

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

EFEITOS DA ASSOCIAÇÃO DE ALGUNS SUBSTRATOS ALTERNATIVOS NO CONTEUDO DE NPK APÓS A COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM

Cátia Araujo Farias ^{1*}

Eny Maria Vieira ²

José Carlos Fogo ³

ASSOCIATION EFFECTS OF SOME ALTERNATIVE SUBSTRATES
ON THE NPK AFTER COMPOSTING AND VERMICOMPOSTING
PROCESSES

Abstract

Composting and vermicomposting processes were evaluated by studying the effects due to the association of some alternative substrates, at different portions (20, 40, 60, 80 and 100%) to the organic fraction of urban solid residues, which is known as "seedling". The results obtained through the experiments allow to conclude that several factors interfere on the quality of the generated product. In the composting process such factors are related to the substrate, the humidity control, the temperature, and on the way that the cells are revolved along the experiment. Of the analyzed substrate, the bovine manure (E) and pruning/weeding residue (R) they are preferential for the vermicompostagem process, for they associate characteristics as microflora, macroflora, size of particles and capacity of retention of water. In a general way, any substrate can be employees in the composting process and of vermicomposting. However, it is necessary to observe certain characteristic of those residues to presuppose the concentration of the elements NPK. The low concentration of the nutrients of the final product is related to the origin material. The composting processes and of vermicomposting they are technical that make available the nutrients, not having, therefore, won substantial in content of those nutritious ones that qualifies the composition generated as an effective substitute of fertilizing rights.

Key Words: composting, organics substrates, vermicomposting.

¹ Fundação Educacional de Além Paraíba - FEAP.

² Instituto de Química de São Carlos-USP.

³ Universidade Federal de São Carlos- UFSCcar.

*Corresponding author: Fundação Educacional de Além Paraíba - FEAP. Rua Izabel Herdy Alves, 305. CEP 36.660-000 - Além Paraíba - MG- Brasil. Email: farias.catia@gmail.com

Resumo

Foram estudados os efeitos da associação entre alguns substratos alternativos para o processo de compostagem e de vermicompostagem em diferentes proporções (20, 40, 60, 80 e 100%), em volume, com a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, denominado composto orgânico, considerado “inóculo massal”. Os resultados obtidos após os meses de experimentação permitiram concluir que vários fatores interferem na qualidade do produto gerado. No processo de compostagem estes fatores estão relacionados ao tipo de substrato, controle de umidade, temperatura e revolvimento das leiras. Dos substratos analisados, o esterco bovino (E) e resíduo de poda/capina (R) são preferenciais para o processo de vermicompostagem, por associarem características como microflora, macroflora, tamanho de partículas e capacidade de retenção de água. De maneira geral, quaisquer substratos podem ser empregados no processo de compostagem e de vermicompostagem. No entanto, é necessário observar certas características desses resíduos para prever a concentração dos elementos NPK. A baixa concentração dos nutrientes do produto final está relacionado ao material de origem.

Palavras-chave: compostagem, substratos orgânicos, vermicompostagem.

Introdução

A adoção da reciclagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos, como medida mitigadora dos impactos ambientais negativos, tem sido uma solução eficiente para a redução desse resíduo, em relação às questões de estética ambiental. Esse procedimento representa uma alternativa mais eficiente, em termos de benefícios sócio-econômicos à comunidade, por oferecer métodos adequados ao desenvolvimento comunitário, bem como a que mais se adequa aos princípios sanitários e ambientais (Schalch e Leite, 1989; Kiehl, 1998; Sisino, 2000; D’Almeida e Vilhena, 2001; Barreira, 2005; Leal, 2006).

A preocupação com o produto final das usinas de compostagem que recebem resíduos sólidos urbanos onde não se realizam a separação dos recicláveis na origem tem levado pesquisadores a buscarem no processo de vermicompostagem mais um processo de melhoramento desse produto (Bidone, 1995; Veras, 1996; Bansal e Kapoor, 2000) e com garantias de certificações oficiais. Todavia, a composição dos resíduos varia sazonalmente ao longo do ano, isso é condicionado aos hábitos da população, níveis de desenvolvimento econômico, tecnológico, sanitário e cultural. Com isso, características, tais como: volume, composição química, peso específico, poder calorífico, umidade influenciaram diretamente nos diversos tipos de sistemas de compostagem (Barreira, 2005; Schalch et al., 1998).

O sistema de compostagem de resíduos, conhecido como sistema “aberto”, em que os meios de fermentação são considerados espontâneos, muitas vezes servindo de inoculantes do processo, tem sido mais empregado por apresentar baixo custo, um período de maturação relativamente pequeno, de 60 a 90 dias, conforme as condições climáticas locais, além das características dos resíduos. Após esse período, o produto final resultante é incorporado ao solo pelos pequenos

produtores e quase sempre teores elevados de metais potencialmente tóxicos, presente nesse material, também são incorporados (Grossi, 1989; Egreja Filho, 1993; Santos, 1995).

Os metais potencialmente tóxicos podem ser encontrados dissolvidos ou associados aos materiais que compõem os resíduos e dependendo de fatores ambientais como pH, salinidade, temperatura e outros, podem tornar-se tóxicos à biosfera (Sitting, 1976; Friberg et al, 1979; Mendes, 1981; Albert, 1985; Cassarett e Doull's, 1996). Embora a presença de metais esteja associada, muitas vezes, a produtos industriais, há de se considerar os produtos agrícolas contaminados por tratamentos à base de pesticidas e até mesmo fertilizantes inorgânicos.

Buscando a mitigação das conseqüências advindas pelo acúmulo de metais pesados presentes no produto final da compostagem, estudos vêm sendo desenvolvidos por meio da associação dos processos de vermicompostagem e compostagem (Barreira, 2005).

A vermicompostagem é um processo de dois estádios de compostagem: o primeiro, em que a fração orgânica dos resíduos é compostada até atingir a temperatura ambiente e redução de microrganismos patogênicos; o segundo, constituindo-se da adição de minhocas à fração orgânica compostada para que a mesma, após um determinado período, seja convertida em húmus (Harris et al, 1990; Bansal e Kapoor, 2000). Tanto a compostagem como a vermicompostagem são processos de bio-oxidação e estabilização de material orgânico, diferindo no fato de que o último envolve a ação conjunta de minhocas e microrganismos, sem que haja um período termófilo.

Em ambos os processos o produto gerado pode não apresentar boa qualidade, por ser freqüentemente conduzido como processo natural, requerendo poucos cuidados, bem como pelos tipos de resíduos e matérias-primas utilizadas, tendo em vista o teor de material orgânico dos mesmos (Hand, 1984; Knäpper, 1984; Hiehl, 1985; Vieira, 1995; Hanajima et al, 2001).

O objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos da associação entre três resíduos: lixo cru (L), resíduo de poda/capina (R) e esterco bovino (E), em diferentes proporções com o composto orgânico (C), advindo da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos domiciliares, supostamente em estágio avançado de maturação, considerado "inóculo massal", quando submetidos aos processos de compostagem e vermicompostagem, para avaliação do conteúdo de Nitrogênio, Fósforo e Potássio.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada- CRHEA, na Estação Experimental do Departamento de Hidráulica e Saneamento- SHS, da Escola de Engenharia de São Carlos-São Paulo-Brasil/ EESC-USP.

Para cada canteiro ou célula-tratamento do experimento adicionou-se 0,30 m³ da mistura da matéria-prima selecionada para servir de substratos. Durante 120 dias os substratos passaram pelo processo de compostagem. Com a estabilização da temperatura, no estágio final da compostagem, realizou-se a inoculação da *Eisenia foetida*, também conhecida como minhoca “Vermelha da Califórnia”. Após a inoculação, iniciou-se o processo de vermicompostagem que teve duração de 60 dias. Durante esse período, foi avaliada a adaptação das minhocas aos substratos, considerando o teor de umidade, a temperatura e o pH, para que os mesmos pudessem ser controlados, levando-se em conta as melhores condições de adaptação da espécie (Cetesb, 1987).

O lixo cru (L) correspondeu à fração orgânica proveniente do descarte de resíduos do restaurante universitário do Campus da USP em São Carlos-SP; o resíduo de poda/capina (R) das atividades de manutenção da área do CRHEA; o esterco bovino curado (E) das áreas de pasto do gado leiteiro da Embrapa, Estação Experimental Fazenda Canchim, em São Carlos-SP e o material orgânico compostado (C), proveniente do Setor de Compostagem do Aterro Bandeirantes, localizado na região metropolitana de São Paulo-SP.

As matérias-primas passaram por triagem manual antes de serem processadas. Em seguida, foram amostradas pelo método do quarteamo (Schalch et al, 1995), e conduzidas para a caracterização física, química e biológica.

Quadro 1. Composição das células-tratamento

CÉLULA	VOLUME	COMPOSIÇÃO
1	100%	0,30 m ³ de E
2	100%	0,30 m ³ de E2
3	80% C + 20% E	0,24 m ³ de C + 0,06 m ³ de E
4	60% C + 40% E	0,18 m ³ de C + 0,12 m ³ de E
5	40% C + 60% E	0,18 m ³ de C + 0,12 m ³ de E
6	20% C + 80% E	0,18 m ³ de C + 0,12 m ³ de E
7	100%	0,30 m ³ de L
8	100%	0,30 m ³ de L2
9	80% C + 20% L	0,24 m ³ de C + 0,06 m ³ de L
10	60% C + 40% L	0,18 m ³ de C + 0,12 m ³ de L
11	40% C + 60% L	0,18 m ³ de C + 0,12 m ³ de L
12	20% C + 80% L	0,18 m ³ de C + 0,12 m ³ de L
13	100%	0,30 m ³ de R
14	100%	0,30 m ³ de R2
15	80% C + 20% R	0,24 m ³ de C + 0,06 m ³ de R
16	60% C + 40% R	0,18 m ³ de C + 0,12 m ³ de R
17	40% C + 60% R	0,18 m ³ de C + 0,12 m ³ de R
18	20% C + 80% R	0,18 m ³ de C + 0,12 m ³ de R
19	100%	0,30 m ³ de C
20	100%	0,30 m ³ de C2

As células-tratamento receberam os substratos alternativos constituídos da mistura com o inóculo massal, conforme descrito no Quadro 1, dispostas nos conjuntos de canteiros de modo aleatório.

Na condução do experimento, em ambos os processos, procedeu-se a rega para favorecer o processo de decomposição, bem como o controle de temperatura (Cetesb, 1987), por meio de dispositivo NTC's de 10Ω 5% fixado em haste de PVC, em diferentes profundidades de 0, 15 e 30 cm.

Após 120 dias da compostagem, quando a temperatura atingiu 25°C , procedeu-se a inoculação das minhocas, iniciando o processo de vermicompostagem. Em ambos os processos foram analisados os seguintes parâmetros: umidade (%), pH em CaCl_2 , Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio, Manganês e Nitrogênio total (Tedesco et al., 1985); Zinco, Cobre (Embrapa, 1979); carbono total (Beckman, 1987); coliformes totais e fecais (CETESB, 1979) e sólidos totais fixos e voláteis, pela diferença de peso do material calcinado (Kiehl e Porta, 1980).

A análise dos dados foi efetuada por meio da comparação de múltiplos vetores de médias, ou seja, pelo método de análise de variância multivariada a dois fatores (MANOVA two-way).

A técnica MANOVA two-way foi utilizada para comparar vetores de médias de populações. Nessa análise a resposta é dada por um vetor de variáveis. Tais variáveis do experimento corresponderam a: Matéria orgânica total; Nitrogênio total; Fósforo total e Potássio total. Essas variáveis foram medidas em três tempos: T1 - no início da compostagem; Tempo 2 - após a compostagem e Tempo 3 - após a vermicompostagem, considerando-se, também, cada um dos substratos: resíduos de poda/capina (R), lixo cru (L) e esterco bovino (E).

A verificação da normalidade multivariada foi feita por meio do teste de Mardia e a verificação da igualdade de matrizes de variâncias-covariâncias pelo teste Box-M.

Como não foi possível a utilização da análise de variância multivariada, pois os dados não atenderam à condição de normalidade multivariada, assim como à de igualdade de matriz de variâncias-covariâncias, optou-se pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para a comparação dos diversos grupos de tratamento. Para o teste de Kruskal-Wallis, cada uma das observações é substituída pelo seu respectivo rank ou posto, isto é, os valores mensurados em cada uma dos k grupos (tratamentos) são dispostos em uma série única de postos. Ao menor valor, atribui-se o posto 1; ao seguinte, o posto 2 e, assim por diante, até que ao maior valor seja atribuído o maior posto.

Feito isso, determinou-se a soma dos postos em cada um dos k grupos. No teste, determina-se se as diferenças entre essas somas são díspares ao ponto de não ser possível afirmar se há igualdade entre os k grupos.

O teste de Kruskal-Wallis é definido, matematicamente, pela seguinte expressão algébrica:

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k n_i \bar{R}_i^2 - 3(n+1) \quad (2)$$

Em que:

k : número de grupos a serem comparados

n_i : número de observações do i -ésimo grupo

n : $\sum_{i=1}^k n_i$, número total de observações.

\bar{R}_i : posto médio das observações para o i -ésimo grupo, $i = 1, 2, 3$

Se a hipótese H_0 for verdadeira, então a diferença entre os postos médios dos k grupos suficientemente grande. Nesse caso, a estatística H tem distribuição qui-quadrado com $(k - 1)$ graus de liberdade. Desta forma, para um dado nível de significância α , rejeita-se a hipótese de que os tratamentos sejam iguais se o valor de H encontrado é maior que o valor qui-quadrado com $(k - 1)$ graus de liberdade, tabelado para o nível de significância α .

Uma vez detectada alguma diferença entre os grupos, utilizou-se o teste de comparações múltiplas de Kruskal-Wallis para indicar qual ou, quais grupos diferem.

Tendo sido rejeitado H_0 , há evidência suficiente de que, pelo menos um dos k grupos difere dos demais. O procedimento das comparações múltiplas de Kruskal-Wallis, então, foi utilizado para identificar qual (ou quais) grupo(s) causaram a rejeição de H_0 .

O procedimento consiste em se construir intervalos para as diferenças dos postos médios entre todos os pares possíveis de grupos (ou tratamentos), ou seja, entre os $g = k(k-1)/2$ pares. Fixando-se um nível de significância α , os intervalos são construídos por meio da seguinte relação:

$$(\bar{R}_i - \bar{R}_j) \pm Z(1 - \alpha/2g) = \sqrt{\frac{n(n+1)}{12} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}, \quad i, j = 1, 2, \dots, k \text{ e } i \neq j \quad (3)$$

Em que:

$Z_{(1-\alpha/2g)}$ é o percentil de $(1 - \alpha/2g)$ da distribuição normal padronizada.

\bar{R}_i : posto médio das observações para o i -ésimo grupo, $i = 1, 2, 3$

\bar{R}_j : posto médio das observações para o j -ésimo grupo, $j = 1, 2, 3$, com $j \neq i$

Fixando-se um nível de significância α , os limites dos intervalos são construídos por meio da seguinte relação:

$$\text{Limite inferior: } \mathbf{li} = d_{ij} - Z_{(1-\alpha/2g)} s_{ij}$$

$$\text{Limite superior: } \mathbf{ls} = d_{ij} + Z_{(1-\alpha/2g)} s_{ij}$$

Em que:

$d_{ij} = \bar{R}_i - \bar{R}_j$ é a diferença entre os postos médios dos grupos i e j , para $i = 1, 2, 3$; $j = 1, 2, 3$ e $i \neq j$.

$Z_{(1-\alpha/2g)}$ é o percentil de $(1 - \alpha/2g)$ da distribuição normal padronizada.

$$s_{ij} = \sqrt{\frac{n(n+1)}{12} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$
 é o desvio padrão para a diferença.

Se o intervalo formado pelos valores li e ls incluir o valor zero, então, não há evidência suficiente para se rejeitar a igualdade entre os grupos i e j . Desta forma, conclui-se que os correspondentes tratamentos i e j não são diferentes. Por outro lado, se o intervalo não inclui o valor zero, então, conclui-se que os respectivos tratamentos diferem em relação à resposta observada.

Resultado e discussão

Os resíduos orgânicos vegetais e animais representam fontes importantes de matéria-prima para o processo de decomposição biológica. Embora, para qualquer resíduo orgânico, as fases de decomposição sejam as mesmas, fatores como granulometria, conteúdo de água e composição química dos materiais utilizados irão interferir no tempo e duração das fases, bem como no produto final adquirido, tendo em vista que suas características e alterações bioquímicas poderão influenciar todo o processo de compostagem e vermicompostagem.

De certa forma, qualquer matéria-prima pode ser utilizada como substrato em um processo de compostagem e vermicompostagem, desde que tenha substâncias orgânicas que possam ser decompostas pela ação dos microrganismos.

O quadro 2 apresenta as características físicas, químicas e biológicas dos materiais orgânicos (substratos) empregados nos processos de decomposição biológica, em base úmida.

Na figura 1 tem-se a variação das temperaturas dos substratos empregados, tomadas à altura de 0,15 m de profundidades nas leiras. Tendo em vista que em tal posição verificou-se menor influência da temperatura ambiente. No processo de compostagem as temperaturas sofreram influência da granulometria e do conteúdo de água presente nos materiais orgânicos, contudo, os valores alcançados mostraram-se dentro da faixa indicativa de compostagem e maturação (SNELL, 1991; KIEHL, 1998; AMORIM et al., 2005).

Quadro 2. Características física, química e biológica dos materiais orgânicos

PARÂMETRO	ESTERCO BOVINO (E)	LIXO CRU (L)	RESÍDUO DE PODA/CAPINA (R)	COMPOSTO (C)
Umidade (%)	59,10	74,43	17,27	67,87
Matéria Orgânica total (%)	36,58	12,23	49,10	25,02
Resíduo mineral (%)	4,32	13,34	33,63	7,11
Carbono total (%)	20,32	6,79	27,28	13,90
Nitrogênio total (%)	1,17	1,26	1,54	1,19
Relação C:N	17:1	5:1	18:1	12:1
pH em H ₂ O	7.9	5.2	6.8	6.1
Coliformes fecais (NMP g ⁻¹)	0,8E +03	2,4E +01	2,4E +03	2,4E +02
Coliformes totais (NMP g ⁻¹)	0,7E +03	0,5E +01	1,4E +03	2,3E +03

Pelo Quadro 2, as matérias-primas apresentaram um teor de matéria orgânica total abaixo do recomendado para o início do processo, conforme Kiehl (1998), exceto para o resíduo de poda/capina (R). Para o autor, o produto final obtido pelo processo de compostagem deve chegar a uma relação carbono/nitrogênio (C/N) na faixa de 10/1 a 15/1. Para Jimenez e Garcia (1998), uma relação C/N final com C/N inicial menor que 0,70 indica que o processo atingiu uma degradação satisfatória. Entretanto, tais percentuais foram alterados, quando da realização das misturas das matérias-primas com o composto, antes do início do processo de compostagem. Com esse procedimento, todos os teores dos parâmetros foram modificados, havendo, portanto, alterações segundo a proporcionalidade adicionada

Variação de Temperatura (altura = 0,15m)

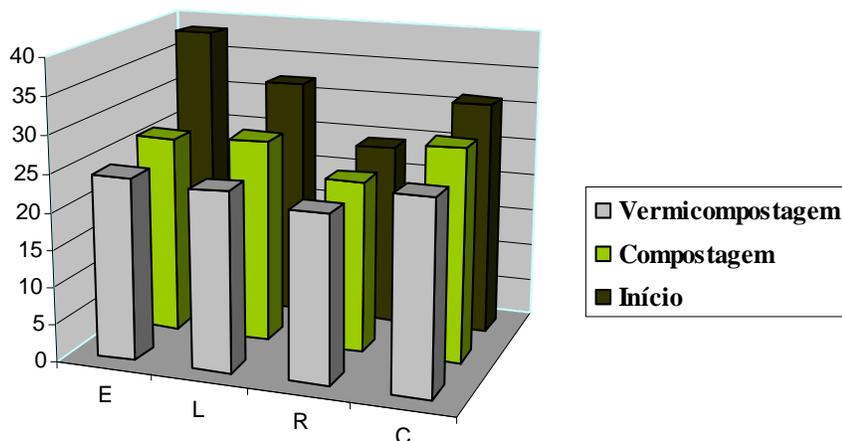


Figura 1. Variação da temperatura nos processos de compostagem e vermicompostagem.

Com a condução da compostagem alcançou-se um produto mais estável, no qual foram aceitos como substratos pela espécie *Eisenia foetida*, sobretudo o esterco bovino (E) e o resíduo de poda/capina (R). Em ambos os casos, observou-se a presença de casulos, após 15 dias da inoculação.

Verificou-se que, a aceitação desses substratos pareceu estar relacionada mais ao conteúdo de celulose, conforme observado por Edwards e Lofty (1976), devido às espécies serem atraídas muito mais por este componente do que por alimentos ricos em proteínas. Por outro lado, Knäpper (1984) ao estudar o comportamento das minhocas em cativeiro, observou que elas podem, até mesmo, aceitar um substrato que tenha pouco ou nenhum valor alimentício no que se refere a proteínas e material orgânico nitrogenado. Assim, é possível que a escolha, pelas minhocas, do resíduo de poda/capina (R) possa estar relacionada a outros fatores, além da alimentação, associada à reprodução e, ou, preservação da espécie.

Por meio das análises de variâncias preliminares, observou-se a interação entre os fatores tempo e substrato (E, L e R), uma vez que para o substrato C, considerado inóculo massal, constatou-se que a relação entre os teores aplicados, ao início e ao final dos processos, manteve-se praticamente constantes. Dessa forma, sob o ponto de vista da constituição dos substratos analisados, o inóculo massal não se apresentou como fator preponderante para influenciar na velocidade de decomposição dos substratos analisados. Uma possível explicação para o ocorrido pode estar relacionada ao tipo de matéria-prima empregada como inóculo, seu estágio de decomposição, seus constituintes, bem como sua granulometria, uma vez que tais parâmetros podem interferir na decomposição do mesmo (Harada et al., 1981).

Como as condições de regularidade para o modelo proposto MANOVA não foram atendidas, empregou-se o teste de Kruskal-Wallis que é uma alternativa não paramétrica para a análise de variância nas condições apresentadas. Assim, buscou-se combinar os níveis desses dois fatores em nove tratamentos.

Quadro 3. Tratamentos formados com a combinação dos níveis dos fatores Tempo e Substrato

TEMPO	SUBSTRATO	TRATAMENTO
Tempo 1	R	T1R
	L	T1L
	E	T1E
Tempo 2	R	T2R
	L	T2L
	E	T2E
Tempo 3	R	T3R
	L	T3L
	E	T3E

No quadro 3 tem-se os tratamentos os nove tratamentos resultantes da combinação dos níveis dos fatores tempo x substratos.

O teste de Kruskal-Wallis foi aplicado a cada uma das variáveis sujeitas aos tratamentos anteriormente definidos e, portanto, o teste resumiu-se em comparar os nove grupos formados.

Baseados em todas as comparações, realizadas duas a duas, pôde-se agrupar os tratamentos cujos membros não diferiram significativamente.

Teste de Kruskal-Wallis para a variável Matéria Orgânica Total

Na Figura 2, tem-se o gráfico de box-plot para todos os tratamentos, considerando a variável matéria orgânica total (MOT). Conforme pôde-se observar, o grupo T1R apresenta características diferentes dos outros grupos, tanto no tempo T1 como para os demais grupos nos outros dois instante de coleta. Nos tempos T2 e T3 percebeu-se que os tratamentos estão mais próximos entre si, porém os tratamentos do tempo T2 estão na maior parte acima da mediana global enquanto que os grupos no tempo T3 estão abaixo da mediana global.

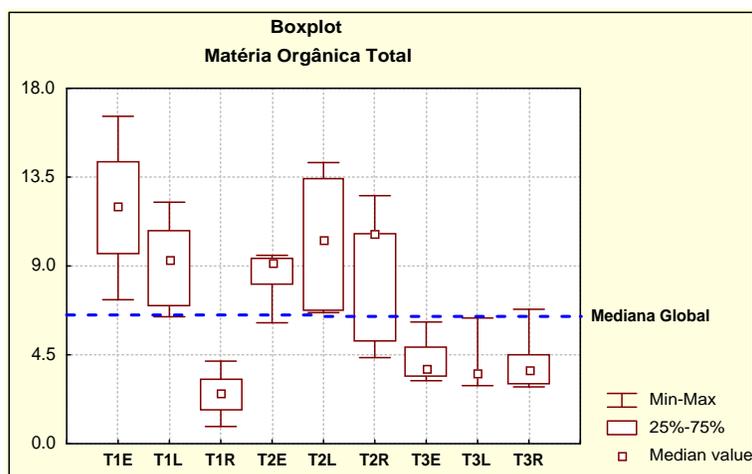


Figura 2. Box-plot's para a variável Matéria Orgânica total.

Observou-se uma diminuição acentuada no teor de matéria orgânica total para o substrato esterco bovino (E), em relação aos demais substratos com o decorrer dos processos. Essa maior redução está relacionada ao fator granulometria deste em relação aos demais, tornando-o mais fácil sua decomposição.

O teste de Kruskal-Wallis para a variável MOT resultou no seguinte valor:

$$H = 30.7446$$

$$g.l. = 8$$

$$p = 0.0002$$

Pelo valor p do teste concluiu-se que existe alguma diferença entre os tratamentos, indicativo de que o conteúdo de matéria orgânica diferiu, segundo as variáveis tempo e substrato. Uma vez detectado que existe diferença entre os tratamentos, aplicou-se o teste das comparações múltiplas para identificar tais diferenças (Tabela 1).

Pelos dados contidos na Tabela 1, concluiu-se que $T1E > T1R$ e $T2L > T1R$, ou seja no início do processo o substrato resíduo de poda/capina (R) foi o que apresentou-se com granulometria mais grosseira, mais celulósico, embora seja esta característica mais apreciável às minhocas (Edwards e Lofty, 1976), não sendo uma regra (Knäpper, 1984).

Pelo valor p do teste concluiu-se que existe alguma diferença entre os tratamentos, indicativo de que o conteúdo de matéria orgânica diferiu, segundo as variáveis tempo e substrato. Uma vez detectado que existe diferença entre os tratamentos, aplicou-se o teste das comparações múltiplas para identificar tais diferenças (Tabela 1).

Pelos dados contidos na Tabela 1, concluiu-se que $T1E > T1R$ e $T2L > T1R$, ou seja no início do processo o substrato resíduo de poda/capina (R) foi o que apresentou-se com granulometria mais grosseira, mais celulósico, embora seja esta característica mais apreciável às minhocas (Edwards e Lofty, 1976), não sendo uma regra, (Knäpper, 1984).

Tabela 1. Resultado das comparações múltiplas para a variável Matéria Orgânica Total

T1E	T2L	T1L	T2E	T2R	T3E	T3R	T3L	
>	>	=	=	=	=	=	=	T1R
=	=	=	=	=	=	=	=	T3L
=	=	=	=	=	=	=	=	T3R
=	=	=	=	=	=	=	=	T3E
=	=	=	=	=	=	=	=	T2R
=	=	=	=	=	=	=	=	T2E
=	=	=	=	=	=	=	=	T1L
=	=	=	=	=	=	=	=	T2L

A diminuição no teor de matéria orgânica para todos os substratos com o decorrer da compostagem era de se esperar tendo em vista o desprendimento do carbono, na forma de gás carbônico, quando dos processos bioquímicos da decomposição dos resíduos orgânicos. Todavia

percebe-se o resíduo poda/capina (R) deva ser utilizado, após o período de compostagem quando se pretende alcançar o processo de vermicompostagem, tendo em vista a sua constituição que favore uma liberação mais lenta de matéria orgânica, favorecendo a alimentação dos oligoquetos.

Teste de Kruskal-Wallis para a variável Nitrogênio Total

Na Figura 3, tem-se o gráfico de box-plot para os tratamentos, considerando a variável Nitrogênio total. Pôde-se observar pelos respectivos box-plot's, que os dois primeiros grupos, T1E e T1L têm os maiores níveis de nitrogênio e o grupo T3R é o grupo com o menor nível de nitrogênio. Verificou-se, ainda, que para os tempos T2 e T3, ou seja, compostagem e vermicompostagem, uma tendência decrescente do nível de nitrogênio do substrato esterco bovino (E) e o substrato resíduo de poda/capina (R), ficando o substrato lixo orgânico em um valor intermediário.

Tal variabilidade pode ser relacionada à texturado material decomponível, bem como seus constituintes, tendo em vista que tais materiais apresentaram-se mais finos, favorecendo de forma mais eficiente a decomposição. Em relação ao resíduo de poda/capina (R), no processo de vermicompostagem, o teor de nitrogênio baixo pode estar indicando que houve uma imobilização maior que uma mineralização.

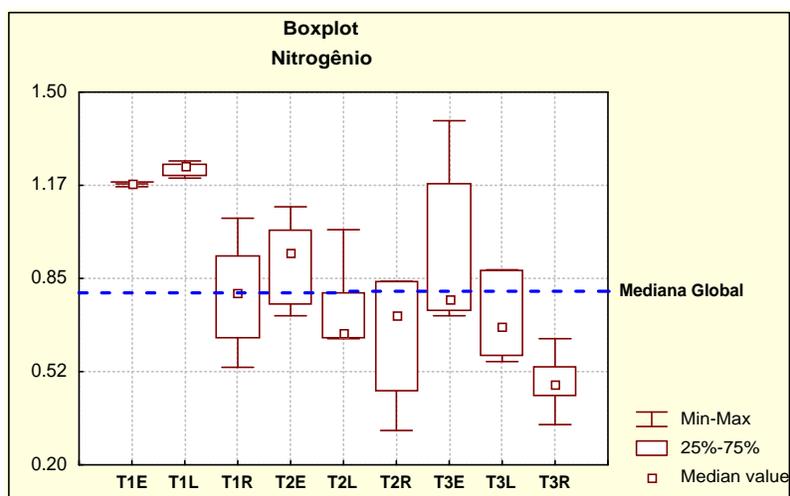


Figura 3. Box-plot's para a variável Nitrogênio total

O teste de Kruskal-Wallis para a variável N resultou no seguinte valor:

$$H = 28.32005$$

$$g.l. = 8$$

$$p = 0.0004$$

Pelo valor p do teste conclui-se que existe pelo menos uma diferença entre os tratamentos. Pelo teste das comparações múltiplas para identificar as diferenças (Tabela 2), conclui-se que $T1L > T3R$ e $T1E > T3R$.

Tabela 2. Resultado das comparações múltiplas para a variável Nitrogênio

T1L	T1E	T3E	T2E	T1R	T2L	T2R	T3L	
>	>	=	=	=	=	=	=	T3R
=	=	=	=	=	=	=		T3L
=	=	=	=	=	=			T2R
=	=	=	=	=				T2L
=	=	=	=					T1R
=	=	=						T2E
=	=							T3E
=								T1E

A tendência à redução do teor de Nitrogênio em todos os substratos pode estar relacionada à do carbono, por serem ambos absorvidos pelos microrganismos em suas atividades metabólicas, em proporções diferentes.

Teste de Kruskal-Wallis para a variável Fósforo

Na Figura 4, tem-se o gráfico de box-plot para os tratamentos considerando a variável Fósforo. Como pode-se verificar, os três primeiros grupos referentes ao tempo T1, apresentaram os menores níveis de P, destacando o grupo T1R que atinge intervalo maior. A partir daí, ocorreu um salto substancial na quantidade de Fósforo para o grupo T2E seguido de um longa série decrescente que vai do grupo T2E ao grupo T3R.

O maior nível de Fósforo ocorreu no grupo T2E e os menores níveis para os grupos T3L e T3R, voltando praticamente aos níveis dos três grupos no tempo. O aumento no conteúdo de Fósforo total, deveu-se a eficiência do processo de decomposição, tornando-o disponível. Quanto ao teor para cada substrato, este encontra-se relacionado à própria constituição do mesmo, como para o esterco bovino (E).

Pode-se, ainda, verificar um decréscimo para a variável, do tempo T2 para o tempo T3 e em relação aos substratos esterco, lixo orgânico e resíduo de poda/capina. Tais reduções estão relacionadas às perdas por lixiviação, uma vez que o P, ao estar adsorvido às micelas coloidais húmicas, carregada negativamente, pode ser liberado por meio de reações químicas (Bidone, 1995).

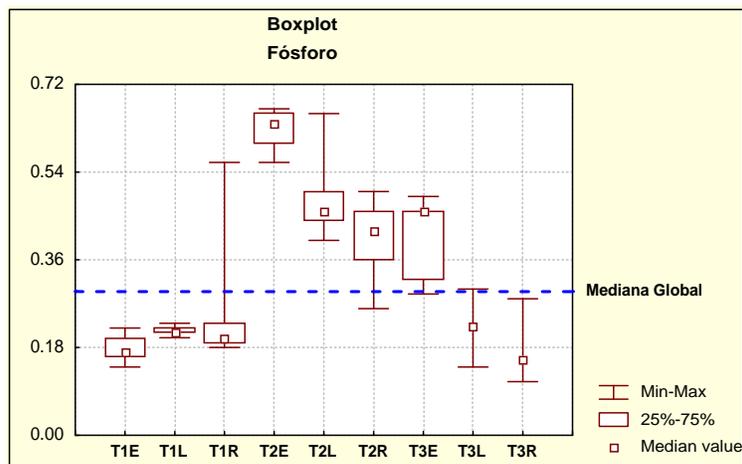


Figura 4. Box-plot's para a variável Fósforo

O teste de Kruskal-Wallis para a variável P resultou no seguinte valor:

$$H = 31.2585$$

$$g.l. = 8$$

$$p = 0.0001$$

Pelo valor p do teste conclui-se que existe pelo menos uma diferença entre os tratamentos. Com o teste das comparações múltiplas (Tabela 3), conclui-se que as diferenças existentes corresponde a $T2E > T1E$ e $T2E > T3R$.

Tabela 3. Resultado das comparações múltiplas para a variável Fósforo

T2E	T2L	T3E	T2R	T1R	T1L	T3L	T1E	
>	=	=	=	=	=	=	=	T3R
>	=	=	=	=	=	=	=	T1E
=	=	=	=	=	=	=	=	T3L
=	=	=	=	=	=	=	=	T1L
=	=	=	=	=	=	=	=	T1R
=	=	=	=	=	=	=	=	T2R
=	=	=	=	=	=	=	=	T3E
=	=	=	=	=	=	=	=	T2L

Teste de Kruskal-Wallis para a variável Potássio

Na Figura 5, tem-se o gráfico de box-plot para os tratamentos considerando a variável Potássio. Para esta variável observou-se uma grande flutuação entre os grupos, sendo que, de maneira geral, observou-se um comportamento praticamente inverso ao observado para a quantidade de fósforo, exceto o grupo T1R, que apresentou uma queda no nível de potássio do tempo T1

para o tempo T2, seguido de um crescimento do tempo T2 para o tempo T3, voltando aos níveis iniciais. Tem-se ainda, que nos três tempos de coleta o substrato lixo orgânico (C) apresenta os maiores níveis de Potássio. Os menores níveis de Potássio ocorreram nos grupos T1R, T2E e T2R.

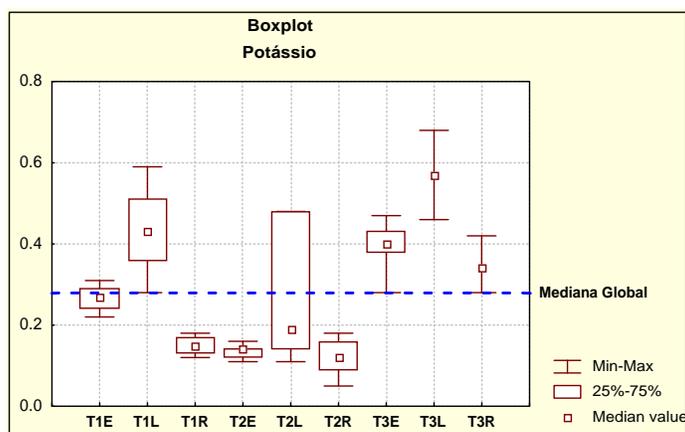


Figura 5. Box-plot's para a variável Potássio

O teste de Kruskal-Wallis para a variável K resultou no seguinte valor:

$$H = 30.8518$$

$$g.l. = 8$$

$$p = 0.0002$$

Pelo valor p do teste conclui-se que existe pelo menos uma diferença entre os tratamentos. Pelo teste das comparações múltiplas para identificar as diferenças (Tabela 4), concluiu-se que $T3L > T1R$, $T3L > T2E$, $T3L > T2R$ e $T1L > T2R$.

Tabela 4. Resultado das comparações múltiplas para a variável Potássio

T3L	T1L	T3E	T3R	T1E	T2L	T1R	T2E	
>	>	=	=	=	=	=	=	T2R
>	=	=	=	=	=	=	=	T2E
>	=	=	=	=	=	=	=	T1R
=	=	=	=	=	=	=	=	T2L
=	=	=	=	=	=	=	=	T1E
=	=	=	=	=	=	=	=	T3R
=	=	=	=	=	=	=	=	T3E
=	=	=	=	=	=	=	=	T1L

A maior disponibilidade de Potássio, no processo de vermicompostagem, deveu-se ao substrato lixo orgânico (C) em relação aos demais substratos em decorrência da matéria-prima empregada, uma vez que a mesma se constituía de restos de alimentos não processados, como folhagem e cascas e galhos verdes.

Conclusão

Dos substratos analisados, constatou-se que o esterco bovino (E) e o resíduo de poda/capina (R) foram os que tiveram melhor desempenho para o processo de vermicompostagem, possivelmente por associarem características como microflora, macroflora, tamanho de partículas e capacidade de retenção de água, elementos que favoreceram a maior aceitação das minhocas.

As variabilidades nas concentrações de Nitrogênio, Fósforo e Potássio, para o resultado das associações de substratos alternativos, possivelmente encontra-se relacionada à matéria orgânica dos mesmos, ao pH, à lixiviação e, ou, precipitação dos nutrientes durante os processos de compostagem e vermicompostagem. É razoável que o húmus resultante possua teores dos nutrientes considerados menores dos que na matéria prima original.

De maneira geral, quaisquer substratos podem ser empregados no processo de compostagem e de vermicompostagem. No entanto, é necessário observar certas características desses resíduos para prever a concentração dos elementos NPK. Assim, a baixa concentração dos nutrientes do produto final está relacionado ao material de origem.

Os processos de compostagem e de vermicompostagem são técnicas que disponibilizam os nutrientes, não havendo, portanto, ganhos substanciais em conteúdo desses nutrientes que qualifique o composto gerado como um substituto efetivo de certos fertilizantes (NPK).

Agradecimentos

À Escola de Engenharia de São Carlos-EESC/USP, ao Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo- IQSC/USP e ao Departamento de Estatística da Universidade Federal de São Carlos-UFSCar, pela oportunidade de trabalho em parceria, bem como ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- CNPq pela concessão de bolsa e financiamento da pesquisa.

Referência bibliográfica

Albert, A.L. (1985). Curso básico de toxicologia ambiental. México: *ECO/OPS/OMS*, INIREB, 89p.
Amorim, A. C.; Junior Lucas, J. de; Resende, K.T.de. (2005). Compostagem e vermicompostagem de dejetos de caprinos: efeito das estações do ano. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, **25** (1),57-66

- Bansal, S.; Kapoor, K.K. (2000). Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, Oxford, **73** (2), 95-98.
- BarreirA, L.P. (2005). Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção. São Paulo, SP: Escola de Saúde Pública-USP, 204p. (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo.
- Beckman, Industrial Corp. (1987). Process instruments division. Califórnia: La Habra. 93p.
- Bidone, F.R.A. (1995). A vermicompostagem dos resíduos sólidos de curtume brutos e previamente lixiviados, utilizando composto de lixo orgânico urbano como substrato. São Carlos, SP: Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 184p. (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- Cassarett, A., Doull's, D.(1996). Toxicology. 5.ed. New York: McGraw-Hill, 111p.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental-CETESB (1987) Utilização das minhocas na produção de composto orgânico. São Paulo: CETESB/ASCETESB,11p.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (1979). Determinação do número mais provável de coliformes totais e fecais pela técnica dos tubos múltiplos. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 15p.
- D'almeida M., Vilhena A. (2001) (Coord). Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. 2ª edição. São Paulo: IPT/CEMPRE
- Edwards, C.A., Lofty, J.R. (1976). Biology of earthworms. 1.ed. London: Chapman and Hall, 283p.
- Egreja Filho, F.B. (1993). Avaliação da ocorrência e distribuição química dos metais pesados na compostagem do lixo domiciliar urbano. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa-UFV, 176p. (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Viçosa.
- Embrapa - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (1979). Manual de métodos e análises de solo. Rio de Janeiro.
- Friberg, L., Nordberg, G.F., Vouk, V.B. (1979). Handbook and the toxicology of metals. Amsterdam: Elsevier, 503p.
- Grossi, M.G. de L. (1989). Avaliação do nível de concentração de alguns metais pesados em resíduos ou produtos resultantes da disposição ou tratamento de resíduo sólido municipal. Araraquara, SP: Universidade Estadual Paulista-UNESP,123p. (Mestrado em Engenharia Química) Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual Paulista.
- Harada, Y., Inoko, A., Tadak, M., Izawa, T. (1981). Maturing process of city refuse composting during piling. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, **27**(5), 357-364.
- Harris, G.D., Plantt, W.L., Proce, B.C. (1990). Vermicomposting in a rural community. In: *Biocycle* Guide to the Art & Science of Composting. Emmaus: J.G. Press, (1),48-51.
- Hanajima, D.; Kuroda, K.; Hafga, K. (2001). Enhancement of the thermophilic stage in cattle waste composting by addition of the tofu residue. *Bioresource Technology*, Oxford, **78**(2), 213-216.
- Hand, P. (1984) Earthworm biotechnology (vermicomposting) In: Resources And Applications of Biotechnology. Washington, D.C. *Proceedings*. (84)456-470.
- Jimenez E.I; Garcia,V.P. (1989). Evaluation of City Refuse Compost Maturity: A Review. *Biological Wastes*, **27**,115-142.
- Kiehl, E.J. (1998). Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: Ed. Agr. Ceres Ltda.,171p.
- Kiehl, E.J. (1985). Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Ed. Agr. Ceres Ltda, 492p.
- Kiehl, E.J., Porta, A. (1980). Análise de lixo e composto - Métodos de amostragem, preparo da amostra, análises, cálculos e interpretação dos resultados analíticos. *An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz*, Piracicaba, 54p.
- Knäpper, C. (1984). A criação de minhocas em viveiros II. In: Estudos Leopoldenses. São Leopoldo, R.S.: UNISINOS, **20**(78),37-40.
- Leal, M.A. de A. (2006). Produção e eficiência agrônômica de compostos obtidos com a palhada e gramínea e leguminosa para o cultivo de hortaliças orgânicas. Seropédica, RJ. Instituto de Agronomia: Universidade

- Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ, 143p. (Doutorado em Ciência do Solo) Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- Mendes, J.M.O. (1981). Resíduos sólidos perigosos: caracterização e discussão do problema. Salvador: *Cadernos Técnicos*, 38p.
- Santos, I.C. (1995). Conteúdo de metais pesados, potássio e sódio e produção de cultivares de alface adubada com composto orgânico de lixo urbano. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa-UFV, 89p. (Mestrado em Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa.
- Schalch, V., Leite, W.C. de A. (1991). Resíduos sólidos (lixo). São Paulo: Universidade de São Paulo, 45p.
- Schalch, V., Santaella, S.T., Mota F.S.B. (1995). Gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 227p.
- Schalch, V., Leite, W.C. de A., Gomes, L.P. (1998). Curso sobre gerenciamento de resíduos sólidos. São Paulo: ABES, 227p
- Sisinno, C.L.S. (2000). Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 79-98p.
- Sitting, M. (1976). Toxic metals pollution control and worker protection. Naves: Park Ridge, 301p.
- Snell, J.R. (1991). Role of temperature in garbage composting. In: biocycle: Guide to the Art & Science of Composting. Emmaus: J.G. Press, **3**(1), 254-256.
- Tedesco, M.J., Volkeiss, S.J., Bohnem, H.(1985). Análises de solos, plantas e outros materiais. Porto Alegre:UFRGS, 188p. (**Boletim Técnico 5**).
- Veras, L.R.V. (1996). A vermicompostagem do lodo de lagoas consorciadas com composto de lixo orgânico urbano. São Carlos, SP: Escola de Engenharia de São Carlos –USP, 135p. (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.
- Vieira, M.I. (1995). Criação de minhocas: comercialização, reprodução, produção, instalações e bons lucros. São Paulo: Prata, 86p