

Vermicompostagem de lodo de curtume associado a diferentes substratos

Ananda Helena Nunes Cunha¹, Eliana Paula Fernandes¹, Fernando Godinho de Araújo¹,
Guilherme Malafaia¹ & Jonas Alves Vieira Correio³

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a vermicompostagem de lodo de curtume misturado com diferentes substratos em diferentes proporções, com o intuito de produzir vermicompostos com alta qualidade nutricional, como tecnologia de tratamento desses resíduos. Para isso foi misturado ao lodo de curtume (lodo primário - LC) os substratos: esterco bovino (EB), cama de frango (CF), casca de arroz (CA) e cinza de cana (CC). Os tratamentos foram assim constituídos: T1 = 0% de LC+EB; T2 = 0% de LC+CF; T3 = 0% de LC+CA; T4 = 0% de LC+CC; T5 = 25% de LC+EB; T6 = 25% de LC+CF; T7 = 25% de LC+CA; T8 = 25% de LC+CC; T9 = 50% de LC+EB; T10 = 50% de LC+CF; T11 = 50% de LC+CA e T12 = 50% de LC+CC em base seca. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado obtendo doze tratamentos com sete repetições. As minhocas (*Eisenia foetida*) foram monitoradas durante 75 dias e a umidade do substrato foi mantida em torno de 40%. Os substratos foram quimicamente caracterizados no início e ao final do processo de vermicompostagem. Os resultados demonstraram que a maioria dos parâmetros avaliados nos tratamentos apresentou diferenças estatísticas dentro de cada período entre os tratamentos, assim como a comparação feita entre os valores inicial e final. As concentrações finais das variáveis N, P, K, Ca, Mg e S se apresentaram, em geral, maiores que as concentrações iniciais para todos os tratamentos, favorecendo um destino final ambientalmente adequado ao lodo de curtume. Em geral, os vermicompostos apresentaram relação C/N, cromo, nitrogênio e pH adequados às especificações técnicas da Instrução Normativa do MAPA e Resolução do CONAMA. Conclui-se que a vermicompostagem pode ser adotada como biotecnologia de destinação final do lodo de curtume, incorporando valor nutricional, de qualidade agrônômica, principalmente em doses menores (25%).

Palavras-chave: Biotecnologia, composto orgânico, resíduo industrial, minhocas.

Vermicomposting of tannery sludge associated with different substrates

ABSTRACT

the objective of this study was to evaluate the tannery sludge vermicompost mixed with different substrates in different ratios, in order to produce vermicompost with high nutritional quality, such as waste treatment technology. For this it was mixed with tannery sludge (primary sludge - LC) substrates: manure (EB), chicken litter (CF), rice husk (CA) and cane gray (CC). The treatments were: T1 = 0% LC + EB; T2 = 0% LC + CF; T3 = 0% LC + CA; T4 = 0% LC + CC; T5 = 25% LC + EB; T6 = 25% LC + CF; T7 = 25% LC + CA; T8 = 25% LC + CC; T9 = 50% LC + EB; T10 = 50% LC + CF; T11 = 50% LC + CA and T12 = 50% LC + CC dry basis. The experimental design was completely randomized getting twelve treatments with seven repetitions. Earthworms (*Eisenia foetida*) were monitored for 75 days and the humidity of the substrate was kept around 40%. The substrates were chemically characterized at the beginning and the end of the vermicomposting process. The results demonstrated that the most of the parameters evaluated in the treatments presented statistical differences within each period between treatments, as well as the comparison made between the initial and end values. The final concentration of the variables N, P, K, Ca, Mg and S are presented, in general, larger than the initial concentration for all treatments, favoring a final destination environmentally suitable to the tannery sludge. In general, the vermicomposts had C/N, chromium, nitrogen and pH considered appropriate to MAPA and CONAMA specifications. It concludes that vermicomposting can be adopted as biotechnology disposal of tannery sludge, incorporating nutritional value of agronomic quality, especially at lower doses (25%).

Keywords: Biotechnology, organic compost, industrial waste, earthworms

Autor para correspondência: Ananda Helena Nunes Cunha - E-mail: analena23@gmail.com

Recebido em: 23 mai. 2015 - **Aceito em:** 26 jun. 2015

Editor responsável: Profa. Dra. Aline Sueli de Lima Rodrigues

¹Universidade Federal de Goiás, GO, Brasil

²Instituto Federal Goiano – Câmpus Urutaí, GO, Brasil.

³Universidade Estadual de Goiás, GO, Brasil.

INTRODUÇÃO

No processo de mudança cultural, surgem oportunidades de negócios sustentáveis e lucrativas. Um deles é o aproveitamento de resíduos industriais, em função dos desequilíbrios climáticos causados pela interferência excessiva do homem na natureza, e que têm gerado uma consciência ambiental mais ativa e exigente da sociedade (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas, 2014). Trata-se do beneficiamento de materiais descartados de um processo industrial para obtenção de um novo produto, que passa a ser uma preocupação ambiental de diminuição de resíduos ou destinação final destes resíduos que se elevam com as atividades urbana e industrial.

Com o aumento das atividades urbana e industrial, é notório a problematização em torno da geração de resíduos derivados destas atividades. Em oposição às comodidades da sociedade moderna, os problemas causados por esses resíduos constituem uma séria ameaça à qualidade de vida atual (Silva et al., 2012). Dentre os tipos de resíduos gerados, destacam-se os lodos de curtume.

No tratamento de resíduos, como lodo de curtume, a vermicompostagem se destaca como prática de baixo custo e é uma tecnologia na qual se utiliza minhocas para a produção do composto orgânico (Antoniolli et al., 2002). Minhocas da espécie *E. foetida*, conhecidas como “Vermelhas da Califórnia” têm sido uma das mais utilizadas na vermicompostagem e componentes orgânicos. Estas apresentam elevada capacidade de proliferação, adapta-se melhor ao cativeiro, produzindo húmus em menor tempo, crescimento rápido e habilidade de transformar diversos tipos de resíduos orgânicos (Aquino & Nogueira, 2001; Landgraf et al., 2005).

Dentre os resíduos industriais que já foram vermicompostados e transformados em compostos ricos em nutrientes, destacam-se aqueles provenientes da produção de papel (Kaur et al., 2010), lodos de indústrias têxteis (Garg & Kaushik, 2005), resíduos de goma guar (Suthar, 2006), lodos da indústria de açúcar (Sen & Chandra, 2007), de indústrias de bebidas (Singh et al., 2010), lodo de esgoto primário (Silva et al., 2011), resíduos de tomate fresco, pimenta e de usinas de compostagem ornamentais (Salinas-Vásquez et al., 2014) e lodo de curtume dos tipos caleiro e primário (Malafaia, 2015). Porém, da forma como proposto nesta pesquisa, com resíduos vegetais e animais para verificação de padrões de fertilidade, poucos estudos foram realizados (Silva et al., 2002; Furlan

et al., 2007; Steffen et al., 2010; Bicca et al., 2011; Melo Júnior et al., 2012).

A escolha dos substratos utilizados foi devido à grande disponibilidade destes no ambiente (Steffen et al., 2010) e, porque para as plantas, não há diferença se os nutrientes são provenientes de fertilizantes minerais ou da mineralização da matéria orgânica, contudo, a qualidade física do solo é dependente da fonte do nutriente (Melo Júnior et al., 2012). Quando a fonte é orgânica (cinza de cana-de-açúcar, casca de arroz) ou animal (esterco bovino e cama de frango), diversos benefícios à qualidade física do solo podem ser observados, cabendo destacar: melhoria na agregação, melhor equilíbrio entre macro e microporos, equilíbrio na relação sólidos e vazios do solo. Estas particularidades na verdade acabam por refletir na disponibilidade dos nutrientes bem como na facilidade de absorção destes e conseqüentemente no desenvolvimento das plantas (Steffen et al., 2010; Melo Júnior et al., 2012).

Podem ser utilizados na vermicompostagem resíduos passíveis de serem utilizados na agricultura, ou outros substratos como cinza de cana-de-açúcar (Silva et al., 2002), casca de arroz (Steffen et al., 2010), esterco bovino curtido (Furlan et al., 2007; Bicca et al., 2011) e cama de frango (Melo Júnior et al., 2012).

Em relação à vermicompostagem de lodos de curtume, poucos estudos foram publicados sobre o assunto (Bidone, 1995; Vig et al., 2011; Teixeira & Almeida, 2013; Malafaia et al., 2014 e Malafaia, 2015), os quais são carentes de informações sobre qual substrato deveria ser misturado a esses resíduos e em quais proporções, com vistas à produção de um composto de boa qualidade agrônômica e que seja viável para a produção agrícola.

O estudo da disposição final de lodo de curtume torna-se necessário, devido às constantes exposições destes no solo. Tratar estes resíduos orgânicos e ainda manter seu potencial nutritivo, para aplicação agrícola é um desafio para a ciência, e que pode ser amenizado por meio de práticas simples e de baixo custo, como a vermicompostagem. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a vermicompostagem de lodo de curtume misturado a diferentes substratos em diferentes proporções, com o intuito de produzir compostos com alta capacidade nutricional para nutrição de plantas e com características que se ajustem às especificidades técnicas da Instrução Normativa nº 025/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Brasil, 2009) e da Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006 do

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (Brasil, 2006).

MATERIAL E MÉTODOS

O processo da vermicompostagem foi conduzido durante os meses de setembro/2014 a janeiro/2015, em local coberto, ventilado e com temperatura (°C) e umidade relativa do ar (UR%) monitoradas através de termohigrômetro digital.

A vermicompostagem dos resíduos de curtume (obtidos de uma indústria curtumeira situada em Inhumas, GO) foi realizada conforme a metodologia de Vig et al. (2011), ou seja, em vasos plásticos com capacidade de 3 L, nos quais foram adicionados 1,5 kg de substrato (em base seca). Estes substratos foram reaproveitados como forma de contribuição na redução de impactos ambientais

causados pela deposição destes, e por apresentarem elevados teores de potássio, fósforo, cálcio e magnésio, sendo utilizados como suplemento nutricional (Piva et al., 2013). Os tratamentos foram: lodo de curtume (LC) + esterco bovino (EB) curtido; LC + cama de frango (CF); LC + casca de arroz (CA) e LC + cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CC).

Foi realizada a caracterização físico-química e química (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, C/N, Cr e pH em água), inicial e final (após 75 dias), dos substratos separadamente e dos tratamentos (Tedesco et al., 1995). A caracterização química inicial do lodo de curtume, bem como dos substratos utilizados no experimento, podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características químicas dos substratos e do lodo de curtume utilizados na vermicompostagem. Urutaí, GO, 2015.

Atributos	Esterco bovino	Cama de frango	Casca de arroz	Cinza de cana	Lodo de curtume
pH (H ₂ O)	8,60	7,8	6,20	10,60	8,00
N (dag kg ⁻¹)	1,82	4,56	1,01	0,42	0,98
P (dag kg ⁻¹)	1,03	2,23	0,26	0,83	0,78
K (dag kg ⁻¹)	1,28	1,30	0,98	1,46	0,82
Ca (dag kg ⁻¹)	2,07	6,13	0,19	4,75	15,71
Mg (dag kg ⁻¹)	0,39	0,32	0,14	0,39	0,18
S (dag kg ⁻¹)	0,50	0,10	0,30	0,40	0,80
Fe (g kg ⁻¹)	8,44	1,44	0,20	9,79	8,78
Mn (mg kg ⁻¹)	180,00	460,00	277,00	632,00	150,00
Zn (mg kg ⁻¹)	54,30	84,40	21,60	36,20	44,70
Cr (mg kg ⁻¹)	0,60	0,60	0,40	1,20	17,30
C/N	12,17	5,11	18,51	14,76	6,32

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) com sete repetições, totalizando oitenta e quatro unidades experimentais instaladas no Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí (Goiás, Brasil). Os tratamentos foram constituídos das misturas entre o lodo de curtume e os substratos (esterco bovino, cama de frango, casca de arroz e cinza de cana), conforme Tabela 2.

Antes da realização das misturas mencionadas anteriormente, todos os resíduos foram secos e passados em peneira com malha de 8 mm, visando maior uniformização do tamanho das partículas e eliminação de materiais indesejáveis para o bom desempenho do processo de vermicompostagem. O local definido para desenvolvimento do vermicomposto foi adaptado com pouca luz e arejado para facilitar a manutenção da umidade do substrato.

Tabela 2. Proporções das misturas de lodo de curtume e dos substratos escolhidas para o processo de vermicompostagem. Urutaí, GO, 2015.

Tratamentos	Proporções (%)	
	Lodo de curtume	Substratos
T1	0	100 EB
T2	0	100 CF
T3	0	100 CA
T4	0	100 CC
T5	25	75 EB
T6	25	75 CF
T7	25	75 CA
T8	25	75 CC
T9	50	50 EB
T10	50	50 CF
T11	50	50 CA
T12	50	50 CC

Legenda: EB=esterco bovino; CF=cama de frango; CA=casca de arroz; CC=cinza de cana.

Após um período de 30 dias, necessário para estabilização da mistura (após o processo de

fermentação ou mesmo por se apresentar tóxica) (Alves, 1998; Vig et al., 2011), 20 indivíduos adultos da espécie *E. foetida*, conforme recomendado por Landgraf et al., 2005, foram inoculados em cada unidade experimental, mantendo-se a umidade de 40% (Dores-Silva et al., 2011). Os vasos foram cobertos com sombrite (tela plástica para sombreamento) para manter as minhocas no local, evitando possíveis fugas destas, permitindo maior aeração do substrato, como descrito por Malafaia (2015).

Todas as análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Análise de Solo e Foliar da Escola de Agronomia (Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil). Os dados obtidos referentes às concentrações iniciais e finais dos vermicompostos foram avaliados quanto à normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk. Após avaliação da normalidade, os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as comparações entre as médias dos tratamentos foram realizadas pelo teste de Tukey a 5%. As concentrações iniciais e finais dos parâmetros químicos e, ou, físico-químicos dos vermicompostos foram comparadas pelo teste t de *Student* a 5% de probabilidade.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2011). Os dados foram comparados aos critérios técnicos para fertilizante orgânico composto, definidos pela Instrução Normativa nº 025/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Brasil, 2009) e da resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (Brasil, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As minhocas foram retiradas dos vasos após 75 dias do início do processo de vermicompostagem, pois os tratamentos T8 (25% LC + 75% CC) e T12 (50% LC + 50% CC) apresentaram queda no quantitativo de indivíduos. Assim, os demais tratamentos também foram interrompidos, afim de observar o processo no mesmo tempo de compostagem, ou seja, para que não houvesse favorecimento em nenhum tratamento, assim como também explicado por Landgraf et al. (2005) que justifica a reprodução interrompida após 60 dias pelo efeito dos metais sobre as minhocas.

No tratamento T4 (0% LC + 100% CC) as minhocas suportaram apenas 20 dias, sugerindo a exclusão deste tratamento para o processo de vermicompostagem, já que este não se apresentou satisfatório para o desenvolvimento dos indivíduos. O fato deste tratamento ser composto de 100% de cinza de bagaço de cana-de-açúcar pode ter

indicado alguma reação tóxica, mesmo após a maturação da mistura, que, como verificado por Alves (1998), é necessário deixar em repouso durante alguns dias. O substrato se apresentou inviável ao desenvolvimento da minhoca, o que não foi verificado ao fornecer cinza vegetal para produção de alface (Darolt et al., 1993), mudas de goiabeira (Prado et al., 2003) e uva (Piva, 2011), ou seja, a produção foi favorecida pelo fornecimento de cinza, provavelmente pela fonte de origem da cinza ou composição desta diferenciada do substrato utilizado.

A temperatura do ar medida ficou entre 22 °C (mínima) e 35 °C (máxima), com média de 28 °C. Já a UR (%) foi registrada entre 27 e 83%, mínima e máxima, respectivamente, com média de 52%.

Nos tratamentos T2 (0% LC + 100% CF), T6 (25% LC + 75% CF) e T10 (50% LC + 50% CF) as minhocas morreram nas primeiras 24 horas após a introdução das mesmas nos vasos, fato que pode ser explicado pela toxicidade dos substratos em reação com o lodo de curtume. Comportamentos similares foram observados por Malafaia (2015), que identificou concentração elevada de nutrientes, como aqueles advindos de compostos alcalinos encontrados em excesso nos lodos de curtume, os quais podem ter comprometido a sobrevivência das minhocas. Os tratamentos T2 (0% LC + 100% CF), T6 (25% LC + 75% CF) e T10 (50% LC + 50% CF) eram constituídos de cama de frango, e a alta concentração inicial de nitrogênio (Tabela 1), quando comparado aos demais substratos, pode ter sido a causa da mortalidade das minhocas. Provavelmente a cama de frango utilizada não estava maturada a ponto de ser utilizada, e pode ter alterado e indisponibilizado o nitrogênio, pois, como observado por Landgraf et al. (2005), as minhocas propiciam a mineralização de nitrogênio a formas que são facilmente assimiláveis pelos vegetais.

Como observado na Tabela 3, apenas o atributo N não apresentou diferença estatística, inicialmente, entre os tratamentos. Os valores encontrados para o atributo N nos tratamentos T3 (0% LC + 100% CA) e T5 (25% LC + 75% EB) (iniciais) se aproxima do encontrado por Alves (1998), que foi de 2,5 % em vermicomposto de esterco bovino após três meses avaliado como potencial fertilizante.

Na Instrução Normativa nº 025/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Brasil, 2009), o valor de N não deve ser menor que 5 g dm⁻³ (0,5 dag kg⁻¹), ou seja, todos os vermicompostos apresentaram valores acima do permitido, ou seja, possuem possibilidade de utilização agrícola como fonte alternativa de N.

A maioria dos parâmetros avaliados nos tratamentos apresentou diferenças estatísticas dentro de cada período entre os tratamentos, assim como a comparação realizada entre os valores inicial e final. As concentrações finais dos atributos N, P, K, Ca, Mg e S se apresentaram, em geral, maiores que as concentrações iniciais para todos os tratamentos, demonstrando maturação do vermicomposto, bem como potencial nutritivo (Silva et al., 2011).

As concentrações finais para os atributos P e K (Tabela 3) foram elevadas quando comparados com as concentrações iniciais, demonstrando viabilidade de utilização do vermicomposto em escala agrícola, como fornecedores alternativos de nutrientes, conforme discutidos por Piva et al.

(2013) ao apresentarem elevados teores de potássio e fósforo.

Nos atributos P e K não foram observadas diferenças estatísticas dentro de cada período estudado. O tratamento T5 (25% LC + 75% EB) apresentou valores maiores tanto para o P quanto para o K ao se compararem valores dentro dos tratamentos, enquanto que os tratamentos T7 (25% LC + 75% CA) (0,55 dag kg⁻¹ e 0,42 dag kg⁻¹) e T11 (50% LC + 50% CA) (0,53 dag kg⁻¹ e 0,27 dag kg⁻¹) apresentaram menores valores dentro dos tratamentos (K).

Tabela 3. Concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nos substratos, inicialmente, e nos vermicompostos ao final do processo de vermicompostagem com *E. foetida*. Urutaí, GO, 2015.

Trat ¹	Atributos					
	N (dag kg ⁻¹)		P (dag kg ⁻¹)		K (dag kg ⁻¹)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
T1	1,48aB	2,03aA	1,18abB	1,52aA	1,10aB	1,64abA
T3	2,71aA	1,36abB	0,29cB	0,32cA	0,79abA	0,59cdB
T5	2,35aA	1,69abB	1,36aA	1,24aA	1,11aB	1,44bA
T7	1,17aA	1,04abB	0,39cB	0,44bcA	0,55bA	0,42dA
T8	0,91aA	0,59bB	0,85bA	1,12abA	1,19aB	2,26aA
T9	1,77aA	1,62abB	0,96bB	1,31aA	0,78abB	1,09bcA
T11	1,27aA	1,01abB	0,46cB	0,81abcA	0,53bA	0,27dB
T12	1,21aA	0,85abB	0,94bB	1,03abcA	0,88abB	1,48bA
Trat ¹	Ca (dag kg ⁻¹)		Mg (dag kg ⁻¹)		S (dag kg ⁻¹)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
	T1	2,58bA	1,48eA	0,41aB	0,53aA	0,35abA
T3	1,50bA	0,44eB	0,16cB	0,19bcA	0,20bA	0,02eA
T5	5,24abB	5,35cdA	0,37abB	0,46aA	0,26abA	0,02eB
T7	1,70bB	4,22dA	0,17cA	0,15cB	0,15bB	0,27dA
T8	4,82abB	5,96bcA	0,45aB	0,52aA	0,25bB	0,45aA
T9	6,67abB	9,26aA	0,30bB	0,36abcA	0,50aA	0,42bA
T11	4,9abB	7,47bA	0,18cA	0,15cB	0,20bB	0,44abA
T12	10,9aA	9,10aB	0,39abB	0,40abA	0,30abB	0,35cA

¹Tratamentos. *Médias na coluna para tratamentos e período (inicial e final), seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey (p<0,05) (letras minúsculas), e na linha para cada tratamento, seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste t de Student (p<0,05) (letras maiúsculas). Legenda: T1: 100% de esterco bovino; T3: 100% de casca de arroz; T5: 25% de lodo de curtume e 75% de esterco bovino; T7: 25% de lodo de curtume e 75% de casca de arroz; T8: 25% de lodo de curtume e 75% de cinza de cana; T9: 50% de lodo de curtume e 50% de esterco bovino; T11: 50% de lodo de curtume e 50% de casca de arroz e T12: 50% de lodo de curtume e 50% de cinza de cana.

As concentração de Ca, Mg e S (Tabela 3) se destacam na comparação entre os períodos, que, apenas os tratamentos T3 (0% LC + 100% CA) e T12 (50% LC + 50% CC) diminuíram as concentrações de Ca (período inicial e final), os tratamentos T7 (25% LC + 75% CA) e T11 (50% LC + 50% CA) diminuíram as concentrações de Mg, e T1 (0% LC + 100% EB) e T5 (25% LC + 75% EB) diminuíram os teores de S. Estes resultados demonstram que o lodo de curtume pode ser vermicompostado e, além de ter

uma solução para a destinação final do lodo de curtume, diminuindo seu potencial poluidor (Stevens, 2014), ainda aumentaram seu potencial como fertilizante.

Ainda na Tabela 3, dentro dos tratamentos, podemos observar que para o atributo Ca, o T12 (50% LC + 50% CC) apresentou maior valor inicial (10,9 dag kg⁻¹) e final (9,10 dag kg⁻¹) favorecido pela interação entre maior dose de lodo de curtume (50%) e menor dose de cinza de cana (50%), o que

pode estar relacionado com a diminuição do peso do produto final, ou seja, com o processo as minhocas concentraram nutrientes no vermicomposto (Silva et al., 2002). Para a variável Mg, o T1 (0% LC + 100% EB) apresentou os maior valor inicial (0,41 dag kg⁻¹) e final (0,53 dag kg⁻¹). Já o tratamento T7 (25% LC + 75% CA) apresentou os menores valores iniciais e finais para as duas variáveis (Ca e Mg).

Desta forma, pode-se observar que a vermicompostagem tem a vantagem de disponibilizar nutrientes para as plantas, diminuindo as perdas de nutrientes quando comparado à compostagem (Ndegwa & Thompson, 2001). Como resultado da intensa digestão da matéria orgânica pelas minhocas, haverá liberação de elementos químicos, como N, P, K, Ca e Mg, os quais deixam a forma orgânica, dita imobilizada, para passarem à forma de nutrientes para as plantas. Esta transformação é denominada mineralização da matéria orgânica (Carvalho et al., 2009).

O aumento dos teores de Ca e Mg pode ser explicado pela diminuição do volume do substrato em função da capacidade de acelerar a decomposição da matéria orgânica (Aquino et al.,

1992), observando que o processo de vermicompostagem e a capacidade das minhocas de acelerar este processo, através da digestão da matéria orgânica (Carvalho et al., 2009), resultados que colaboram com os encontrados por Malafaia (2015).

As concentrações de Fe (Tabela 4) na maioria dos tratamentos apresentaram diferenças estatística entre a concentração inicial e a final, ou seja, houve diminuição da concentração do Fe (exceção dos T3 (0% LC + 100% CA) e T7 (25% LC + 75% CA)). Dentre os tratamentos, o T8 (25% LC + 75% CC) e T9 (50% LC + 50% EB) apresentaram maiores valores (período inicial), diferente dos valores do período final que obtidos em T7 (25% LC + 75% CA) e T1 (0% LC + 100% EB). Resultados indicando a estabilidade dos resíduos em relação à diminuição do teor de metais pesados (micro contaminantes como o ferro) foram encontrados por Garg & Gupta (2011) sobre vermicompostagem de resíduos de processamento vegetal para vermicompostagem de *E. foetida*, e realizados por Landgraf et al. (2005), que descrevem que as minhocas concentram os metais presentes no solo e, assim, podem ser consideradas como sumidouro de metais como o ferro.

Tabela 4. Concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) nos substratos, inicialmente, e nos vermicompostos ao final do processo de vermicompostagem com *E. foetida*. Urutaí, GO, 2015.

Tratamentos	Atributos					
	Fe (g kg ⁻¹)		Mn (mg kg ⁻¹)		Zn (mg kg ⁻¹)	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
T1	10,96abA	5,72aB	214,00cA	412,33aA	61,40aA	42,83aA
T3	0,48bB	0,94bA	313,00bcB	435,00aA	22,36dB	47,86aA
T5	12,80abA	0,11bB	268,00cB	318,67aA	62,60aB	124,90aA
T7	3,38abB	7,92aA	274,66cB	492,00aA	22,40dB	55,63aA
T8	19,22aA	0,66bB	504,66aB	516,33aA	41,35bcB	76,47aA
T9	20,82aA	0,12bB	228,66cB	287,33aA	51,10abB	105,30aA
T11	11,59abA	0,12bB	255,00cA	440,33aA	26,3cdB	28,56aA
T12	15,67abA	0,30bB	394,66abB	500,33aA	43,40bA	35,00aA

*Médias na coluna para tratamentos e período (inicial e final), seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey (p<0,05) (letras minúsculas); e na linha para cada grupo, seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste t de Student (p<0,05) (letras maiúsculas). Legenda: T1: 100% de esterco bovino; T3: 100% de casca de arroz; T5: 25% de lodo de curtume e 75% de esterco bovino; T7: 25% de lodo de curtume e 75% de casca de arroz; T8: 25% de lodo de curtume e 75% de cinza de cana; T9: 50% de lodo de curtume e 50% de esterco bovino; T11: 50% de lodo de curtume e 50% de casca de arroz e T12: 50% de lodo de curtume e 50% de cinza de cana.

As concentrações finais dos atributos Mn e Zn (Tabela 4) se apresentaram, em geral, maiores que as concentrações iniciais para todos os tratamentos, demonstrando viabilidade de fonte alternativa do vermicomposto no uso agrícola, ou

seja, o produto gerado da vermicompostagem tem a vantagem de possuir nutrientes em maior concentração do que os disponíveis no solo (Stevens, 2014).

Na resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (Brasil, 2006), o valor de Zn não deve ser maior que 2.800 mg kg⁻¹, ou seja, os valores de Zn apresentados na Tabela 4 estão dentro do valor permitido para uso do vermicomposto.

A partir dos valores de pH observados na Tabela 5, pode-se verificar que o maior valor foi obtido no tratamento T8 (25% LC + 75% CC), que difere do valor do T11 (50% LC + 50% CA), provavelmente pela composição diferenciada referente à quantidade de lodo, que neste último é

maior (50% de lodo de curtume), associado ao substrato. Comportamento também observado no valor obtido no T3 (100% de casca de arroz) com o menor pH dos tratamentos no período inicial.

É possível verificar que o pH sofreu queda nos tratamentos T7 (25% LC + 75% CA), T8 (25% LC + 75% CC) e T12 (50% LC + 50% CC), fato também observado por Malafaia (2015) que encontrou valores de pH diminuindo significativamente após o processo de vermicompostagem.

Nos demais tratamentos houve aumento significativo ao comparar as concentrações inicial e final. Neste contexto, Vig et al. (2011) relatam aumentos no pH durante a vermicompostagem de lodo de curtume, possivelmente devido à

dissolução em água da amônia oriunda do metabolismo microbiológico. Também observado por Steffen et al. (2010) o húmus apresenta a vantagem de possuir pH neutro devido às minhocas apresentarem glândulas calcíferas os quais elevam o pH deste, favorecendo a assimilação de nutrientes pelas raízes das plantas.

Os valores de pH (Tabela 5), conforme a Instrução Normativa nº 025/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2009), não devem ser menores que 6. Como visto na Tabela 5, todos os tratamentos atendem a essa exigência para vermicompostos.

Tabela 5. Concentrações de pH, cromo (Cr) e relação carbono/nitrogênio (C/N) nos substratos, inicialmente, e nos vermicompostos ao final do processo de vermicompostagem com *E. foetida*. Urutaí, GO, 2015.

Tratamentos	Atributos					
	pH		Cr (mg kg ⁻¹)		C/N	
	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
T1	8,25abB	8,43bA	0,80cA	0,50cA	12,76abA	3,39aB
T3	6,65bB	6,93dA	0,40cA	0,20cA	11,76abB	12,66aA
T5	8,16abB	8,68abA	11,50abB	15,30bcA	6,38abA	5,53aB
T7	7,45abA	7,16dB	2,85bcB	6,65bcA	15,46abB	18,62aA
T8	8,85aA	8,83aB	8,06bcB	12,55bcA	36,38aA	35,93aB
T9	8,16abB	8,40bA	13,10abB	47,36abA	5,33abB	6,69aA
T11	7,60abB	7,90cA	6,00bcB	18,60bcA	13,56abB	27,29aA
T12	8,60aA	8,45bB	19,66aB	68,23aA	3,75bB	13,21aA

*Médias na coluna para tratamentos e período (inicial e final), seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste Tukey (p<0,05) (letras minúsculas), e na linha para cada grupo, seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste t de Student (p<0,05) (letras maiúsculas). Legenda: T1: 100% de esterco bovino; T3: 100% de casca de arroz; T5: 25% de lodo de curtume e 75% de esterco bovino; T7: 25% de lodo de curtume e 75% de casca de arroz; T8: 25% de lodo de curtume e 75% de cinza de cana; T9: 50% de lodo de curtume e 50% de esterco bovino; T11: 50% de lodo de curtume e 50% de casca de arroz e T12: 50% de lodo de curtume e 50% de cinza de cana.

Para a variável Cr todos os tratamentos (exceção T1 (100% EB) e T3 (100% CA)) obtiveram teor médio menor inicialmente. Nos demais tratamentos não houve diferença entre os teores inicial e o final. O maior valor registrado no início foi no tratamento T12 (50% LC + 50% CC) (68,23 mg kg⁻¹) e os menores em T1 (100% EB) e T3 (100% CA), 0,50 e 0,20 mg kg⁻¹, respectivamente.

Como observado na Resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (Brasil, 2006), o valor de Cr não deve ser maior que 1.000 mg kg⁻¹, ou seja, os valores de Cr apresentados na Tabela 5 estão dentro do valor permitido para uso do lodo de curtume.

De acordo com estudos obtidos por Landgraf et al. (2005), as minhocas concentram os metais presentes no solo, ou seja, assim elas podem ser consideradas como sumidouro de metais tóxicos como o cromo. Fato este contradiz com os resultados observados na Tabela 5, que as concentrações finais de Cr aumentaram quando

comparados com as concentrações iniciais, ou seja, a diminuição do volume do substrato pode ter causado este aumento da concentração final comparada à concentração inicial.

A relação C/N foi aumentada nos tratamentos T3 (100% CA), T7 (25% LC + 75% CA), T9 (50% LC + 50% EB), T11 (50% LC + 50% CA) e T12 (50% LC + 50% CC) quando comparados os períodos inicial e final, o que pode ser justificado pela queda na concentração do atributo N. Como justificado por Stevens (2014), o vermicomposto necessita estar estabilizado para poder ser utilizado como adubo orgânico, e sendo assim, de acordo com Paullus et al. (2000) a estabilização do material só é garantida quando a relação C/N do vermicomposto for inferior a 18/1, sendo que o material completamente humificado apresenta relação C/N próxima de 10/1 (Kiehl, 1985). Valores para relação C/N de 27,26 foi encontrada por Alves (1998) para ácido húmico de turfa ao avaliar as propriedades físicas e químicas e o potencial fertilizante de húmus

proveniente da vermicompostagem de esterco bovino.

Os valores da relação C/N (Tabela 5) se enquadram na Instrução Normativa nº 25/2009 do MAPA (Brasil, 2009), que determina valor máximo de 14%, como exceção dos valores obtidos nos tratamentos T7 (25% LC + 75% CA), T8 (25% LC + 75% CC) e T11 (50% LC + 50% CA) (tanto no período inicial quanto no final), que corroboram com os valores observados por Malafaia et al. (2014), que não se enquadraram no limite estabelecido pela legislação brasileira.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados e de acordo com as condições experimentais pode-se concluir que:

- A vermicompostagem de lodo de curtume com adição de cama de frango se mostrou inviável, devido, provavelmente, à toxicidade do resíduo de curtume;
- Em geral, os vermicompostos produzidos por *E. foetida* apresentaram teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre que favorecem o seu uso como composto orgânico para o solo;
- A estabilidade da relação C/N indica possibilidade de uso do vermicomposto como fertilizante na agricultura, favorecendo um destino final ambientalmente adequado ao lodo de curtume. Em geral, os vermicompostos apresentaram relação C/N, cromo, nitrogênio e pH adequados às especificações técnicas da Instrução Normativa do MAPA e Resolução do CONAMA;
- A vermicompostagem pode ser adotada como biotecnologia de destinação final do lodo de curtume, incorporando valor nutricional de qualidade agrônômica, principalmente em doses menores (25%).

REFERÊNCIAS

- Alves, M. R. (1998). *Caracterização de ácidos húmicos extraídos de vermicompostos e estudo da dissipação do herbicida Alaclor em solo e em vermicomposto*. (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, Brasil.
- Antoniolli, Z. I. et al. (2002). *Minhocultura e vermicompostagem*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria.
- Aquino, A. M., Almeida, D. L., & Silva, V. F. (1992). *Utilização de minhocas na estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem*. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- Aquino, A. M., & Nogueira, E. M. (2001). *Fatores limitantes da vermicompostagem de esterco suíno e de aves e influência da densidade populacional das minhocas na sua reprodução*. Seropédica: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Bicca, A. M. O., Pimentel, E., Suñe, L., Morselli, T. B. G., & Berbigier, P. (2011). Substratos na produção de mudas de couve híbrida. *Revista FZVA*, 18 (1), 136-142. Disponível em:

<<http://revistaseletronicas.pucrs.br/ojs/index.php/fzva/article/view/8748>> Acesso em: 25/06/2015.

Bidone, F. R. A. (1995). *A vermicompostagem dos resíduos sólidos de curtume, brutos e previamente lixiviados, utilizando composto de lixo orgânico urbano como substrato*. (Dissertação de mestrado). Universidade de São Paulo, Brasil.

Brasil (2006). *Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências*, Diário Oficial da União. Brasília, Brasil: Presidência da República.

Brasil (2009). *Instrução Normativa nº 025/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA aprova as normas sobre as especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura*, Diário Oficial da União. Brasília, Brasil: Presidência da República.

Carvalho, N. L. C., Brum, T. S., Cotta, J. A. O., & Lima, E. N. (2009). Utilização de diferentes resíduos no processo de vermicompostagem e estudo da humificação. In: *I Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos*. Vitória, Brasil, 8-9 outubro 2009 (p.1-5). Vitória, Brasil: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Disponível em: <[http://www.incaper.es.gov.br/biossolido/icbro/cbro/Artigos/COMPOSTAGEM/Utilização de diferentes resíduos no processo de vermicompostagem e estudo de humificação.pdf](http://www.incaper.es.gov.br/biossolido/icbro/cbro/Artigos/COMPOSTAGEM/Utilização%20de%20diferentes%20resíduos%20no%20processo%20de%20vermicompostagem%20e%20estudo%20de%20humificação.pdf)> Acesso em: 24/06/2015.

Darolt, M. R., Blanco Neto, V., & Zambon, F. R. A. (1993). Cinza vegetal como fonte de nutrientes e corretivo de solo na cultura da alface. *Horticultura Brasileira*, 11 (1), 38-40.

Dores-Silva, P. R., Landgraf, M. D., & Rezende, M. O. (2011). Acompanhamento químico da vermicompostagem de lodo de esgoto doméstico. *Química Nova*, 34 (6), 956-961.

Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, 35 (6), 1039-1042.

Furlan, F. et al. (2007). Substratos alternativos para produção de mudas de couve em sistema orgânico. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2 (2), 1686-1689.

Garg, V. K., & Kaushik, P. (2005). Vermistabilization of textile mill sludge spiked with poultry droppings by an epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, 96 (9), 1063-1071.

Garg, V. K., & Gupta, R. (2011). Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia foetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74 (1), 19-24.

- Kaur, A., Singh, J., Vig, A. P., Dhaliwal, S. S., & Rup, P. J. (2010). Cocomposting with and without *Eisenia fetida* for conversion of toxic paper mill sludge into soil conditioner. *Bioresource Technology*, 101 (21), 8192-8198.
- Kiehl, E. J. (1985). *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba: Agr. Ceres Ltda.
- Landgraf, M. D., Messias, R. A., & Rezende, M. O. O. (2005). *A Importância ambiental da vermicompostagem: vantagens e aplicações*. São Carlos: Rima.
- Malafaia, G., Jordão, C. R., Araújo, F. G., Leandro, W. M., & Rodrigues, A. S. L. (2014). Vermicompostagem de lodo de curtume em associação com esterco bovino utilizando *Eisenia foetida*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro In press.
- Malafaia, G. (2015). *Aproveitamento de lodo de curtume e uso de água residuária de esgoto doméstico na cultura do milho (Zea mays L.)*. (Tese de doutoramento). Universidade Federal de Goiás, Brasil.
- Melo Júnior, H. B., Borges, M. V., Domingues, M. A., & Borges, E. N. (2012). Efeito da ação decompositora da minhoca californiana (*Lumbricus rubellus*) na composição química de um fertilizante organomineral. *Bioscience Journal*, 28 (1), 170-178.
- Ndegwa, P. M., & Thompson, S. A. (2001). Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology*, 76 (2), 107-112.
- Paulus, G., Muller, A. M., & Barcellos, L. A. R. (2000). *Agroecologia aplicada: práticas e métodos para uma agricultura de base ecológica*. Porto Alegre: Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural.
- Prado, R. M., Corrêa, M. C. M., Pereira, L., Cintra, A. C. O., & Natale, W. (2003). Cinza da indústria cerâmica na produção de mudas de goiabeira, efeito no crescimento e na produção de matéria seca. *Revista de Agricultura*, 78 (1), 25-35.
- Piva, R. (2011). *Adubação de videiras cultivares Isabel e Bordô (Vitis labrusca L.) para sistema orgânico de produção*. (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil.
- Piva, R., Botelho, R. V., Ortolan, C., Mülher, M. M. L., & Kawakami, J. (2013). Adubação em vinhedo orgânico da cv. Isabel utilizando cinzas vegetais e esterco bovino. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35 (2), 600-615.
- Salinas-Vásquez, F., Sepúlveda-Morales, L., & Sepúlveda-Chaves, G. (2014). Evaluacion de la calidad química del humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) elaborado a partir de cuatro sustratos orgânicos en Arica. *Revista Idesia*, 32 (2), 95-100.
- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. (2014). *Indústria de reaproveitamento de resíduos: ideias de negócios sustentáveis*. Disponível em: <<http://www.sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade/Cartilhas/Ind%C3%BAstria-de-Reaproveitamento-de-Res%C3%ADduos>> Acesso em: 14/09/2014.
- Sen, B., & Chandra, T. S. (2007). Chemolytic and solid-state spectroscopic evaluation of organic matter transformation during vermicomposting of sugar industry wastes. *Bioresource Technology*, 98 (8), 1680-1683.
- Silva, C. D. da, Costa, L. M. da, Matos, A. T. de, Cecon, P. R., & Silva, D. D. (2002). Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 6 (3), 487-491.
- Silva, R. F., Vasconcellos, N. J. S., Steffen, G. P. K., Dotto, R. B., & Grutka, L. (2011). Caracterizações microbiológicas e químicas em resíduos orgânicos submetidos à vermicompostagem. *Revista Brasileira de Agrociências*, 17 (1-4), 108-115.
- Silva, A. S. S., Souza, J. G., & Leal, A. C. (2012). Qualidade de vida e meio ambiente: experiência de consolidação de indicadores de sustentabilidade em espaço urbano. *Sustentabilidade em Debate*, 3 (2), 177-196.
- Singh, J., Kaur, A., Vig, A. P., & Rup, P. J. (2010). Role of *Eisenia fetida* in rapid recycling of nutrients from bio sludge of beverage industry. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73 (3), 430-435.
- Steffen, G. P. K., Antonioli, Z. I., Steffen, R. B., & Machado, R. G. (2010). Casca de arroz e esterco bovino como substratos para multiplicação de minhocas e produção de mudas de tomate e alface. *Acta Zoológica Mexicana*, 2, 333-343. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57515556025>> Acesso em: 24/06/2015.
- Stevens, D. (2014). *O uso da vermicompostagem para redução do cromo em lodo de curtume e após aplicação como fertilizante em cultivo de cebolinha (Allium fistulosum L.)*. (Dissertação de mestrado). Centro Universitário Univates, Brasil.
- Suthar, S. (2006). Potential utilization of guar gum industrial waste in vermicompost production. *Bioresource Technology*, 97 (18), 2474-2477.
- Tedesco, M. J., Gianello, C., Bissani, C., Bohnen, H., & Volkweiss, S. J. (1995). *Análise de solo, plantas e outros materiais* (2ª ed.). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Teixeira, P. A. C. & Almeida, T. L. (2013). Estudo da viabilidade do uso de lodo de curtume para vermicompostagem: uso agrícola. In: *V Simpósio de tecnologia em meio ambiente e recursos hídricos, Jahu*, 2013. (p.1-14). Faculdade de Tecnologia. Disponível em: <http://www.rimaeditora.com.br/12_5SIMAR.pdf> Acesso em 14/09/2014.
- Vig, A. P., Singh, J., Wani, S. H., & Dhaliwal, S. S. (2011). Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny). *Bioresource Technology*, 102 (17), 7941-7945.