adm-portal.appspot.com/\\_assets/modules/academicos/academico\\_4329\\_190226\\_185119.pdf?mtime=20190226155116&focal=none](https://storage.googleapis.com/adm-portal.appspot.com/_assets/modules/academicos/academico_4329_190226_185119.pdf?mtime=20190226155116&focal=none). Acesso em: 10 ago. 2020.

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

MENDES, D. B.; SANDES, F. S. Gestão de Resíduos Orgânicos: Práticas de Compostagem em uma Central de Abastecimento da RMS. In: MARCHI, C. M. D. F. (Org.). **Gestão dos Resíduos Sólidos**: Conceitos e Perspectivas de Atuação. 1. ed. Curitiba: Appris, 2018.

MONROY, F.; AIRA, M.; DOMÍNGUEZ, J. Reduction of total coliform numbers during vermicomposting is caused by short-term direct effects of earthworms on microorganisms and depends on the dose of application of pig slurry, **Science of the Total Environment**, n. 407, p. 5411-5416, jul. 2009.

MUPAMBWA, H. A.; RAVINDRAN, B.; MNKENI, P. N. S. Potential of Effective microorganisms and *Eisenia fetida* in enhancing vermi-degradation and nutrient release of fly ash incorporated into cow dung–paper waste mixture. **Waste management**, v. 48, p. 165-173, out. 2016.

MUSCOPE, F. P. **Compostagem de resíduos agroindustriais através da inoculação de microrganismos eficientes**: uma alternativa para a compostagem em pequena escala.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2017. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/897/1/MUSCOPE.PDF>. Acesso em: 15 ago. 2020.

NUNES, M. U. C. **Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade**. Circular técnica 59 EMBRAPA. Aracaju, 2009. Disponível em: <[http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes\\_2010/ct\\_59.pdf](http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/ct_59.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2020.

OLIVEIRA, E. C. A. de; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Piracicaba: Universidade de São, 2008. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem\\_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2020.

PANISSON, R. **Avaliação de diferentes processos de compostagem em pequena escala com adição de microrganismos eficientes**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2017. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/1781/1/PANISSON.pdf>. Acesso em: 18 set. 2020.

PAREKH, S. A.; MEHTA, M. J. Vermicomposting as sustainable option for organic waste management. **International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering**, Surat, v. 2, n. 1, p. 13-20, set. 2015.

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

PEREIRA, R. A. **Compostagem em pequena escala e uso do composto como substrato na germinação de sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum*)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2013. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/701>. Acesso em: 15 ago. 2020.

PROCHÁZKOVÁ, P. et al. Contribution of *Eisenia andrei* earthworms in pathogen reduction during vermicomposting. **Environmental Science and Pollution Research**, Alice, v. 25, p. 26267-26278, jul. 2018.

RICCI, M. dos S. F. **Manual de vermicompostagem**. Porto Velho: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1996.

SARAIVA et al. Valorização de resíduos agroindustriais: fontes de nutrientes e compostos bioativos para a alimentação humana. **PubSaúde**, v. 1, p. 1-10, nov. 2018.

SCHUELER, A. S. de.; MAHLER, C. F.; GUIÃO JUNIOR, R. Compostagem. In: MAHLER, C. F. (Org.). **Lixo Urbano: o que você precisa saber sobre o assunto**. Rio de Janeiro: FAPERJ, 2012.

SILVA et al. Análise da viabilidade técnica da compostagem para produção de adubo orgânico. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, p. 182-191, fev./mar. 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**, Queensland, v. 28, p. 872-881, set. 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.

SPADOTTO, C.; RIBEIRO, W. C. **Gestão de resíduos na agricultura e na agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006.

SOUZA, et al. Análise dos principais parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, p. 94-212, 2020.

SUN, Q. et al. Effect of cold-adapted microbial agent inoculation on enzyme activities during composting start-up at low temperature. **Tecnologia Bioresource**, Harbin, v. 244, n.1, p. 635-640, nov. 2017.

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, p. 99-107, fev. 2008.

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. Disponível em:  
[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4344/8/CT\\_PPGFCET\\_M\\_Torezin%2C%20Aline%20Ferreira\\_2019.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4344/8/CT_PPGFCET_M_Torezin%2C%20Aline%20Ferreira_2019.pdf). Acesso em: 11 out. 2020.

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

VALENTE, J. M. L. D. **Subprodutos alimentares: novas alternativas e possíveis aplicações farmacêuticas**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2015. Disponível em: [https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/5312/1/PPG\\_23519.pdf](https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/5312/1/PPG_23519.pdf). Acesso em: 25 set. 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. Disponível em: <http://cobesa.com.br/2016/download/cobesa-2016/IVCOBESA-133.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

VICENTINI, L. S. et al. Utilização de microorganismos eficazes no preparo da compostagem. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 3367-3370, nov. 2009.

ZANETTE, P. H. de O. Estudo de viabilidade da compostagem de resíduos orgânicos do restaurante universitário do Campus 2 da USP São Carlos. *In: 7º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos*, 7., 2016, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Auditório Mondercil Paulo de Moraes, 2016, p. 1-8. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/21>. Acesso em: 12 out. 2020.