

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997

v.6, n.4, p.565-571, out-dez, 2011

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

Protocolo 909 - 18/03/2010 *Aprovado em 14/06/2011

DOI:10.5039/agraria.v6i4a909

Paulo R. das D. da Silva^{1,3}

Maria D. Landgraf¹

Maria Olímpia O. Rezende^{1,2}

Avaliação do potencial agrônômico de vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial agrônômico de vermicomposto obtido a partir de lodo de esgoto doméstico e misturas de lodo de esgoto doméstico e solo, segundo os critérios do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), visando ao seu uso sustentável, isto é, transformando um resíduo indesejável em um produto comercial com valor agregado. Os resultados obtidos para os vermicompostos produzidos, se comparados com as exigências de especificações, garantias e limites de contaminantes da resolução nº 375, mostraram-se satisfatórios para pelo menos uma das misturas de lodo de esgoto doméstico e solo, evidenciando o potencial que este resíduo possui para ser utilizado como fertilizante ou condicionador de solos.

Palavras-chave: Condicionador de solo, lodo de esgoto doméstico, vermicompostagem.

Evaluation of the agronomic potential of vermicompost produced from domestic sewage sludge

ABSTRACT

The main objective of this research was to evaluate the agronomic potential of the vermicompost produced from domestic sewage sludge and mixtures of domestic sewage sludge and soil, following the criteria of the Brazilian Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply (MAPA), aiming at a sustainable use for domestic sewage sludge, transforming an undesirable residue into a valuable commercial product. The results obtained for the so produced vermicomposts, in comparison to the specifications, warranties and contaminating limits requirements of the resolution No. 375, were satisfactory for at least one of the domestic sewage sludge and soil mixtures, proving the potential of this residue for application in agriculture as fertilizer or soil conditioner.

Key words: Soil conditioner, domestic sewage sludge, vermicomposting.

¹ Universidade de São Paulo, Departamento de Química e Física Molecular, Av. Trabalhador São-carlense, 400, Centro, CEP 13560-970, São Carlos-SP, Brasil. Caixa Postal 780. Fone: (16) 3373-9972. Fax: (16) 3373-9985.

E-mail: mrezende@iqsc.usp.br;

tortuga_sc@hotmail.com; landgraf@iqsc.usp.br

² Bolsista de Doutorado do CNPq

³ Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional requer aumento da produtividade agrícola, devido à maior demanda por alimentos e fibras, por um lado, e pela diminuição das áreas agricultáveis devido à construção de moradias, por outro lado. Como consequência, a aplicação de grandes quantidades de fertilizantes, sejam estes sintéticos, orgânicos ou organominerais, é requerida.

Tais fertilizantes devem ser adicionados de forma a atender os critérios econômicos e conservar a fertilidade do solo, mantendo ou elevando a produtividade do solo sem menosprezar os impactos ambientais que doses elevadas podem causar.

Os fertilizantes são definidos como substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, que fornecem um ou mais nutrientes para plantas (Brasil, 2004). Estima-se que no Brasil, os gastos com fertilizantes na agricultura chegam a US\$ 15 bilhões por ano. Este fato deve-se, principalmente, à pequena produção de fertilizantes no país, pois a maioria destes compostos é importada. No período de janeiro a maio de 2009, o Brasil importou aproximadamente 2,4 milhões de toneladas de fertilizantes sintéticos (MAPA, 2009).

No Brasil, as previsões realizadas até 2019 são de que a área cultivada de soja deverá crescer 5,2 milhões de hectares em relação a 2008; a área de milho, 1,75 milhão de hectares; a área de cana-de-açúcar deve crescer 6,0 milhões de hectares; e as áreas de arroz e trigo devem também aumentar. No total das lavouras analisadas, o Brasil deverá ter um acréscimo de área cultivada da ordem de 15,5 milhões de hectares nos próximos anos (MAPA, 2009), o que leva a um aumento no consumo de fertilizantes e corretivos utilizados para melhorar a fertilidade do solo.

Analisando esses dados, pode-se inferir a importância do desenvolvimento de novos fertilizantes que sejam mais econômicos e que possam ser produzidos em território nacional. Dentro deste panorama, a utilização de fertilizantes orgânicos, simples, mistos e compostos, produzidos a partir de resíduos orgânicos sem valor agregado e que inicialmente seriam um problema ambiental, representa uma alternativa de grande sustentabilidade.

O lodo de esgoto doméstico (LED) é um resíduo gerado durante os processos de tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamento de Esgotos (Bidone & Povinelli, 1999; Andreoli, 2001). Dentre os muitos processos de disposição final do LED, destaca-se a reciclagem agrícola pela sua adequação sanitária e ambiental (Guerrini & Trigueiro, 2004). Porém, o LED contém uma grande variedade de organismos, que podem ser desde simples agentes decompositores até microrganismos patogênicos, como bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Os organismos patogênicos são responsáveis pela disseminação de doenças e podem ser transmitidos via contato direto com o lodo, água e solo (Guerrini & Trigueiro, 2004).

Há muitos processos disponíveis para a desinfecção do LED. Entretanto, não há um processo universalmente aceito que seja ideal para a maioria das situações, como há para a desinfecção da água. Dentre as alternativas mais econômicas

de higienização está a calagem. O fundamento do processo é simples: consiste em adicionar a cal (CaO) ao lodo até atingir pH 12 ou superior, promovendo a destruição de microrganismos patogênicos, diminuição do odor gerado pelo lodo e fixação de elementos tóxicos (Andreoli, 2001).

Algumas características físicas e químicas do lodo são alteradas pela adição da cal. Fisicamente, o lodo pode formar uma capa mais dura e branca ao ser exposto ao ar livre, devido à reação de CaO com o CO₂ atmosférico, formando CaCO₃. Quimicamente, além da fixação dos elementos tóxicos, pode haver insolubilização do fósforo e perdas de nitrogênio por volatilização da amônia (Andreoli, 2001). Além dos custos ambientais da utilização da cal na desinfecção do LED, destaca-se também o custo econômico; para a desinfecção de 100 kg de LED são necessários 40 kg de cal, onerando o processo tanto pela aquisição da cal quanto pelo transporte do LED tratado.

Neste contexto alguns processos biológicos podem ser utilizados na desinfecção do LED como, por exemplo, a compostagem realizada por microrganismos autóctones. Durante a etapa termofílica desse processo os microrganismos patogênicos podem ser eliminados. Entretanto, a possível existência de elementos tóxicos não permite que esta técnica seja utilizada universalmente, uma vez que os microrganismos não têm a habilidade (na maioria dos casos) de fixar os elementos tóxicos e torná-los indisponíveis para o meio. Outro processo biológico que pode ser uma alternativa para a desinfecção do LED é a vermicompostagem (Maiola, 2002; Begum & HariKrishna, 2010; Zularisam et al., 2010, Rodríguez-Canché et al., 2010).

A vermicompostagem é o processo de transformação de matéria orgânica recente em matéria orgânica estabilizada, via a ação das minhocas em conjunto com a flora que vive em seu trato digestivo (Landgraf et al. 2005). Esta técnica vem sendo largamente utilizada na estabilização da matéria orgânica em curto espaço de tempo (Maboeta & Rensburg, 2003; Campitelli & Ceppi, 2008).

O MAPA considera o vermicomposto como um fertilizante orgânico composto, resultante da digestão da matéria orgânica proveniente de esterco, restos vegetais e outros resíduos orgânicos, pelas minhocas. Seguindo-se os critérios do MAPA, o vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico seria um fertilizante orgânico composto classe D, proveniente do sistema de tratamento de esgotos sanitários.

Para serem utilizados como fertilizante, os vermicompostos devem apresentar limites de contaminantes dentro dos estabelecidos pelo MAPA, além de atender às especificações e garantias mínimas, sendo assim, um produto de utilização possível na agricultura. Há, também, a resolução CONAMA número 375, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto doméstico gerados em estações de esgoto sanitário (Brasil, 2006).

O vermicomposto tem sido visto como uma alternativa de grande sustentabilidade, pois é um material rico em nutrientes utilizáveis pelas plantas, podendo ainda ser usado como fertilizante e condicionador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, desde que se enquadre dentro dos

limites de uso seguro. (Matos, 2003; Walkowiak, 2007, Sinha et al., 2010)

O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial agrônomico do vermicomposto obtido a partir de lodo de esgoto doméstico e misturas de lodo de esgoto doméstico e solo, segundo os critérios do MMA, visando à sua destinação sustentável e, portanto, ambientalmente correta.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta das amostras

As amostras utilizadas foram coletadas na Estação de Tratamento de Esgoto de Água Vermelha, distrito de São Carlos, SP, gerenciada pelo SAAE - São Carlos. Essa coleta foi realizada a partir do lodo de esgoto doméstico *in natura*, previamente seco, com cerca de 40% de umidade. Para o processo de vermicompostagem foram utilizados, aproximadamente, 60 kg desse material.

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Água Vermelha está situada no distrito de Água Vermelha, em São Carlos (SP), na sub-bacia do ribeirão Araras, afluente do rio Mogi-Guaçu. O distrito de Água Vermelha possuía em 2003 aproximadamente 630 habitantes, 10 unidades comerciais e 3 industriais, sendo 1 de fabricação de artefatos de cimento e 2 unidades de uma indústria de fabricação de peças metálicas. Nessa ETE também é atendida a unidade da empresa TAM – Linhas Aéreas, com aproximadamente 800 funcionários, sendo, porém, tratados apenas seus efluentes domésticos, cuja vazão corresponde a aproximadamente 30 % da vazão total afluente à ETE.

A ETE Água Vermelha é constituída de grade fina de limpeza manual, caixa de areia, medidor de vazão tipo Parshall, poço pulmão, reator anaeróbio de manta de lodo (UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket), biofiltro aerado submerso (BAS), dispositivo de desinfecção dos esgotos por ultravioleta (UV), leito de secagem de lodo e escada hidráulica. Para a melhor compreensão da ETE Água Vermelha, seguem alguns dados operacionais médios, a saber: vazão média = 8,15 L s⁻¹; ou 700 m³ dia⁻¹; TDH = 8 h; DQO = 600 mg L⁻¹; DBO = 300 mg L⁻¹ e COV = 2,88 kg DQO m⁻³ dia⁻¹.

Preparo do vermicomposto

A vermicompostagem foi desenvolvida em três caixas de compensado, não herméticas, de 0,70 m de comprimento, 0,70 m de largura e 0,70 m de altura, e a cada uma delas foram adicionados 60 L de uma mistura de lodo de esgoto doméstico (com 40% de umidade) e solo nas seguintes proporções: 100% lodo de esgoto doméstico (A), 75% de lodo de esgoto doméstico e 25% de solo (B) em volume e 50% lodo de esgoto doméstico e 50% solo (C) em volume. Essas misturas foram executadas para avaliar a viabilidade do uso do lodo de esgoto puro. Após uma íntima homogeneização das misturas, amostras de 200 g foram retiradas para a caracterização físico-química inicial. O solo utilizado nas misturas também foi caracterizado.

Posteriormente, foram inoculadas aproximadamente 1000 minhocas por m² da espécie *Eisenia foetida*, em condições de umidade e temperatura controladas para a adaptação das minhocas (Kiehl, 1985). Após 90 dias de vermicompostagem, as amostras de vermicomposto foram coletadas e divididas em subamostras de 200 g, para as determinações físico-químicas.

As amostras de vermicomposto foram caracterizadas quanto ao teor de umidade, pH, carbono orgânico total (COT), quantidade de nitrogênio total (NT), presença de elementos químicos como, cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), e selênio (Se), concentração de organismos patogênicos, como os ovos de helmintos viáveis, determinação da capacidade de troca catiônica (CTC), razão C/N e CTC/C.

Os resultados obtidos para os três vermicompostos produzidos foram comparados com as especificações e garantias mínimas e limites máximos para contaminantes, segundo os critérios do MAPA.

Metodologia analítica

No decorrer dos 90 dias de vermicompostagem, determinou-se diariamente a temperatura. Essas determinações foram realizadas sempre às 11 horas, no centro das caixas, com o auxílio de um termômetro.

Para o cálculo do teor de umidade, foram pesados 10,00 g de vermicomposto em um cadinho de porcelana aferido. As amostras ficaram em estufa por 12 horas até peso constante, a 60-65°C (para a determinação da umidade a 65°C) e terminado este tempo, mais 12 horas a 105-110°C até peso constante (para a determinação da umidade total). Após o aquecimento, as amostras foram resfriadas em dessecador, até temperatura ambiente, e pesadas. O cálculo das umidades seguiu a equação 1.

$$U = 100 \frac{m^o - m}{m^o} \quad (1)$$

em que U = umidade; m^o = massa inicial da amostra; m = massa da amostra após 65°C (ou 110°C).

O pH foi determinado após mistura de 5,0 g de vermicomposto ou matriz inicial a 50 mL de solução 0,01 mol L⁻¹ de CaCl₂. Essa suspensão foi homogeneizada e agitada ocasionalmente, e, após 30 min, determinou-se o pH com auxílio de um pHmetro (APHA, 2005).

A determinação do COT foi realizada submetendo-se cerca de 100 mg da amostra à combustão catalítica a 680°C. O equipamento Shimadzu modelo TOC-V_{CPH}, equipado com detector de espectroscopia de infravermelho foi utilizado na quantificação do COT.

Para a determinação do NT a amostra foi aquecida a 320°C, com H₂SO₄ concentrado e H₂O₂ 30% (v/v) até a completa digestão. A determinação do nitrogênio foi realizada no equipamento Hach, pelo método 399 Nitrogênio Kjeldahl total (Cotta et al., 2007). Para a determinação da CTC potencial (bases trocáveis) a uma porção de 7,5 g do vermicomposto adicionaram-se 150 mL de solução de KCl 1,0 mol L⁻¹, sob agitação. Após repouso de 12 horas, foram determinadas as quantidades de cálcio e magnésio liberados no sobrenadante. Para tanto, foi incorporado a essa mistura um coquetel tampão

e 4 gotas de negro-de-eriocromo-T, titulando-se imediatamente com solução de EDTA dissódico 0,0125 mol L⁻¹ até viragem da cor vermelho-arroxeadada para azul puro ou esverdeado. O coquetel tampão é constituído por uma mistura de NH₄Cl, NH₄OH, MgSO₄, EDTA dissódico, trietanolamina e KCN. O teor de cálcio e magnésio (em cmol_c kg⁻¹) é determinado pela equação 2:

$$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} = C_{\text{EDTA}} \cdot V_{\text{EDTA}} \cdot 100/m \quad (2)$$

em que: C_{EDTA} = concentração (em mol L⁻¹) da solução de EDTA; V_{EDTA} = volume (em mL) de EDTA titulado; m = massa (em gramas) da amostra.

O teor de cálcio foi determinado de forma semelhante ao procedimento de determinação conjunta de cálcio e magnésio, apenas substituindo-se o coquetel tampão por 2 mL de trietanolamina e 2 mL de solução de KOH 10%, e o negro de eriocromo-T por ácido calcon carbônico. A viragem ocorre de vermelho intenso para azul intenso. O teor de magnésio é calculado por diferença.

À outra porção de vermicomposto foram adicionados 100 mL de solução de HCl 0,05 mol L⁻¹, agitando-se a mistura várias vezes ao dia. Após repouso durante uma noite, foram determinadas as quantidades de sódio e potássio no sobrenadante, via fotômetro de chama.

A razão C/N foi determinada dividindo-se a razão atômica de COT pela razão atômica de NT.

Determinação da quantidade de ovos de helmintos viáveis

O método utilizado foi o da sedimentação, que consiste em ressusender, inicialmente, o sedimento com solução de Na₂SO₄ 33% (m/v) e posterior sedimentação com solução de H₂SO₄ 0,1 mol L⁻¹. Observa-se o sedimento em câmara de Sedgewick Rafter e determina-se a quantidade de ovos viáveis (Soccol et al., 1998).

Determinação de elementos químicos

Uma massa de 1,00 g da amostra de vermicomposto seca foi digerida com uma solução de ácido nítrico concentrado e oxidada com H₂O₂ 30% (v/v). A quantificação de Cr, Se, Cd e Pb nos vermicompostos foi realizada via espectrometria de absorção atômica, utilizando-se um aparelho Hitachi, modelo Z-8100, com polarizador Zeeman, chama de ar/acetileno.

As determinações de COT, NT, elementos químicos, concentração de organismos patogênicos e CTC foram realizadas em amostras secas a 65°C.

Com exceção da análise de ovos de helmintos viáveis e elementos químicos, todas as demais determinações foram realizadas em triplicata e para os valores numéricos, determinou-se a média aritmética e posteriormente o desvio padrão amostral. Foi realizado também o tratamento estatístico de Student, para um nível de confiança de 95% e o erro da medida foi calculado pela equação 3.

$$E = \pm(t \cdot \sigma) / \sqrt{n} \quad (3)$$

em que: E = erro; t = coeficiente de Student tabelado; σ = desvio-padrão e n = 3.

Os resíduos gerados foram encaminhados ao Laboratório de Resíduos Químicos para descarte adequado (Alberguini et al., 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização físico-química dos vermicompostos produzidos ao final dos 90 dias de vermicompostagem está apresentada na Tabela 1. Por esta caracterização podem-se comparar os vermicompostos produzidos com os substratos A, B e C e verificar a eficiência da vermicompostagem na estabilização da matéria orgânica. Para efeito de comparação, são apresentadas, também, as especificações e garantias mínimas para o vermicomposto classe D (Brasil, 2009).

Vários fatores controlam a velocidade de decomposição e a liberação de nutrientes por resíduos orgânicos. Dentre estes fatores, destacam-se o grau de humificação e a natureza química dos substratos. A composição das matérias-primas tem influência na velocidade e intensidade das transformações das frações da matéria orgânica. Vale ressaltar que não foi o objetivo deste estudo uma avaliação estatística da qualidade dos vermicompostos relacionada ao tipo de substrato utilizado como matéria-prima. O que se estudou foi a influência das minhocas no produto final.

De modo geral, para todos os vermicompostos, houve uma redução do teor COT após o processo de vermicompostagem, devido a dois principais fatores: a mineralização da matéria orgânica e a alimentação das minhocas, as quais utilizam parte do material orgânico para a constituição de sua biomassa. Uma diminuição dos valores de COT ao final do processo de vermicompostagem evidencia que houve a degradação do material original (Grigatti et al., 2004).

Os teores de NT (Tabela 1) aumentaram ao longo do tempo para os vermicompostos estudados, destacando-se o vermicomposto A, que apresentou os maiores valores ao final da vermicompostagem. Pela ação dos microrganismos que vivem no trato gastrointestinal das minhocas, há uma conversão do N presente na matéria orgânica inicial em proteínas, as quais são utilizadas para a alimentação das minhocas. Por conseguinte, a relação C/N mostrou redução significativa ao longo dos 90 dias de vermicompostagem, refletindo um bom grau de maturação.

Observa-se que a concentração de ovos viáveis de helmintos foi reduzida durante o processo de vermicompostagem (Tabela 1). Este fato deve-se ao processo de alimentação das minhocas. A minhoca alimenta-se de matéria orgânica em decomposição e, nesse processo de alimentação, engole também os microrganismos e os ovos de helmintos presentes no substrato. Ao passar pelo trato digestivo, estes microrganismos acabam morrendo, ou seja, parte dos ovos viáveis de helmintos é degradada. Apesar da ação das minhocas no lodo de esgoto, alguns autores alertam que as larvas dos helmintos eclodem e permanecem vivas nos seus tecidos, podendo servir de veículo de infecção ao homem e outros animais (Corrêa et al., 2007). Portanto, apesar de serem eficientes na eliminação de helmintos, as minhocas utilizadas como agentes de higienização devem ficar confinadas ao local de processamento dos resíduos e serem utilizadas exclusivamente para esse propósito.

O pH pode ser corrigido para 6 (Brasil, 2009) adicionando-se quantidades pequenas de CaO, o suficiente apenas para elevar o pH em cerca de 1 unidade, ou também com uma etapa

Tabela 1. Caracterização dos substratos e dos vermicompostos produzidos a partir destes substratos em comparação às especificações e garantias mínimas para o vermicomposto classe D**Table 1.** Characterization of the substrates and of the vermicomposts produced from these substrates in comparison to the specifications and minimum guarantees for the vermicompost Class D

Especificações	A	B	C	Vermicomposto A	Vermicomposto B	Vermicomposto C	Vermicomposto D
Umidade %	47,90 (0,65)	41,37 (1,05)	32,66 (0,99)	38,55 (0,26)	32,19 (0,39)	25,22 (0,62)	50
*NT %	2,44 (0,03)	1,31 (0,04)	0,82 (0,06)	3,37 (0,04)	1,86 (0,04)	1,01 (0,09)	1
*COT %	31,00 (2,33)	15,50 (1,60)	10,31 (0,29)	21,32 (0,44)	11,56 (1,39)	6,03 (0,44)	10
pH	4,45 (0,03)	4,75 (0,02)	4,56 (0,01)	4,98 (0,01)	4,74 (0,03)	4,25 (0,02)	6
*Relação C/N	16,69 (1,21)	13,74 (1,48)	14,70 (1,49)	7,64 (0,35)	7,23 (0,88)	6,96 (0,58)	12
*Relação CTC/C (cmol kg ⁻¹)	94,99 (1,26)	79,04 (2,02)	87,88 (3,11)	96,08 (2,87)	72,98 (2,54)	90,55 (3,18)	20
Ovos viáveis de helmintos (em 1 g de amostra seca)	10,00	4,00	3,00	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25

. Valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C. A = Substrato 100% lodo de esgoto doméstico; B = Substrato 75% lodo de esgoto doméstico e 25% solo; C = Substrato 50% lodo de esgoto doméstico e 50% solo

Entre parênteses o erro para n = 3, em que n= número de amostras

inicial de compostagem de 15 dias. Vale ressaltar que um dos processos de estabilização do lodo é a elevação do pH a 12 (Brasil, 2006), requerendo, portanto, grandes quantidades de cal.

Já o vermicomposto C apresentou baixos conteúdos de COT quando comparado com as especificações mínimas exigidas pelo MAPA, o que pode ser sanado acrescentando-se algum resíduo rico em carbono antes do processo de vermicompostagem, como o resíduo de poda de árvores, rico em lignina e, conseqüentemente, em carbono.

O melhor dentre os três vermicompostos produzidos foi o A, seguido pelo B e, por último, pelo C (Tabela 1). Isto se deve ao maior conteúdo de NT do vermicomposto A, seguido do vermicomposto B e depois do C. O mesmo se dá com relação ao conteúdo de COT. O pH do vermicomposto A é mais próximo a 6 que o do vermicomposto B, seguido pelo C.

Outra especificação que os vermicompostos produzidos devem atender é quanto aos limites de contaminantes como elementos químicos e ovos viáveis de helmintos. Na Tabela 2 são apresentados os limites definidos pelo MAPA (Brasil, 2009), pela resolução CONAMA número 375 (Brasil, 2006)

e os resultados obtidos nos vermicompostos produzidos neste trabalho.

Os resultados obtidos para os contaminantes mostram que o vermicomposto A possui uma concentração maior para os elementos cádmio e chumbo. Maiola (2002) mostrou que as minhocas, durante o processo de vermicompostagem, fixam elementos tóxicos em seus tecidos.

Na Tabela 3 é apresentada uma representação dos valores encontrados para os três vermicompostos estudados, tendo por base as exigências mínimas e garantias do MAPA (Brasil, 2009).

Pelos critérios do MAPA no quesito contaminantes, o vermicomposto A não poderia ser utilizado na agricultura. Porém os vermicompostos B e C possuem uma quantidade de contaminantes inferior à quantidade máxima permitida. Pelos critérios da resolução CONAMA N^o 375, nenhum vermicomposto ultrapassa os limites máximos. No entanto, deve-se sempre levar em conta a carga acumulada teórica que é permitida pela aplicação do lodo de esgoto doméstico em solos agrícolas, como preconizam ambas as legislações.

Tabela 2. Limites máximos para contaminantes inorgânicos (mg kg⁻¹) e biológicos (n^o em 4g de amostra seca) em fertilizantes orgânicos compostos classe D e os resultados obtidos nos vermicompostos produzidos neste trabalho**Table 2.** Maximum limits for inorganic (mg kg⁻¹) and biologic (No. in 4g of dry sample) contaminants in class D organic fertilizers and the results obtained for the vermicomposts produced in this paper

Contaminante	Fertilizante orgânico composto classe D	CONAMA n ^o 375	Vermicomposto A	Vermicomposto B	Vermicomposto C
Cd (mg kg ⁻¹)	3,00	39	34,67	-	-
Pb (mg kg ⁻¹)	150,00	300	173,33	109,33	94,67
Cr (mg kg ⁻¹)	200,00	1000	105,33	34,67	32,67
Se (mg kg ⁻¹)	80,00	100	76,06	23,98	15,54
Ovos Viáveis de Helmintos (em 1 g de amostra seca)	1,00	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25

A = Vermicomposto com matriz de 100% lodo de esgoto doméstico

B = Vermicomposto com matriz 75% lodo de esgoto doméstico e 25% solo

C = Vermicomposto com matriz 50% lodo de esgoto doméstico e 50% solo

Tabela 3. Cumprimento (*) ou não cumprimento (X) das especificações e garantias exigidas pelo MAPA

Table 3. Compliance (*) or non-compliance (X) of the specifications and guarantees required by MAPA

	Vermicomposto A	Vermicomposto B	Vermicomposto C
Umidade	*	*	*
NT	*	*	*
COT	*	*	X
pH	X	X	X
C/N	*	*	*
CTC/C	*	*	*
Cr	*	*	*
Se	*	*	*
Cd	X	*	*
Pb	X	*	*
Ovos Viáveis de Helmitos	*	*	*

A = Vermicomposto com matriz de 100% lodo de esgoto doméstico

B = Vermicomposto com matriz 75% lodo de esgoto doméstico e 25% solo

C = Vermicomposto com matriz 50% lodo de esgoto doméstico e 50% solo

Quanto à quantidade de ovos viáveis de helmintos, observa-se que os valores encontrados estão bem abaixo do valor limite em todos os vermicompostos estudados. Portanto, todos os vermicompostos produzidos atendem ao critério de limites para ovos viáveis de helmintos (Brasil, 2009).

Com os resultados obtidos para os vermicompostos conclui-se que o material com maior potencial fertilizante e que atende às especificações do MAPA, podendo ser considerado como fertilizante composto classe D, é o vermicomposto B. O vermicomposto C também poderia ser utilizado como fertilizante, mas para atender às exigências do MAPA, a quantidade de COT deve ser corrigida de alguma forma.

Sabe-se que a adição de produtos alcalinos tem efeito estabilizante no lodo de esgoto. A cal é um dos produtos alcalinos mais baratos e mais utilizados na estabilização do lodo de esgoto doméstico sendo usada para elevar o pH, estabilizando quimicamente o lodo. A problemática desta técnica está no fato de que algumas características físicas e químicas do lodo são alteradas pela adição da cal, como já mencionado. Outrossim, a adição de biossólidos alcalinizados em solos pode levar à alcalinização do solo, elevando o pH a níveis superiores a 7,5. Neste patamar, a dinâmica de nutrientes e a atividade biológica dos solos são drasticamente alteradas, prejudicando a absorção de nutrientes, o desenvolvimento e a produtividades das culturas. Os biossólidos alcalinizados contêm, ainda, grande quantidade de sais solúveis, principalmente Ca e Mg, contribuindo para a elevação da pressão osmótica do solo, podendo causar danos aos vegetais e até sua morte.

A disposição final do lodo de esgoto doméstico, geralmente, é o aterro sanitário. Além do alto custo, que pode chegar a mais de 50% do custo operacional de uma Estação de Tratamento de Esgoto, a disposição de um resíduo com

elevada carga orgânica no aterro agrava o problema com o manejo dos resíduos urbanos.

Neste contexto a utilização da vermicompostagem para estabilizar o lodo de esgoto doméstico mostra-se útil, dando ao resíduo um destino adequado, colaborando, desta maneira, para o desenvolvimento de um processo ambientalmente amigável (Corrêa et al., 2007).

Bettiol & Camargo (2000), Melo (2002) e Quintana et al. (2009) sugeriram que esse biofertilizante (vermicomposto) pode ser utilizado em substituição parcial ao fertilizante mineral, uma vez que seu uso diminuiria custos de fertilização.

CONCLUSÕES

A maturação de todos os vermicompostos avaliados foi confirmada pela redução dos teores de carbono orgânico total e pelo aumento do teor de NT e consequente diminuição dos valores da relação C/N. A composição das matérias-primas tem influência na velocidade e intensidade das transformações das frações da matéria orgânica.

Aumentando-se o pH em uma unidade, pode-se utilizar o vermicomposto B como fertilizante orgânico composto classe D.

De maneira geral, a vermicompostagem mostrou-se eficiente para ser utilizada como técnica de estabilização do lodo de esgoto doméstico. O substrato final do tratamento (principalmente para o vermicomposto B) possui um alto potencial para ser utilizado na agricultura como fertilizante orgânico, fornecendo, desta maneira, uma destinação ambientalmente adequada ao lodo de esgoto doméstico.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pela FAPESP, processos número 05/56328-8 e número 07/50776-4, e CNPq. Paulo R. Dores-Silva agradece ao programa Ensinar com Pesquisa da Universidade de São Paulo, pela bolsa concedida e à Sra. Isabela Pelatti, responsável pela Estação de Tratamento de Esgoto Água Vermelha, pelas amostras.

LITERATURA CITADA

- Alberguini, L.B.A.; Silva, L.C.; Rezende, M.O.O.; Tratamento de resíduos químicos: guia prático para a solução dos resíduos químicos em instituições de ensino superior. São Carlos: Rima, 2005. 100p.
- American Public Health Association - APHA. Standard Methods for examination of water and wastewater. 21.ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1368p.
- Andreoli, C.V. Resíduos sólidos no saneamento, processos de reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: Rima, 2001. 257p.
- Begum, A.; HariKrishna, S. Management of Municipal sewage sludge by vermicomposting technique. International Journal of ChemTech Research, v. 2, n.3, p 1521-1525, 2010.

- Bettiol, W.; Camargo, O.A. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.
- Bidone, F.R.A.; Povinelli, J. Conceitos básicos de resíduos sólidos. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120p.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Decreto n. 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Seção 1, p.2, 15 jan. 2004. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D4954.htm. 10 Dez. 2004.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n. 25, de 23 de julho de 2009. <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>. 12 Nov. 2009.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução n.º 357 de 26 de ago. de 2006. 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, Seção 1, p.141-146, 30 ago. 2006.
- Campitelli, P.; Ceppi, S. Effects of composting technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids. *Geoderma*, v.144, n.1-2, p.325-333, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.12.003>
- Corrêa, R.S.; Fonseca, Y.M.F.; Corrêa, A.S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.4, p.420-426, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000400012>
- Cotta, J.A.O.; Salami, F.H.; Marques, A.R.; Rezende, M.O.O.; Landgraf, M.D. Validação do método para determinação de Nitrogênio Kjeldahl Total. *Revista Analytica*, v.5, n.26, p.68-75, 2007.
- Grigatti M.; Ciavatta C.; Gessa C. Evolution of organic matter from sewage sludge and garden trimming during composting. *Bioresource Technology*, v.91, n. 2, p.163-169, 2004. [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00170-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00170-6)
- Guerrini, I. A.; Trigueiro, R. M. Atributos físicos e químicos e substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, n.6, p.1069-1076, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000600016>
- Kiehl, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres Ltda, 1985. 494p.
- Landgraf, M.D. Messias, R.A. Rezende, M.O.O. A Importância ambiental da vermicompostagem: vantagem e aplicação. São Carlos: Rima, 2005. 105p.
- Maboeta M.S.; Rensburg, L.V. Vermicomposting of industrially produced woodchips and sewage sludge utilizing *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 56, n.2, p.265-270, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0147-6513\(02\)00101-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0147-6513(02)00101-X)
- Maiola, M.R.A. Influência da incorporação de resíduos orgânicos a um latossolo vermelho amarelo e a ação das minhocas como agentes de descontaminação ambiental. São Carlos: Instituto de Química de São Carlos/ Universidade de São Paulo, 2002. 150p. Tese Doutorado.
- Matos, G.D. Utilização do vermicomposto como matéria adsorvente no tratamento de resíduos de laboratório. Campinas: Instituto de Química/Universidade Estadual de Campinas, 2003. 87p. Dissertação Mestrado.
- Melo, V. P. de. Propriedades químicas e disponibilidade de metais pesados para a cultura do milho em dois latossolos que receberam a adição de biossólido.. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista, 2002. 134 p. Dissertação Mestrado.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. Estatísticas. <http://www.planalto.gov.br>. 24 Fev. 2009.
- Quintana, N.R.G.; Carmo, M.S.; Melo, W.J. Viabilidade Econômica do uso de Lodo de Esgoto na Agricultura, Estado de São Paulo. *Informações Econômicas*, v.39, n.6, p.31-36, 2009.
- Rodríguez-Canché, L.G.; Cardoso Vigueros L.; Maldonado-Montiel T.; Martínez-Sanmiguel M. Pathogen reduction in septic tank sludge through vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Bioresource and Technology*, v. 101, n.10, p.3548-3553, 2010.
- Sinha, R.K.; Valani, D.; K Chauhan, K.; Agarwal, S. Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, v.2, n.7, p.113-128, 2010.
- Soccol, V. T.; Paulino, R. C.; Castro E. A. Metodologia de análise parasitológica em lodo de esgoto e esgoto. In: Andreoli, C.V.; Bonnet, B.R.P. (Coords.) Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem de lodo de esgoto. Curitiba: SANEPAR/ PROSAB, 1998. p.27.
- Walkowiak, A. Effect of selected environmental parameters on sewage sludge vermicomposting. *Polish Journal of Natural Science*, v.22, n.1, p.83-9, 2007. <http://dx.doi.org/10.2478/v10020-007-0009-4>
- Zularisam, A.W.; Zahirah, Z.S.; Zakaria, I.; Syukri, M.M.; Anwar, A.; Sakinah, M., 2010. Production of biofertilizer from vermicomposting process of municipal sewage sludge. *Journal of Applied Sciences*, v.10, n.7, p.580-584, 2010. <http://dx.doi.org/10.3923/jas.2010.580.584>