

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**EFEITOS DA INOCULAÇÃO NA COMPOSTAGEM E
VERMICOMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS VERDES URBANOS**

MORGANA SUSZEK

CASCADEL – PR
2005

MORGANA SUSZEK

**EFEITOS DA INOCULAÇÃO NA COMPOSTAGEM E
VERMICOMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS VERDES URBANOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Silvio César Sampaio

Co-Orientador: Prof. Dr. Reginaldo F. Santos

Co-Orientadora: Dr^a. Ortência L. G. S. Nunes

CASCADEL – Paraná - Brasil

Novembro – 2005.

MORGANA SUSZEK

EFEITOS DA INOCULAÇÃO NA COMPOSTAGEM E
VERMICOMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS VERDES
URBANOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Silvio César Sampaio
UNIOESTE/CCET - Cascavel - PR

Prof^a. Dr^a. Simone Damasceno Gomes
UNIOESTE/CCET - Cascavel - PR

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
UNIOESTE/CCET - Cascavel - PR

Prof. Dr. Deonir Secco
UNIOESTE/CCET - Cascavel - PR

Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas
UEM – Maringá - PR

Cascavel, 11 de novembro de 2005.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pela vida e saúde.

Aos meus pais Floriano Suszek e Neli de Fátima G. Suszek e irmãos Marcelo Suszek e Floriano Luiz Suszek, por todo amor, compreensão e incentivo.

Aos professores Silvio César Sampaio (orientador), Reginaldo Ferreira Santos (co-orientador) e demais professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade, confiança, opiniões e sugestões.

À Ortência L. G. S. Nunes (co-orientadora) por todo auxílio e estímulo para continuar em frente.

À professora Simone Damasceno Gomes pela colaboração na busca por metodologias de análise para a execução deste trabalho.

Aos amigos Larissa S. Mallmann, Elisandro P. Frigo, Grazieli Suszek, Márcia L. de Souza, Adriana Smanhotto, Leila Piacentini, Priscila Ferri, Franscielle Caovilla, André Doblinski, Juliano Galvão, Paulo Poggere e Marciane G. Silvestro, pela participação, ajuda e força nos momentos que precisei.

À empresa Solovel Agrícola, à Central de Abastecimento do Paraná S/A (CEASA), à Secretaria de Meio Ambiente do município de Cascavel - PR, ao Instituto Tecnológico SIMEPAR e à Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDETEC), pelo apoio e disponibilização de materiais, dados, informações técnicas e infra-estrutura para a condução desta pesquisa.

Aos que, embora não citados, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU).....	3
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS VERDES URBANOS (RSVU).....	7
2.3 ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA (ARS).....	9
2.4 O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	12
2.5 CARACTERÍSTICAS DO COMPOSTO.....	17
2.6 O PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM.....	20
2.6.1 Características do Vermicomposto.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	25
3.2 ETAPA DE COMPOSTAGEM.....	26
3.2.1 Preparo do Local.....	26
3.2.2 Obtenção e Caracterização dos Resíduos.....	26
3.2.3 Montagem das Pilhas de Compostagem.....	31
3.2.4 Controle de Temperatura.....	32
3.2.5 Controle de Aeração.....	33
3.2.6 Controle de Umidade.....	33
3.2.7 Determinação da qualidade dos compostos obtidos.....	33
3.3 ETAPA DE VERMICOMPOSTAGEM.....	34
3.3.1 Controle de Umidade.....	36
3.3.2 Separação e Pesagem das Minhocas e Cócons.....	36
3.3.3 Determinação da Qualidade dos Vermicompostos Obtidos.....	36
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 EXPERIMENTO DE COMPOSTAGEM.....	38
4.2 EXPERIMENTO DE VERMICOMPOSTAGEM.....	47
5 CONCLUSÕES.....	55
6 SUGESTÕES.....	56
REFERÊNCIAS.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de resíduos sólidos no Brasil.....	5@~
Tabela 2 - Caracterização de resíduos sólidos verdes urbanos.....	7@~
Tabela 3 - Características físico-químicas da água residuária da suinocultura	10@~
Tabela 4 - Características de alguns compostos orgânicos.....	18@~
Tabela 5 - Teores permissíveis de metais pesados (mg Kg ⁻¹) no composto de lixo urbano em alguns países e segundo a circular técnica da EMBRAPA.....	19@~
Tabela 6 - Características de alguns vermicompostos.....	24@~
Tabela 7 - Métodos de análise para as amostras de RSVU e ARS.....	30@~
Tabela 8 - Codisposições iniciais das pilhas de compostagem.....	31@~
Tabela 9 - Tratamentos para a etapa de vermicompostagem.....	34@~
Tabela 10 - Características físico-químicas dos resíduos sólidos verdes urbanos.....	38@~
Tabela 11 - Características físico-químicas das águas residuárias de suinocultura.....	40@~
Tabela 12 - Índice pluviométrico durante o experimento.....	44@~
Tabela 13 - Características físico-químicas dos compostos orgânicos e esterco bovino.....	44@~
Tabela 14 - Valores médios do peso das minhocas em cada tratamento na vermicompostagem.....	47@~
Tabela 15 - Valores médios dos parâmetros físico-químicos nos diferentes vermicompostos.....	49@~

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mudanças ocorrentes nos principais parâmetros de controle durante as fases de compostagem.....	16@~
Figura 2 - Resíduos verdes urbanos usados na compostagem. (a) Podas urbanas; (b) Resíduos CEASA.....	28@~
Figura 3 - Pilhas montadas no experimento de compostagem.....	32@~
Figura 4 - Experimento de vermicompostagem.....	35@~
Figura 5 - Temperaturas observadas no experimento de compostagem. (a) C1; (b) C2; (c) C3; (d) C4.....	41@~
Figura 6 - Temperaturas médias das pilhas observadas no experimento de compostagem.....	43@~
Figura 7 - Umidades das pilhas observadas no experimento de compostagem.	43@~
Figura 8- Temperaturas médias durante o experimento de vermicompostagem.	49@~
Figura 9 - Comparação entre os níveis dos nutrientes N, P e K nos tratamentos da vermicompostagem.....	52@~
Figura 10 - Comparação entre os níveis dos metais Zn e Cu nos tratamentos da vermicompostagem.....	53@~

RESUMO

Resíduos sólidos verdes provenientes de podas urbanas e de sobras de produtos hortifrutigranjeiros, assim como efluentes das atividades de suinocultura, apresentam-se como um dos principais problemas nas áreas urbanas e rurais, pois seus descartes de forma inadequada, provocam diversos impactos ambientais. Uma alternativa para o tratamento desses resíduos e efluentes é a compostagem aeróbia seguida pelo processo de vermicompostagem. Neste estudo, avaliou-se a integração da compostagem e vermicompostagem na bioestabilização de resíduos sólidos verdes urbanos, inoculados com água residuária da suinocultura e ativador comercial, ainda aferindo-se a qualidade do húmus de minhoca obtido. Os vermicompostos produzidos apresentaram semelhanças nos valores da relação C/N, nitrogênio e potássio, em relação ao húmus de minhoca feito com esterco bovino, indicando a possibilidade do uso dos resíduos verdes em consórcio com água residuária da suinocultura na produção de adubos orgânicos. Foram detectados os metais zinco e cobre nos vermicompostos, entretanto, em concentrações que não inferem riscos de contaminação ao solo, às plantas ou à saúde humana. Os vermicompostos de compostos orgânicos apresentaram, em média, valores mais baixos desses metais em relação ao vermicomposto de esterco bovino.

Palavras-chave: reuso, compostagem, vermicompostagem, resíduos orgânicos, húmus de minhoca.

ABSTRACT

Green solid residues coming from urban pruner and rests of agricultural products and also swineculture effluents have been showing as one of the main problems in the urban and rural areas, because their insuitable discards, being different environment impacts. A alternative in order to treatment of these residues and effluents is the aerobic composting followed by vermicomposting process. In this study, was of these evaluated the integration of the composting and vermicomposting in the biostabilization of the urban green solid residues using swine wastewater and commercial activator, furthermore being checked the quality of the earthworm humus obtained. The vermicomposts produced showed similarities in the values of the C/N ratio, nitrogen and potass, in relation to the earthworm humus made with cattle manure, indicating the possibility of the green residues use in consortium with swine wastewater in the organic fertilizer production. Metals zinc and copper in the vermicomposts were detected, however, in concentrations which don't infer risk of the human health, plants and soil contamination. The vermicomposts from organic composts showed, in average, lower value of that metals in relation to cattle manure vermicomposts.

Key words: reuse, composting, vermicomposting, organic residues, earthworm humus.

1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações da humanidade é a crescente geração de resíduos sólidos urbanos e agroindustriais que necessitam de um destino final sustentável, técnico e ambientalmente adequado, além de economicamente viável. Nos últimos anos, esses resíduos apresentam-se como um dos principais problemas nas áreas urbanas e rurais, pois sua geração, descarte e disposição inadequados provocam diversos impactos ambientais, sociais, econômicos e de saúde pública.

Como consequência desse fenômeno, o tratamento e o destino final dos resíduos sólidos e efluentes agroindustriais tornam-se um processo de grande importância nas políticas sociais e ambientais. Regra geral, a maior parte dos resíduos sólidos urbanos gerados em uma cidade como Cascavel - PR, é ocupada por matéria orgânica, enquadrando-se aqui resíduos domésticos e resíduos sólidos verdes (podas de árvores e sobras de produtos agrícolas).

Outra questão que tem preocupado não somente pesquisadores como também produtores rurais é a qualidade ambiental no meio rural. Essa preocupação se fundamenta no fato de que, com o crescente desenvolvimento tecnológico e incentivo à agroindustrialização, o setor agrícola tem gerado e lançado no meio ambiente toneladas de resíduos advindos de práticas agrícolas e outras correlatas ao setor, tais como a pecuária, a suinocultura e a avicultura.

Os resíduos sólidos verdes assim como os efluentes de sistemas de produção animal, quando inadequadamente manuseados e tratados, constituem fonte de contaminação e agressão ao meio ambiente, especialmente quando direcionados a “lixões” e aos mananciais hídricos. Entretanto, esses resíduos, quando manejados corretamente, podem ser fonte de nutrientes para produção de alimentos, além de poderem proporcionar melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Torna-se, portanto, necessário o devido tratamento e disposição final desses resíduos e efluentes. Para isso, um método simples e eficaz é a integração dos processos de compostagem e vermicompostagem, que além de diminuir o volume de resíduos sólidos verdes urbanos e promover uma forma de reuso para a água residuária da suinocultura, fornece como produto final um fertilizante orgânico que pode ser utilizado como insumo agrícola ou cobertura morta. A compostagem aeróbia promove a decomposição da fração orgânica putrescível presente nos resíduos e o processo de vermicompostagem serve como uma forma de humificação complementar dos substratos já compostados.

Como o material presente nesses resíduos é originário do descarte de animais e vegetais, o seu processamento e uso agrícola apresentam-se como alternativa cíclica natural para o retorno de nutrientes, pois a matéria-prima para a sua produção é, em sua maioria, originária das camadas superficiais do próprio solo. Desse modo, o uso como insumo na agricultura, reduz o custo de fertilizantes e consiste em melhor opção para esse tipo de resíduo que o depósito em “lixões”, rios, ou nos chamados aterros sanitários e aterros controlados.

O presente estudo teve por objetivo avaliar a integração dos processos de compostagem e vermicompostagem na bioestabilização de resíduos de podas urbanas da cidade de Cascavel - PR, codispostos com resíduos da Central de Abastecimento (CEASA) local, utilizando como agente inoculante, água residuária da suinocultura e ativador comercial, aferindo-se também a qualidade do húmus de minhoca produzido em relação ao húmus obtido convencionalmente com esterco bovino.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Segundo a norma brasileira NBR 10004, de 1987 – Resíduos Sólidos – Classificação, (ABNT, 1987) resíduos sólidos são:

... aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviáveis seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'água, ou exijam para isto soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível.

Essa definição torna evidente a diversidade e complexidade dos resíduos sólidos. Os resíduos sólidos de origem urbana (RSU) compreendem aqueles produzidos pelas inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas do município, abrangendo resíduos de várias origens, como residencial, comercial, de estabelecimentos de saúde, industriais, da limpeza pública (varrição, capina, poda e outros), da construção civil e, finalmente, os agrícolas (CASTILHOS JÚNIOR, 2003).

Há vários tipos de classificação dos resíduos sólidos que se baseiam em determinadas características ou propriedades identificadas. A NBR 10004/87 trata da classificação de resíduos sólidos quanto a sua periculosidade, ou seja, característica apresentada pelo resíduo em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, que podem representar potencial risco à saúde pública e ao meio ambiente.

De acordo com sua periculosidade os resíduos sólidos podem ser enquadrados como:

Classe I – Resíduos perigosos: São aqueles que apresentam periculosidade ou uma das características seguintes: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Classe II – Não-inertes: São aqueles que não se enquadram na classe I e III. Os resíduos classe II podem ter as seguintes propriedades: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

Classe III – inertes: São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente.

Dentre os RSU destacam-se:

a) *Resíduos domésticos:* aqueles produzidos nos domicílios residenciais, basicamente provenientes da cozinha e da limpeza e manutenção de casas. Eles são constituídos principalmente de matérias orgânicas putrescíveis que se decompõem rapidamente, particularmente, devido a temperaturas mais altas e podem produzir cheiro desagradável, além de constituírem um suporte para vetores quando não armazenados corretamente.

b) *Restos industriais e comerciais:* aqueles que compreendem os resíduos provenientes das atividades manufactureiras e que variam segundo o tipo de indústria.

c) *Resíduos hospitalares:* resíduos que, em virtude de suas características específicas, demandam cuidados e métodos especiais na sua coleta, transporte e disposição. Esses resíduos podem ser provenientes de hospitais, clínicas, casas de saúde e ambulatorios, compostos por curativos, restos de cirurgias, autópsias, seringas hipodérmicas, peças de vestuário descartáveis, pedaços de gaze, bandagens, restos de gesso e outros.

d) *Resíduos de varrição:* aqueles provenientes da varrição de vias e logradouros públicos.

e) *Resíduos de coletas especiais:* resíduos que não foram enquadrados nos casos anteriores e, em especial, aqueles provenientes de limpeza de galerias pluviais, animais mortos, resíduos volumosos, veículos abandonados, resíduos de podas urbanas e outros.

Alguns fatores influenciam diretamente a produção e composição dos resíduos domésticos, comercial e industrial, hospitalar, de varrição e de coletas especiais.

O lixo doméstico produzido é associado ao nível de renda familiar, à crescente industrialização de alimentos, aos hábitos da população e a fatores sazonais. A geração de resíduos públicos (varrição e coletas especiais) reflete a arborização das vias públicas, pelo movimento de pedestres, pela intensidade de trânsito e o tipo de comércio existente. O lixo comercial é menos influenciado por fatores externos do que o lixo domiciliar, pois sua composição depende quase completamente dos diferentes ramos de atividade comercial. O lixo industrial, como tem sua composição intimamente ligada às características da indústria que o produz, varia na mesma proporção em que são modificados os materiais e o processamento de matérias-primas.

No Brasil, conforme a Pesquisa Nacional sobre Saneamento Básico – PNSB (2000), citada por JUCÁ (2003), são coletadas diariamente cerca de 228.413 toneladas de resíduos sólidos, sendo 125.258 toneladas referentes a resíduos domiciliares. A Tabela 1 apresenta a população brasileira e sua distribuição regional, a quantidade de resíduos sólidos gerados diariamente e a geração por pessoa e por região. Em relação à geração por pessoa, observa-se uma grande discrepância de resultados por região, devido aos resíduos não domiciliares, que não têm uma relação direta com a população.

Tabela 1 - Geração de resíduos sólidos no Brasil

	População Total		Geração de Resíduos		Geração per capita (Kg/hab/dia)
	Valor	Percentual (%)	Valor	Percentual (%)	
Brasil	169.799.170	100	228.413	100	1,35
Norte	12.900.704	7,6	11.067	4,8	0,86
Nordeste	47.741.711	28,1	41.558	18,2	0,87
Sudeste	72.412.411	42,6	141.617	62	1,96
Sul	25.107.616	14,8	19.875	8,7	0,79
Centro-Oeste	11.636.728	6,9	14.297	6,3	1,23

Fonte: JUCÁ (2003).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2004), conforme dados apresentados a partir de um Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, foram coletados em 2002, na Cidade de Cascavel – PR, 70.335 toneladas de resíduos sólidos domiciliares, públicos e da construção civil.

Nas cidades, é a prefeitura municipal que deve dar um destino ao lixo. A administração pública planeja os sistemas de recolhimento, tratamento e disposição final do lixo nas cidades.

Normalmente, os RSU gerados são encaminhados para a disposição em aterros sob responsabilidade do poder municipal.

Segundo a norma NBR 8.419/84 (ABNT, 1984) Aterro Sanitário é:

... uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde e à sua segurança, minimizando impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se for necessário.

Os aterros constituem hoje a forma mais viável (ambiental e financeiramente) para destinação final de resíduos sólidos não recicláveis. Os aterros impactam o meio ambiente principalmente pelo vazamento de líquido percolado (chorume) e da emissão de gases (biogás) por meio dos drenos.

Entretanto, nem todos os municípios dispõem adequadamente seus resíduos sólidos o que resulta em problemas ambientais relevantes, como a produção dos lixiviados, potencialmente tóxicos, devido, por exemplo, às altas concentrações de matéria orgânica e nitrogênio amoniacal que estes, em geral, apresentam. Neste caso, ainda se pode considerar a codisposição de resíduos de origem industrial, hospitalar e os lodos de esgoto das estações de tratamento, que contêm grandes concentrações de metais pesados, de efeito acumulativo na biota de rios e lagos.

Devido aos riscos ambientais e para a saúde pública, são indispensáveis os processos de tratamento dos resíduos sólidos urbanos, com as devidas disposições finais e, sempre que possível, agregação de valor por meio de técnicas de reciclagem, reuso, compostagem-vermicompostagem, entre outras.

2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS VERDES URBANOS (RSVU)

Segundo BIDONE (2001), os resíduos sólidos verdes são aqueles provenientes da prática das podas realizadas no perímetro urbano e por sobras de produtos hortifrutigranjeiros. Eles representam uma considerável fração vegetal oriunda de parques, praças, jardins residenciais e comerciais, de vias públicas, de feiras livres ou mercados municipais e de Centrais de Abastecimento (CEASAs).

Esses resíduos são biodegradáveis, portanto, não-inertes e classificados como Resíduos Classe II, de acordo com a norma NBR 10004/87, e podem receber manejo e tratamento semelhante aos resíduos urbanos.

Em estudos realizados por BIDONE (2001), foram caracterizadas amostras de resíduos sólidos verdes (podas e resíduos de CEASA). Também, BRITO et al. (2002) e LEITE et al. (2003), avaliaram alguns parâmetros físico-químicos de resíduos sólidos de Centrais de Abastecimento e feiras livres. Os resultados desses estudos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Caracterização de resíduos sólidos verdes urbanos

Parâmetro	Poda ¹	CEASA ¹	CEASA ²	CEASA ³
<i>Umidade (%)</i>	44,20	88,49	76,5	77,1
<i>Matéria orgânica (%)</i>	67,15	85,43	91,4	83,6
<i>Carbono orgânico (%)</i>	15	37	50,8	46,2
<i>pH</i>	7,3	-	6,5	4,6
<i>C/N</i>	32,6	13,7	29,8	16,5
<i>N (%)</i>	0,46	2,70	1,7	2,8
<i>P (%)</i>	0,12	0,37	0,095	0,40
<i>K (%)</i>	0,51	2,40	-	-
<i>Ca (%)</i>	0,62	1,80	-	-

Continua ..

<i>Mg (%)</i>	0,14	0,26	-	-
<i>Fe (%)</i>	1,40	0,28	-	-
<i>S (%)</i>	0,05	0,56	-	-
<i>Cd (mg Kg⁻¹)</i>	<1	<1	-	-
<i>Cr (mg Kg⁻¹)</i>	44	40	-	-
<i>Ni (mg Kg⁻¹)</i>	33	8	-	-
<i>Pb (mg Kg⁻¹)</i>	23	99	-	-
<i>Cu (mg Kg⁻¹)</i>	13	6	-	-
<i>Zn (mg Kg⁻¹)</i>	162	43	-	-
<i>Mn (mg Kg⁻¹)</i>	242	142	-	-
<i>DQO (g Kg⁻¹)</i>	-	-	138,7	-

Fontes: ¹ Bidone (2001). ² Brito et al. (2002). ³ Leite et al. (2003).

Na cidade de Cascavel - PR, segundo dados da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, são geradas diariamente, em média, entre 6 e 7 toneladas de resíduos referentes a podas de árvores¹. Ainda, de acordo com a Central de Abastecimento (CEASA) local, são gerados, em média, 7 toneladas por dia de resíduos sólidos verdes (restos de hortifrutigranjeiros)². Esses resíduos são, em sua maioria, encaminhados ao aterro sanitário municipal.

BIDONE (2001) relata que é típico encontrar sobre células já “seladas”, principalmente nos grandes aterros, como ocorre no Estado de São Paulo, resíduos provenientes de podas, sendo secos à intempérie, para posteriormente serem queimados sobre o próprio terreno.

Os resíduos sólidos verdes constituem um grande problema, quando destinados aos aterros, pois os resíduos de poda são quase sempre volumosos e de difícil compactação e os restos de produtos agrícolas, tais como talos e folhas de vegetais, folhas de frutas, frutas e vegetais deteriorados, palhas verdes e secas, entre outros, podem acarretar problemas ambientais, devido ao “chorume” gerado e não tratado adequadamente.

Esses resíduos podem ser submetidos aos processos de compostagem e vermicompostagem como opção de tratamento e disposição

¹ Informação obtida junto à diretoria da Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município de Cascavel - PR.

² Informação obtida junto a Central de Abastecimento do município de Cascavel - PR.

final, pois possuem facilidade de manejo e permitem a obtenção de insumos agrícolas.

2.3 ÁGUA RESIDUÁRIA DA SUINOCULTURA (ARS)

Até a década de 70, os resíduos oriundos da produção de suínos no Brasil não constituíam fato preocupante, pois a concentração de animais por unidade de área era pequena. Entretanto, com a adoção de sistemas confinados de criação, o quadro modificou-se e, hoje, a suinocultura é considerada pelos órgãos de fiscalização ambiental, quando conduzida sem os devidos cuidados com os seus efluentes, como uma das principais atividades degradadoras do meio ambiente (CORRÊA; CORRÊA, 2003). A perda da qualidade do ar, a degradação dos recursos hídricos e do solo, o desconforto da população com a proliferação de insetos e os problemas de saúde como alergias, hepatites, câncer e outras doenças, estão presentes nas principais microrregiões brasileiras produtoras de suínos.

De acordo com JARDIM (2005), o Brasil possui cerca de 35 milhões de cabeças de suínos, sendo o terceiro maior rebanho do mundo. São mais de 192 milhões de m³/ano de água demandada pelo setor de produção, concentrado, basicamente, na Região Sul, e mais de 100 milhões de m³/ano de efluentes gerados pela atividade suinícola. Os dejetos desses animais constituem uma das mais importantes fontes de poluição da água, da terra e do ar quando despejados na natureza sem prévio tratamento Segundo Perdomo (2005), citado por JARDIM (2005), do ponto de vista ambiental, a Região Sul do Brasil, por possuir uma grande densidade de suínos, é uma das áreas em que é preciso maior cuidado com a questão da emissão e utilização de dejetos suínos. Sudoeste e Oeste do Paraná, Vale do Piranga - Minas Gerais e noroeste do Rio Grande do Sul, são exemplos desta preocupação.

Juntamente com a excessiva produção de dejetos, há também a excreção de altas doses de fósforo e nitrogênio, em formas não assimiláveis pelas plantas e solo, que quando lançadas diretamente no meio ambiente tornam-se agentes poluidores. Ainda, altos níveis de N e P lançados em águas superficiais podem causar eutrofização, com queda na concentração de oxigênio devido ao rápido crescimento de algas e conseqüente mortalidade de peixes (SERAFIG; LUCAS JÚNIOR, 2003). Considerando-se a dieta dos suínos, NRC (1998), citado por LUDKE e LUDKE (2005), argumenta que cerca de 45 a 60% do nitrogênio, 50 a 80% do fósforo e cálcio, aproximadamente 70 a 95% do cobre, zinco, potássio, sódio, magnésio, manganês e ferro consumidos são excretados pelos suínos.

Na Tabela 3, são apresentadas algumas características físicas e químicas para a água residuária de suinocultura relatadas por diferentes autores.

Tabela 3 - Características físico-químicas da água residuária da suinocultura

PARÂMETRO	AUTORES		
	BRANDÃO et al. (2000)	BAUMGARTNER (2003)	ANAMI (2003)
<i>pH</i>	-	8,13	8,00
<i>N (mg L⁻¹)</i>	936	1942,05	147,95
<i>P (mg L⁻¹)</i>	88	22,5	30,8
<i>K (mg L⁻¹)</i>	504,9	565	450
<i>Ca (mg L⁻¹)</i>	130	-	-
<i>Mg (mg L⁻¹)</i>	50,5	-	-
<i>Zn (mg L⁻¹)</i>	1,15	-	-
<i>Cu (mg L⁻¹)</i>	1,61	-	-
<i>DQO (mg L⁻¹)</i>	-	3208	2062
<i>DBO (mg L⁻¹)</i>	-	987	594

Em uma granja de suínos, a quantidade diária de efluentes produzida depende, dentre outros fatores, do número e da idade dos animais, da quantidade de água desperdiçada na higienização das baias e bebedouros, resíduos de ração, pêlos, poeira e outros materiais decorrentes do processo criatório (CORRÊA; CORRÊA, 2003; OLIVEIRA et al., 2000). Esses fatores, associados, definem a concentração de sólidos na água residuária, os custos

com estruturas de tratamento ou de armazenamento e a necessidade de área para recebimento dessas águas, como forma de adubação orgânica, caso seja esta a maneira escolhida para disposição do resíduo (OLIVEIRA et al., 2000).

Nesse contexto, são necessárias opções que possam contribuir para a solução dos problemas ambientais gerados pelos efluentes da suinocultura e que proponham alternativas que sejam técnica e economicamente viáveis para a propriedade rural e ambientalmente aceitas pela sociedade. Cresce o interesse no uso de dejetos de suínos como adubo orgânico em substituição aos fertilizantes químicos. Entretanto, embora o uso de dejetos animais como fertilizante do solo seja uma prática milenar, as condições atuais não são as mesmas da época dos pequenos rebanhos e da agricultura familiar ou de baixa escala de produção. Os atuais sistemas de criação geram grandes quantidades de dejetos, cuja proporção de nutrientes mostra-se desequilibrada em relação à capacidade de absorção das plantas.

SEGANFREDO (2004) recomenda, para dejetos de qualquer espécie animal, a compostagem no caso de dejetos sólidos e a fermentação no caso de dejetos líquidos, pois esses processos promovem a mineralização de vários compostos, diminuem os riscos de problemas sanitários e evitam a proliferação de insetos.

Segundo SEDIYAMA et al. (2000), o uso de dejetos líquido gerado na suinocultura, como fonte de nitrogênio para a compostagem de resíduos de culturas agrícolas tem sido identificada como alternativa promissora para a destinação desses resíduos poluentes. Ainda, BIDONE (2001) sugere a utilização dos dejetos suínos no processo de compostagem como reposição de umidade, inoculação de microrganismos e adição de nutrientes.

2.4 O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A compostagem é um processo biológico aeróbio e controlado, no qual ocorre a transformação de resíduos orgânicos em resíduos estabilizados, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem. Esse processo de biodegradação é considerado uma alternativa de tratamento da matéria orgânica presente em resíduos sólidos. A degradação biológica da matéria orgânica é acompanhada, principalmente, pelo controle da temperatura, como um dos fatores principais da compostagem (BIDONE, 2001).

Segundo KIEHL (1985), o termo compostagem indica a ação ou o ato de preparar adubo ou fertilizante que recebe o nome de composto orgânico. É uma técnica utilizada para se obter mais rapidamente a estabilização da matéria orgânica ou humificação. Na natureza esse processo de decomposição, em condições normais, ocorre em tempo indeterminado.

No tocante a aspectos sanitários, PEREIRA NETO (1994) cita que a compostagem tem grande importância para o tratamento de resíduos, por atender a todas as prerrogativas ambientais, como: contribuir para evitar os aspectos estéticos desagradáveis da presença de resíduos no ambiente; absorver qualquer tipo de resíduo orgânico sólido produzido pela sociedade; reciclar nutrientes e energia, contribuindo para a economia dos recursos naturais; não exigir mão-de-obra especializada; requerer pouca energia externa e instalações simples e baratas; ter baixo custo e ser aplicável a qualquer escala operacional, além de produzir um fertilizante de grande aplicabilidade para a agricultura.

Como processo biológico, a compostagem é influenciada por todos os fatores que comumente afetam a atividade microbiológica. Dentre esses fatores, os principais são: a umidade, aeração, temperatura, tamanho das partículas, relação C/N e pH (PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 1985; FERNANDES, SANTOS; PEREIRA NETO, 2000, TEIXEIRA et al. 2002a; BIDONE, 2001). Esses fatores são descritos a seguir:

a) Temperatura

O processo de compostagem é desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos e envolve necessariamente duas fases distintas, sendo a primeira de degradação ativa (necessariamente termófila) e a segunda de maturação ou cura. Na fase de degradação ativa, a temperatura deve ser controlada a valores termófilos, na faixa de 45 a 65°C. Já na fase de maturação ou cura, na qual ocorre a humificação da matéria orgânica previamente estabilizada na primeira fase, a temperatura do processo deve permanecer na faixa mesófila, ou seja, menor que 45°C (BIDONE, 2001; PEREIRA NETO, 1996).

Alguns autores recomendam que a temperatura ótima para o processo de compostagem nos primeiros 30 dias seja de 55°C. É importante a manutenção da temperatura ideal para evitar a redução da população de microrganismos e da atividade metabólica.

Na primeira fase do processo, chamada de fase ativa de degradação ou de bioestabilização, com duração de 60 a 70 dias, a temperatura atinge valores elevados. Desde que existam condições favoráveis e dependendo do material inicial, nos primeiros 2 a 3 dias, a temperatura alcança entre 50 e 60°C, atingindo valores de 60 a 75°C antes dos 15 dias. O processo mantém esses valores por certo período e depois decresce para 40°C ou menos, por alguns dias, indicando o final da fase de bioestabilização e o início da fase de maturação ou cura. Após 120 a 130 dias, com a cura completa do composto, a temperatura mantém-se igual ou próxima à temperatura ambiente (TEIXEIRA et al., 2002a).

Segundo PEREIRA NETO (1996), dentre os principais fatores que influenciam o bom desenvolvimento da temperatura nas leiras de compostagem, citam-se as características da matéria-prima, o tipo de sistema utilizado, o controle operacional (teor de umidade e revolvimento) e a configuração geométrica das leiras.

As altas temperaturas no interior da leira de compostagem, na fase de bioestabilização, eliminam organismos patogênicos, larvas de insetos, ovos de helmintos e sementes de ervas daninhas, o que garante a qualidade sanitária do composto (TEIXEIRA et al., 2002a; PEREIRA NETO, 1996; BIDONE, 2001).

b) Aeração

Para o adequado metabolismo dos microrganismos é necessária a presença de oxigênio. Portanto, a aeração tem por finalidade básica suprir a demanda de oxigênio requerida pela atividade microbiológica e atuar como agente de controle de temperatura. O processo de compostagem aeróbio evita o mau cheiro e a proliferação de vetores (BIDONE, 2001).

O revolvimento das leiras de compostagem pode ser manual ou mecânico, com o auxílio de uma pá-carregadeira ou de um trator específico para essa finalidade.

Segundo pesquisas realizadas por PEREIRA NETO et al. (1989), o ciclo de revolvimento mais apropriado para as leiras de compostagem é realizado de 3 em 3 dias nos primeiros 30 dias do processo, seguindo-se um reviramento feito com espaço de 6 dias até que sejam registradas temperaturas máximas inferiores a 40°C (fim da primeira fase do processo).

De acordo com PEREIRA NETO (1996), o calor resultante da oxidação biológica da matéria orgânica, principalmente devido à oxidação do carbono, é retido na leira devido às características isotérmicas da matéria orgânica. Durante o revolvimento, o calor é liberado para o meio ambiente na forma de vapor de água. Nesse momento, faz-se a correção da umidade, por meio da distribuição uniforme de água na massa.

c) Umidade

O teor de umidade ideal para a ação dos microrganismos benéficos ao processo de compostagem situa-se em torno de 55% a 60% (TEIXEIRA et al., 2002a). Para o controle da umidade, são realizadas regas por meio de irrigação artificial.

Segundo PEREIRA NETO (1996), o controle do excesso de umidade é um fator necessário e importantíssimo ao processo, por evitar a anaerobiose, a qual ocorre quando o excesso de água ocupa os espaços vazios (porosidade) do material. Por outro lado, baixos teores de umidade, menores que 40%, restringem a atividade microbiológica de degradação dos resíduos orgânicos.

d) Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)

A rapidez da decomposição ocorre de acordo com a estrutura molecular de cada material. Por exemplo, materiais ricos em carbono, como serragens, palhas, resíduos de poda, entre outros, degradam mais lentamente

que os resíduos úmidos domésticos (devido à alta relação carbono/nitrogênio e às grandes concentrações de lignina); nessa hipótese, enquanto não for compensada a deficiência de nitrogênio, o processo avançará vagarosamente, podendo sofrer interrupções ou até cessar (BIDONE, 2001). À medida que escasseiam os materiais biodegradáveis, o processo diminui em intensidade até o material bruto ser completamente transformado em húmus.

A relação C/N influencia diretamente o desempenho dos microrganismos envolvidos no processo, determinando a facilidade e velocidade de decomposição dos materiais empregados na compostagem (KIEHL, 1985). A ação dessa relação se dá pelo fato do carbono ser a fonte de energia e o nitrogênio a fonte básica para a reprodução e crescimento celular. Como consequência, um excesso de carbono prolongará o tempo de compostagem, exigindo muita reciclagem de nitrogênio e, por outro lado, o excesso deste último causará volatilização de amônia até que se estabeleça uma relação C/N adequada para a continuidade do processo. Assim, a relação considerada adequada fica em torno de 30/1 (PEREIRA NETO, 1996).

e) Tamanho das Partículas

Antes da montagem das leiras de compostagem, os resíduos devem ser submetidos a uma correção do tamanho das partículas. As dimensões ideais para o processo devem estar compreendidas entre 1 e 5 cm (BIDONE, 2001; PEREIRA NETO, 1996).

Caso as partículas sejam muito finas, pode ocorrer compactação excessiva da leira. Ao contrário, se as partículas forem muito grossas, decorrerá um maior tempo para a decomposição dos materiais.

f) pH

Segundo PEREIRA NETO (1996), alguns trabalhos citados pela bibliografia especializada registram que a faixa ótima de pH para a compostagem deve situar-se entre 6,5 a 8,0.

As mudanças que ocorrem nos principais parâmetros de controle durante as fases da compostagem são apresentadas, resumidamente, na Figura 1.

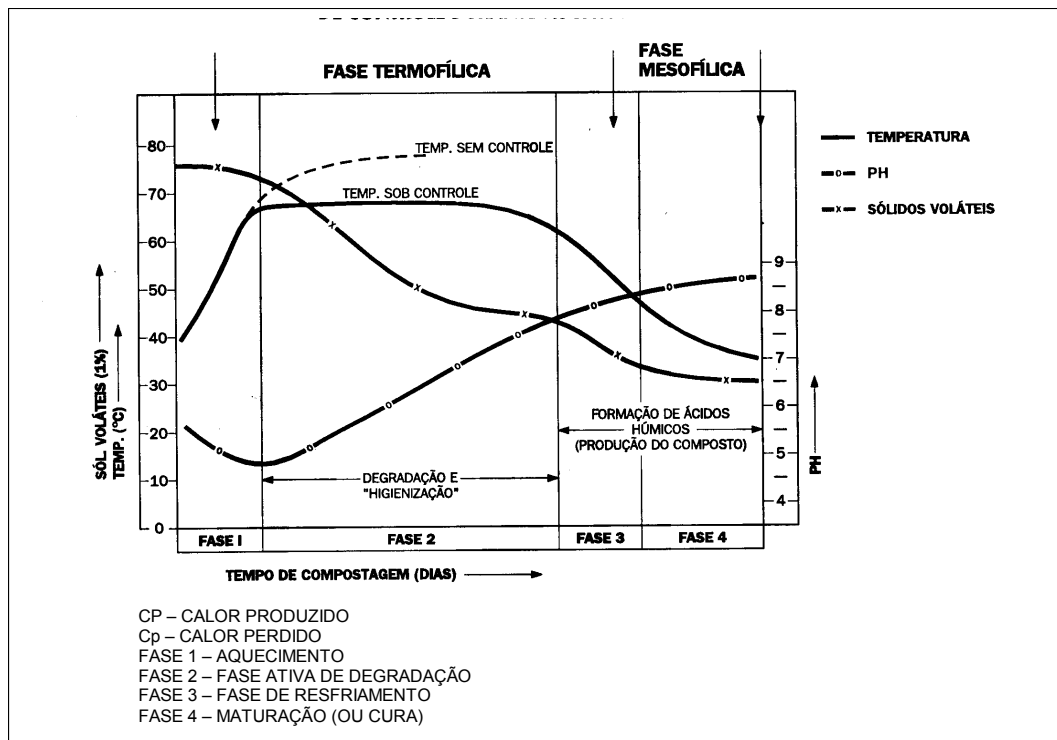


Figura 1 - Mudanças ocorrentes nos principais parâmetros de controle durante as fases de compostagem.

Fonte: PEREIRA NETO (1996).

A compostagem vem sendo utilizada há bastante tempo para a estabilização de vários resíduos agrícolas. Entretanto, atualmente apresenta-se como uma alternativa viável para o processamento de diversos resíduos orgânicos provenientes da coleta de lixo urbano, de processos industriais e de sistemas de produção animal.

OLIVEIRA et al. (2003) demonstraram a possibilidade da utilização do tratamento dos dejetos de suínos pela compostagem utilizando-se maravalha e serragem como fonte de carbono.

Avaliando a produção de compostos a partir da mistura de lodo de esgoto e podas verdes em diferentes concentrações, ANDREOLI, BACKES e CHERUBINI (2002) indicaram a compostagem como uma excelente alternativa para higienização do material, produzindo um composto sanitariamente seguro para utilização agrícola.

2.5 CARACTERÍSTICAS DO COMPOSTO

A bioestabilização de resíduos orgânicos, a partir do processo de compostagem, gera como produto final o composto orgânico. As características desse produto refletem os conteúdos dos componentes dos resíduos que o originou, o seu grau de segregação e a qualidade do processo de compostagem.

O composto possui vários macro e micronutrientes, além da matéria orgânica, que são importantes para o solo e plantas. Entretanto, o composto de má qualidade, ou seja, aquele originário de resíduos contaminados com substâncias químicas poluentes e/ou patogênicas pode conter metais potencialmente tóxicos, que adicionados ao solo podem ser absorvidos pela planta, entrando assim na cadeia alimentar (SILVA et al., 2002a).

Antes do composto ser utilizado como condicionador de solos ou fertilizante orgânico na agricultura, o material deve ser analisado para verificar se há em sua composição, microrganismos patogênicos e substâncias tóxicas em concentração elevada, que possa trazer risco de contaminação dos recursos naturais e/ou à saúde pública.

Caso o composto apresente contaminação por patógenos, isso indica que o processo de compostagem foi deficiente, pois, quando a compostagem é feita sob condições ideais a pilha de composto passa por uma fase mesófila, seguida de uma fase termófila, em que a temperatura chega a atingir 60°C por

alguns dias, o que destrói tanto os organismos patogênicos como as ervas daninhas presentes no composto.

Na Tabela 4, são apresentados alguns parâmetros em diferentes compostos, relatados por PEREIRA NETO (1995), TEIXEIRA et al. (2002b), GOUVEIA e PEREIRA NETO (2000), SILVA et al. (2002a) e LEVY e LENHARDT (2002). Os resultados de PEREIRA NETO (1995), GOUVEIA e PEREIRA NETO (2000) e SILVA et al. (2002a) referem-se a compostos de lixo urbano. O trabalho de TEIXEIRA et al. (2002b) inclui, além do lixo urbano, resíduos de caroço de açaí e capim. Os valores apresentados por LEVY e LENHARDT (2002) são provenientes da compostagem de resíduos agroindustriais.

Tabela 4 - Características de alguns compostos orgânicos

Parâmetro	Autores				
	PEREIRA NETO (1995)	GOUVEIA; PEREIRA NETO (2000)	LEVY; LENHARDT (2002)	TEIXEIRA et al. (2002 b)	SILVA et al. (2002 a)
<i>Umidade (%)</i>	23,5	25	57	11,1	-
<i>pH</i>	7,3	8,46	7,4	6,6	-
<i>MO (%)</i>	-	26,75	-	38,95	30 – 49
<i>N (%)</i>	1,3	2,03	1,9	2,72	1,15
<i>P (%)</i>	1,3	-	0,34	2,4	0,4
<i>K (%)</i>	0,25	-	0,21	3,09	0,6
<i>C/N</i>	-	11,02	-	7,4	-
<i>Ca (%)</i>	-	-	6,7	7,99	2,9
<i>Mg (%)</i>	-	-	0,31	1,68	0,6
<i>Fe (%)</i>	-	-	-	-	1,5
<i>Al (%)</i>	-	-	-	-	1,6
<i>Na (%)</i>	-	-	-	-	0,6
<i>Cd (mg Kg⁻¹)</i>	-	-	-	4,08	2,6
<i>Cr (mg Kg⁻¹)</i>	-	-	-	-	78
<i>Cu (mg Kg⁻¹)</i>	-	-	-	65,6	178
<i>Mn (mg Kg⁻¹)</i>	-	-	-	1515,3	165
<i>Ni (mg Kg⁻¹)</i>	-	-	-	-	58
<i>Pb (mg Kg⁻¹)</i>	-	-	-	25,90	110
<i>Zn (mg Kg⁻¹)</i>	-	-	-	162,5	310

<i>Hg (mg Kg⁻¹)</i>	-	-	-	0,90	-
--------------------------------	---	---	---	------	---

Nota: MO = matéria orgânica.

A Instrução Normativa Nº 23 de 31/08/2005, da Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, estabeleceu as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura, conforme seus anexos. O Anexo III da referida Instrução Normativa apresenta as especificações dos Fertilizantes Orgânicos, Misto e Composto e consta no Anexo A desta dissertação.

Quanto aos metais pesados, no Brasil ainda não existe uma legislação específica que controle sua quantidade no composto. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), citada por SILVA et al. (2002a) publicou uma Circular Técnica recomendando o uso agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo. Nessa Circular, são estabelecidos os limites máximos para metais pesados no composto de lixo, baseados em valores de pesquisas e em parâmetros internacionais encontrados atualmente (Tabela 5).

Tabela 5 - Teores permissíveis de metais pesados (mg Kg⁻¹) no composto de lixo urbano em alguns países e segundo a circular técnica da EMBRAPA

País	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Cd	Hg
<i>Alemanha</i>	150	100	400	100	50	15	1
<i>Estados Unidos</i>	500	500	1000	1000	100	10	5
<i>França</i>	800	-	-	-	200	8	8
<i>Áustria</i>	900	1000	1500	300	200	6	4
<i>Itália</i>	500	600	2500	500	200	10	10
<i>Suíça</i>	150	150	500	-	-	3	3
<i>Holanda</i>	20	300	900	50	50	2	2
<i>EMBRAPA</i>	500	500	1500	300	100	5	2

Fonte: Silva et al. (2002a).

2.6 O PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM

A vermicompostagem é um tipo de compostagem na qual se utilizam minhocas para digerir a matéria orgânica, provocando sua degradação e melhorando o arejamento e a drenagem do material em fase de maturação (BIDONE, 2001). É a humificação complementar do composto orgânico com o auxílio de minhocas, cuja finalidade é melhorar as características do produto final, que é denominada vermicomposto ou húmus de minhoca.

Segundo LAMIM et al. (1998), embora a compostagem de resíduos orgânicos seja uma prática antiga, a vermicompostagem foi desenvolvida a partir de pesquisas mais recentes, realizadas por programas de manejo de minhocas, em Rothamstead (Inglaterra), no período de 1940 a 1950. Após 1970, os pesquisadores engajaram-se no estudo do potencial das minhocas para conversão de resíduos orgânicos em uma forma mais estável de matéria orgânica.

A vermicompostagem pode ser entendida como um processo de dois estágios. Primeiro, a matéria orgânica é compostada de acordo com os padrões normais, com a redução de microrganismos patogênicos e retorno à condição de temperatura ambiente. Após a estabilização da temperatura, o material compostado é transferido para leitos rasos, onde então, faz-se a inoculação das minhocas e, após determinado tempo, obtém-se o vermicomposto pronto, com aumento na disponibilização de macro e micronutrientes e a formação de um húmus mais estável.

De acordo com NDEGWA e THOMPSON (2001), um sistema integrado que toma qualidades pertinentes aos processos da compostagem termófila tradicional e da vermicompostagem fornece um produto livre de patógenos e com características desejáveis em menos tempo do que se fosse utilizado cada processo individualmente.

No processo de vermicompostagem a aceleração da humificação da matéria orgânica ocorre pela ação das enzimas produzidas no tubo digestivo das minhocas e da atividade de microrganismos nele presentes.

As minhocas são vermes segmentados formados por divisões denominadas metâmeros, muito semelhantes a anéis. São parcialmente dotadas de órgãos dos sentidos – não ouvem, possuem olfato muito fraco e não tem olhos; exceção deve ser feita ao sentido do tato, que é bem desenvolvido. Sofrem de fotofobia, tem aversão à luz ultravioleta e são hermafroditas. Entre os anéis 32 e 37, há uma formação distinta, de coloração branco-amarelada, denominada clitelo, responsável pela formação de um invólucro que contém ovos fertilizados, denominado casulo (BIDONE, 2001).

Há uma preferência pela espécie *Eisenia foetida*, conhecida como minhoca vermelha da Califórnia ou minhoca do esterco, por causa da habilidade de converter os resíduos orgânicos pouco decompostos em material estabilizado. Atualmente, vem se destacando a minhoca conhecida como africana (*Eudrilus eugeniae*), em razão do seu tamanho avantajado (RODRIGUES et al., 2003).

Segundo MIGDALSKI (2001), o ambiente ideal para as minhocas é constituído de material rico em matéria orgânica ou que possuam uma pequena camada úmida na superfície. Outros fatores limitantes a sua sobrevivência são o pH e a oxigenação. Portanto, são esses os fatores que interferem no processo de vermicompostagem, pois refletem as necessidades e as restrições impostas pelas minhocas, garantindo sua perfeita adaptação ao meio.

Os principais fatores que podem ser referidos como importantes na vermicompostagem são: umidade, aeração, temperatura, relação C/N (concentração de nutrientes), pH e tamanho das partículas (MIGDALSKI, 2001; BIDONE, 2001; EMATER/PR, 2004). Esses fatores são descritos a seguir:

a) Umidade

A umidade do material a ser vermicompostado deve situar-se na faixa de 70% a 75% (BIDONE, 2001; EMATER - PR, 2004).

b) Oxigenação

Na vermicompostagem, as minhocas, que somente sobrevivem sob condições aeróbias, revolvem e mantêm o material em condições aeróbias (NDEGWA; THOMPSON, 2001).

Segundo BIDONE (2001), são necessários apenas 3 mg/L de O₂ para que as minhocas vivam e proliferem. Esse valor pode ser obtido diretamente do ar atmosférico.

c) Temperatura

As minhocas só podem ser introduzidas no material a ser vermicompostado quando a temperatura estiver entre 20 e 28°C (morno ao tato); caso contrário, elas fugirão ou morrerão (EMATER - PR, 2004). De acordo com GUIMARÃES (2005), a temperatura preferencial para as minhocas vermelhas da Califórnia é compreendida entre 18 e 25°C e para as minhocas africanas fica na faixa de 25 a 28°C.

d) Relação C/N

As necessidades nutricionais no processo situam-se na mesma faixa de relação C/N da compostagem. Uma relação entre 26 e 35 proporciona uma rápida e eficiente estabilização (BIDONE, 2001).

e) pH

Conforme EMATER – PR (2004), o pH do material a ser vermicompostado deve estar entre 6,5 e 7. Entretanto, BIDONE (2001) referencia que as minhocas ingerem toda matéria orgânica, desde que não seja muito ácida e não tenha cheiro pronunciado.

f) Tamanho das partículas

Pesquisas realizadas com vermicompostagem apresentaram excelentes resultados para substratos peneirados em peneiras de malha 2 mm. É preciso referir que, embora mais lentamente, as minhocas trabalham em materiais de maior granulometria (BIDONE, 2001).

A utilização de minhocas para a produção de fertilizante orgânico (húmus) ainda não é uma tecnologia muito difundida. Entretanto, vale ressaltar que, por meio dela, pode-se obter a reciclagem e tratamento da maioria dos resíduos sólidos, desde que estes contenham matéria orgânica. NDEGWA e THOMPSON (2001) estudaram a combinação dos processos de compostagem e vermicompostagem na bioestabilização de resíduos da indústria de papel e lodo de esgoto ativado. Os resultados indicaram que um sistema que combina os dois processos não somente diminui o tempo de estabilização, mas também melhora as qualidades do produto final.

Em trabalho realizado, SILVA et al. (2002b) avaliaram alterações químicas no substrato orgânico no decorrer do processo de vermicompostagem de diferentes combinações de lodo de esgoto urbano com bagaço de cana-de-açúcar, além de sua qualidade final como adubo orgânico, e concluíram que os vermicompostos produzidos indicaram condições químicas favoráveis para utilização agrícola, viabilizando, assim, o destino para ambos os resíduos.

A avaliação da vermicompostagem de lodo de lagoas de tratamento proveniente de indústria de processamento de frutas, consorciado com composto de lixo urbano, foi realizada por VERAS e POVINELLI (2004). Dentre os resultados obtidos pode-se destacar bons indicadores do nível de maturidade dos resíduos, representados pela relação carbono/nitrogênio, a influência da minhoca na elevação do pH e sua contribuição para uma estabilização mais acelerada da matéria orgânica.

Elvira et al. (1996), citados por SILVA et al. (2002b) cultivaram *Eisenia foetida* e *Eisenia andrei* em lodo da indústria de papel, lixo doméstico, esterco bovino e esterco de coelho, verificando que as minhocas apresentaram crescimento semelhante nos quatro resíduos. Já em pesquisas desenvolvidas por BIDONE (2001), o autor demonstrou a viabilidade da compostagem/vermicompostagem de resíduos sólidos verdes urbanos (podas e resíduos provenientes de CEASA) juntamente com lodo de esgoto, obtendo um corretivo de solo higiênico e sanitariamente seguro.

2.6.1 Características do Vermicomposto

O húmus ou simplesmente vermicomposto é um material de coloração escura, inodoro, muito rico em flora bacteriana e estável. Possui composição química variável, conforme a matéria-prima utilizada como substrato.

Na Tabela 6, apresentam-se parâmetros físico-químicos de diferentes vermicompostos, obtidos em estudos de LAMIM et al. (1998), SOARES, SOUZA e CAVALHEIRO (2001), SILVA et al. (2002b) e RODRIGUES et al. (2003). Os resultados de SOARES, SOUZA e CAVALHEIRO (2001) referem-se

a análises de vermicomposto vendido comercialmente. SILVA et al. (2002b) estudaram a vermicompostagem de lodo de esgoto bruto e bagaço de cana-de-açúcar. Já RODRIGUES et al. (2003) e LAMIM et al. (1998) utilizaram esterco bovino como substrato para as minhocas.

Tabela 6 - Características de alguns vermicompostos

Parâmetro	Autores			
	LAMIM et al. (1998)	SOARES; CAVALHEIRO (2001)	SILVA et al. (2002b)	RODRIGUES et al. (2003)
<i>pH</i>	7,2	6,19	6,30	-
<i>MO (%)</i>	45,6	-	-	-
<i>C (%)</i>	-	12,64	-	-
<i>N (%)</i>	1,23	0,92	1,42	1,93
<i>P (%)</i>	-	1,00	1,38	0,96
<i>K (%)</i>	-	0,0001	2,93	0,52
<i>C/N</i>	14,72	13,73	-	-
<i>Ca (%)</i>	-	0,00007	0,11	2,66
<i>Mg (%)</i>	-	0,00001	1,1	0,60
<i>Fe (%)</i>	-	0,0017	-	2,89
<i>Cd (mg Kg⁻¹)</i>	-	0,24	2,31	-
<i>Cr (mg Kg⁻¹)</i>	-	0,35	63,46	-
<i>Cu (mg Kg⁻¹)</i>	-	0,53	-	-
<i>Ni (mg Kg⁻¹)</i>	-	-	13,67	-
<i>Pb (mg Kg⁻¹)</i>	-	0,81	139,26	-

Comparado com o solo, os resíduos das minhocas contêm maiores quantidades de matéria orgânica, de nitrogênio total e, sob a forma de nitratos, de cálcio e magnésio permutáveis, maior disponibilidade de fósforo, além do pH, de porcentagem de saturação de bases e capacidade permutável mais elevado (BUCKMAN; BRADY, 1976). Entretanto, dependendo do substrato utilizado na produção do vermicomposto, deve-se atentar às quantidades de metais pesados que possam estar presentes nele, para que não representem contaminação do solo e plantas.

A Instrução Normativa Nº 23 de 31/08/2005-- MAPA não prevê especificações para as quantidades de metais pesados nos vermicompostos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento desenvolvido neste trabalho foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa desenvolveu-se a compostagem dos resíduos sólidos verdes urbanos, utilizando-se a água residuária de suinocultura e ativador comercial como inoculantes. Na segunda etapa realizou-se a vermicompostagem dos compostos resultantes da primeira etapa do experimento e, também, de esterco bovino.

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O processo de compostagem foi conduzido nas dependências da empresa Solovel Agrícola, localizada na Rodovia PR 486, km 2, no município de Cascavel – PR.

A etapa de vermicompostagem foi conduzida na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* de Cascavel, em ambiente protegido de 50 m².

3.2 ETAPA DE COMPOSTAGEM

3.2.1 Preparo do Local

O solo do local onde foram montadas as pilhas de compostagem foi compactado com auxílio de um trator.

3.2.2 Obtenção e Caracterização dos Resíduos

Os resíduos de hortifrutigranjeiros foram coletados na Central de Abastecimento de Cascavel (CEASA) em uma caçamba de 5 m³ e transportados até o local do experimento por uma empresa contratada para esse fim. Os restos de podas urbanas foram cedidos e transportados pela Secretaria de Meio Ambiente do Município de Cascavel (Figura 2). A água residuária de suinocultura utilizada no experimento foi oriunda da lagoa de descarga de uma pocilga com 41 suínos. O ativador comercial utilizado (EM 4) constituiu em um coquetel de microrganismos.



(a)



(b)

Figura 2 - Resíduos verdes urbanos usados na compostagem. (a) Podas urbanas; (b) Resíduos CEASA.

Para a caracterização dos resíduos sólidos verdes urbanos foram realizadas análises de umidade, pH (em CaCl_2), nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, enxofre, carbono orgânico, matéria orgânica, cádmio, cromo, chumbo, cobre e zinco. As análises de umidade, pH, N, P e K foram desenvolvidas segundo metodologia de TEDESCO et al. (1995). As concentrações de metais pesados (Cr, Cd, Zn, Cu e Pb) foram determinadas segundo EMBRAPA (1999). A determinação da matéria orgânica seguiu metodologia descrita por KIEHL e PORTA (1980), assim como a porcentagem de carbono, calculada a partir do teor de matéria orgânica pela equação (1):



(1)

Como os resíduos sólidos verdes urbanos constituíam-se de um material heterogêneo, realizou-se amostragem por quarteamento e secagem das amostras a 65°C , passando por posterior moagem em almofariz até atingirem homogeneização adequada e peneiramento em peneira de 35 mesh, para a execução de algumas análises.

Realizou-se, ainda, a determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) dos RSVU, segundo metodologia descrita por Gomes (1989), citada por DAMASCENO (1996). Tomou-se 1g da amostra seca, adicionou-se 20 mL de H_2SO_4 concentrado e 5 mL de água destilada, mexendo-se com bastão de vidro até atenuação da reação. Passou-se, então, a mistura a um balão de 250 mL, completando-se o volume com água destilada e filtrando-se. O filtrado constituiu-se na amostra líquida na qual foi determinada a DQO de acordo com APHA, AWWA e WEF (1998).

Para a caracterização da água residuária de suinocultura foram realizadas análises de pH, nitrogênio, fósforo, potássio, cádmio, cromo, chumbo, cobre, zinco, DQO, sólidos totais, voláteis e fixos. As determinações

seguiram metodologia de APHA, AWWA e WEF (1998). Foi determinado também o carbono orgânico a partir de TEDESCO et al. (1995).

Tabela 7 - Métodos de análise para as amostras de RSVU e ARS

Resíduos Sólidos Verdes Urbanos			
Parâmetro	Preparo da Amostra	Digestão	Determinação
<i>Umidade</i>	Amostra úmida	-	Secagem em estufa a 65°C
<i>MO</i>	Secagem a 105°C	-	Ignição a 550°C
<i>pH (CaCl₂)</i>	Amostra úmida	-	Potenciometria
<i>N</i>	Secagem a 65°C, moagem e peneiramento	H ₂ O ₂ e H ₂ SO ₄	Micro-Kjeldahl
<i>P</i>	Secagem a 65°C, moagem e peneiramento	H ₂ O ₂ - H ₂ SO ₄	Espectrofotômetro visível
<i>K</i>	Secagem a 65°C, moagem e peneiramento	H ₂ O ₂ - H ₂ SO ₄	Fotômetro de chama
<i>Cr, Cd, Cu, Zn, Pb</i>	Ignição a 550°C	HNO ₃	Espectrofotômetro de absorção atômica
<i>DQO</i>	Secagem a 65°C, moagem e peneiramento	H ₂ SO ₄ e K ₂ Cr ₂ O ₇	Espectrofotômetro visível
Água Residuária da Suinocultura			
<i>pH</i>	-	-	Potenciometria
<i>N</i>	-	HCl	Micro-Kjeldahl
<i>P</i>	-	HCl	Espectrofotômetro visível
<i>K</i>	-	HCl	Fotômetro de chama
<i>Cr, Cd, Cu, Zn</i>	-	HNO ₃ - H ₂ SO ₄	Espectrofotômetro de absorção atômica
<i>Pb</i>	-	HNO ₃	Espectrofotômetro de absorção atômica
<i>DQO</i>	-	H ₂ SO ₄ e K ₂ Cr ₂ O ₇	Espectrofotômetro visível

As análises de teores de nutrientes dos resíduos sólidos verdes urbanos e da água residuária de suinocultura foram realizadas no Laboratório Central de Análises LTDA – Solanalise - de Cascavel - PR. Os parâmetros: pH, umidade, matéria orgânica e DQO dos RSVU, foram determinados no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), assim como as análises de série de sólidos e DQO para a ARS. As concentrações de metais pesados nas amostras foram analisadas no Laboratório de Físico-Química da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNDETEC.

3.2.3 Montagem das Pilhas de Compostagem

Primeiramente, os resíduos de podas urbanas foram triturados em um picador e os resíduos da CEASA homogeneizados. No dia 19 de março de 2005, efetuou-se a montagem de 4 pilhas de compostagem, com dimensões de 1,5 m de largura, 1,5 m de comprimento e 1,0 m de altura e com as codisposições apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Codisposições iniciais das pilhas de compostagem

Tratamento	Quantidades				
	<i>Resíduos da CEASA</i>	<i>Resíduos de Poda Urbana</i>	<i>ARS</i>	<i>Ativador Comercial</i>	<i>Água</i>
C1	60%	40%	-	50 L	-
C2	-	100%	-	50 L	-
C3	60%	40%	50 L	-	-
C4	60%	40%	-	-	50 L

Nota: Cada pilha resultou em, aproximadamente, 800 Kg em massa.

BIDONE (2001) recomenda o uso de frações em peso de 30% a 50% de resíduos verdes de poda como estruturantes da massa de substratos orgânicos de elevada umidade, como os resíduos da CEASA.

As pilhas foram construídas à intempérie e adotou-se o formato cônico para evitar o excesso de umidade que provinha das chuvas. A figura 3 demonstra as pilhas de compostagem montadas.



Figura 3 - Pilhas montadas no experimento de compostagem.

A adição inicial de água residuária de suinocultura e ativador comercial foi realizada com o intuito de repor a umidade, inocular microrganismos e adicionar nutrientes.

3.2.4 Controle de Temperatura

A temperatura das pilhas de compostagem foi monitorada diariamente com o auxílio de um termômetro digital marca *Incoterm*, com sensor e cabo de

2,5 m de comprimento. As medições foram realizadas em três pontos de cada pilha: base, centro e topo, a 40 cm de profundidade. Procurou-se efetuar as leituras sempre no mesmo horário do dia.

3.2.5 Controle de Aeração

O processo de aeração das pilhas de compostagem foi executado por reviramentos manuais com o auxílio de um garfo curvo e um garfo reto. O ciclo de reviramento das pilhas de compostagem foi estabelecido a cada 3 dias, de acordo com recomendação de PEREIRA NETO (1996).

3.2.6 Controle de Umidade

Para o controle de umidade nas pilhas de compostagem realizaram-se análises semanais, seguindo metodologia descrita por TEDESCO et al. (1995). Quando a umidade apresentou valores abaixo de 55%, efetuou-se irrigação artificial com 50 L de água residuária de suinocultura no tratamento C3 e 50 L de água nos demais tratamentos. O índice pluviométrico foi medido a partir de um pluviômetro instalado no local do experimento.

3.2.7 Determinação da qualidade dos compostos obtidos

Após 72 dias de compostagem, os compostos obtidos foram transferidos para a fase de vermicompostagem. Realizou-se amostragem de cada uma das pilhas, a partir de quarteamento até obter-se, aproximadamente, 1 Kg de amostra, que foi dividida em duas partes iguais. Parte de cada amostra foi enviada ao laboratório da empresa Solanalise para a determinação dos

nutrientes N, P, K, de acordo com metodologia já descrita no item 3.2.2. A outra parte de cada amostra foi encaminhada ao Laboratório de Saneamento Ambiental da UNIOESTE, em que se determinou o pH e os teores de umidade e matéria orgânica. Realizou-se ainda a secagem a 65°C, moagem e peneiramento das amostras para a realização das análises de DQO e metais pesados (Cd, Cr, Pb, Cu e Zn), essas últimas realizadas no Laboratório de Físico-Química da FUNDETEC, seguindo metodologia já descrita.

3.3 ETAPA DE VERMICOMPOSTAGEM

Nesta etapa, o experimento teve início no dia 2 de junho de 2005 e foi conduzido em vasos com capacidade de 0,01 m³. Os tratamentos avaliados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Tratamentos para a etapa de vermicompostagem

Tratamento	Substrato
T1	Composto obtido do tratamento C1 da compostagem
T2	Composto obtido do tratamento C2 da compostagem
T3	Composto obtido do tratamento C3 da compostagem
T4	Composto obtido do tratamento C4 da compostagem
T5	Esterco bovino

Utilizaram-se, portanto, os quatro compostos obtidos na etapa de compostagem, acrescentando-se um tratamento que teve como substrato esterco bovino, usado convencionalmente na criação de minhocas. O esterco apresentou-se estabilizado. Determinou-se sua caracterização a partir da análise dos seguintes parâmetros: umidade, pH, N, P, K, C, Cd, Cr, Pb, Cu, Zn e matéria orgânica, conforme metodologia já citada no item 3.2.2.

Cada vaso recebeu 5 Kg de substrato. As minhocas introduzidas nos vasos eram das espécies *Eisenia foetida* (Vermelha da Califórnia) e *Eudrilus*

eugeniae (Africana), provenientes do minhocário da UNIOESTE – *campus* de Cascavel. Os vasos foram distribuídos aleatoriamente no espaço experimental, conforme Figura 4.



Figura 4 - Experimento de vermicompostagem.

Segundo BIDONE (2001), a minhoca ingere, por dia, o equivalente ao seu peso, então, a quantidade de minhocas introduzida em cada vaso foi determinada por:

$$Q_m = \frac{Q_s}{t_v} \quad (2)$$

Em que:

Q_m = quantidade de minhocas a ser introduzida em cada caixa (Kg);

Q_s = quantidade de substrato em cada caixa (Kg);

t_v = tempo de vermicompostagem (dias).

Estabeleceu-se um tempo de 45 dias para o processo de vermicompostagem, portanto, pela equação (2) obteve-se que, em cada vaso, deveriam ser introduzidos 0,111 Kg ou 111 g de minhocas. As minhocas das duas espécies foram distribuídas aleatoriamente nos vasos.

Durante o período experimental, os vasos permaneceram cobertos por sombrite para atenuação da luminosidade (RODRIGUES et al., 2003).

3.3.1 Controle de Umidade

A fim de estabelecer a umidade necessária ao bom andamento do processo de vermicompostagem estabeleceu-se a irrigação semanal de 1 L de água pura em cada vaso.

3.3.2 Separação e Pesagem das Minhocas e Cócons

Após decorridos os 45 dias de vermicompostagem, realizou-se a separação dos vermes e cócons (potenciais minhocas) em cada vaso, procedendo-se então à pesagem dos mesmos, a fim de avaliar a dinâmica dos organismos em cada tratamento. O vermicomposto produzido foi peneirado em peneira de 4 mesh.

3.3.3 Determinação da Qualidade dos Vermicompostos Obtidos

Após o término do processo de vermicompostagem, os vermicompostos obtidos foram analisados quanto aos seguintes parâmetros indicadores de sua qualidade: umidade, pH, N, P, K, C, Cd, Cr, Pb, Cu, Zn e matéria orgânica, conforme metodologia já citada no item 3.2.2.

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

No experimento de compostagem não foi realizado o delineamento experimental por ser o processo final de interesse a vermicompostagem.

Na etapa de vermicompostagem, utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos e quatro repetições, perfazendo um total de 20 parcelas experimentais.

Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de comparação de médias, utilizando-se o Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO DE COMPOSTAGEM

Os resultados obtidos na caracterização dos resíduos sólidos verdes urbanos (resíduos da CEASA e das podas urbanas) são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Características físico-químicas dos resíduos sólidos verdes urbanos

PARÂMETRO	RESÍDUOS SÓLIDOS VERDES URBANOS	
	CEASA	Poda
<i>Umidade (%)</i>	86,05	43,31
<i>pH</i>	3,62	5,40
<i>MO (%)</i>	79,19	88,39
<i>C/N</i>	63,75	28,55
<i>C (%)</i>	43,99	49,11
<i>N (%)</i>	0,69	1,72
<i>P (%)</i>	0,05	0,23
<i>K (%)</i>	1,00	2,60
<i>Cu (mg Kg⁻¹)</i>	62,51	62,65
<i>Zn (mg Kg⁻¹)</i>	62,83	107,60
<i>Cd (mg Kg⁻¹)</i>	ND	ND
<i>Cr (mg Kg⁻¹)</i>	1,05	ND
<i>Pb (mg Kg⁻¹)</i>	ND	ND
<i>DQO (mg g⁻¹)</i>	188,31	238,31

Nota: ND: não detectado.

Os resíduos de hortifrutigranjeiros coletados na Central de Abastecimento apresentaram características ácidas. O pH dos resíduos de podas urbanas também se apresentou levemente ácido.

Um elevado percentual de umidade foi observado para os resíduos da CEASA, característica intrínseca dos produtos que o constituem.

Não foram detectadas concentrações de cádmio e chumbo para os resíduos orgânicos iniciais. Níveis de cobre e zinco foram observados para ambos resíduos e teores de cromo apenas para os resíduos de produtos agrícolas. De acordo com Van Roosmalen et al. (1987), citados por EGREJA FILHO et al. (1999), a matéria-prima básica para ser compostada, como restos de alimentos, podas de jardins, entre outras, é relativamente livre de metais pesados, ocorrendo contaminação através da mistura (durante a estocagem e transporte) com materiais não compostáveis, ricos nesses metais. Os resíduos de hortifrutigranjeiros, coletados para o experimento, foram segregados do lixo restante produzido na Central de Abastecimento, o que garantiu menores riscos de contaminação. Entretanto, a concentração de Cu encontrada nesses resíduos apresentou-se mais elevada que a observada por BIDONE (2001).

Os resíduos de podas urbanas também apresentaram concentrações de zinco e cobre. GRASSI, PRESTES e QUINÁIA (2005) citam que a deposição atmosférica seca e úmida é uma importante fonte de metais pesados nas áreas urbanas. Portanto, a queima de combustíveis fósseis e o tráfego de veículos são exemplos de atividades que podem contribuir para o aumento da absorção de metais pesados pela vegetação urbana. DAVIS, SHOKOUHIAN e NI (2001) verificaram que o desgaste dos pneus dos automóveis resulta em significativa fonte de zinco e cádmio, enquanto que o desgaste dos freios libera cobre, alumínio, níquel e cromo. Ainda, a ação do tempo e da própria atmosfera sobre os materiais da construção civil também podem provocar a corrosão e liberação de metais (BOLLER; STEINER, 2002).

Alguns valores dos parâmetros analisados para os materiais utilizados na montagem das pilhas de compostagem, assemelham-se aos observados por diferentes autores, constantes na Tabela 2. Entretanto, deve-se levar em consideração a heterogeneidade dos resíduos e situações como: as regiões onde foram coletados, a época do ano, fatores climáticos e metodologias de análises, que podem interferir nos resultados.

A caracterização das águas residuárias da suinocultura, utilizadas no experimento, encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Características físico-químicas das águas residuárias de suinocultura

PARÂMETRO	ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA	
	ARS 1	ARS 2
<i>pH</i>	8,49	8,63
<i>DQO (mg L⁻¹)</i>	982,50	795,00
<i>C (mg L⁻¹)</i>	728,40	574,44
<i>N (mg L⁻¹)</i>	220,00	190,00
<i>P (mg L⁻¹)</i>	74,00	75,00
<i>K (mg L⁻¹)</i>	100,00	200,00
<i>Cu (mg L⁻¹)</i>	1,29	7,79
<i>Zn (mg L⁻¹)</i>	ND	ND
<i>Cd (mg L⁻¹)</i>	0,61	0,51
<i>Cr (mg L⁻¹)</i>	ND	ND
<i>Pb (mg L⁻¹)</i>	ND	ND
<i>Sólidos Totais (mg L⁻¹)</i>	1470	1800
<i>Sólidos Voláteis (mg L⁻¹)</i>	1003	1026,7
<i>Sólidos Fixos (mg L⁻¹)</i>	467	773,3

Notas: ARS 1: Água residuária de suinocultura utilizada no início do experimento.
 ARS 2: Água residuária de suinocultura utilizada para irrigação no transcorrer do experimento.

Foi encontrada, para ambas as águas residuárias da suinocultura analisadas, alta concentração de sólidos voláteis, indicando alta carga de compostos orgânicos no efluente. Os sólidos voláteis representam a matéria orgânica biodegradável e não biodegradável das águas residuárias (NUNES, 1996).

As temperaturas medidas no topo, centro e base das pilhas durante a compostagem apresentaram-se sempre muito próximas (Figura 5).

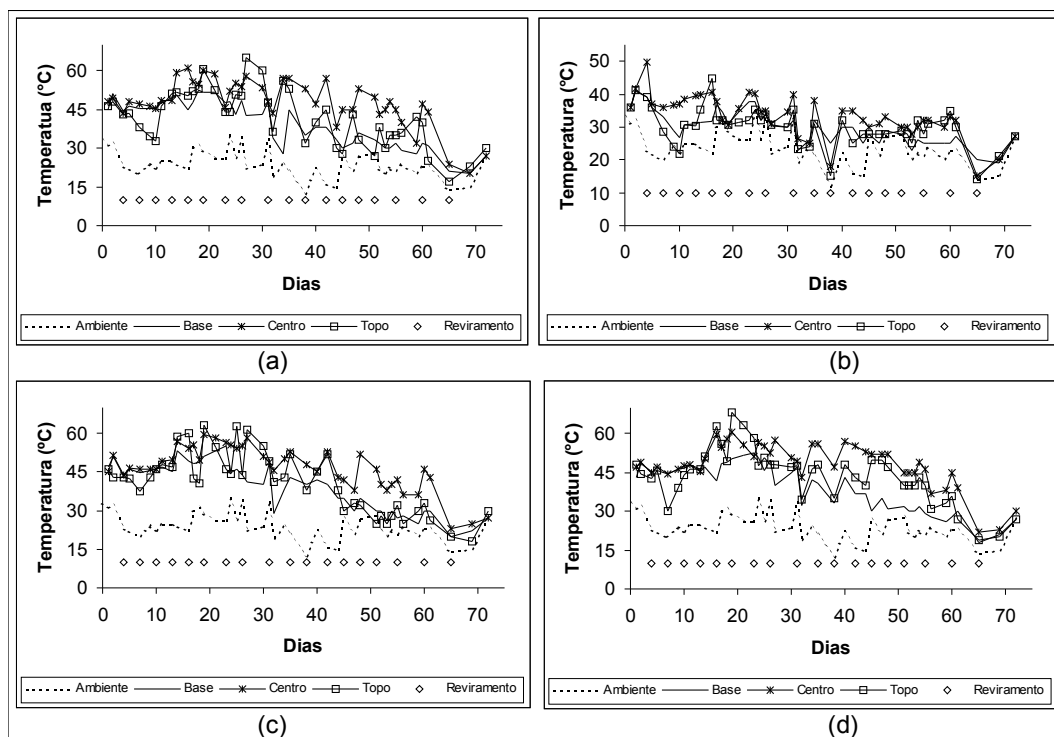


Figura 5 - Temperaturas observadas no experimento de compostagem. (a) C1; (b) C2; (c) C3; (d) C4.

As pilhas de compostagem referentes aos tratamentos C1, C3 e C4 atingiram temperaturas termófilas em 24 horas, seguindo-se um período de intensa atividade microbiológica e temperaturas médias entre 45 e 60°C por 42 dias (Figura 6).

Segundo BIDONE (2001), idealmente, a fase termófila deve ser mantida por, pelo menos, um mês, sendo circunstância indicadora de condições satisfatórias de equilíbrio do ecossistema. A partir dos 42 dias de compostagem, as temperaturas decresceram a valores mesófilos, abaixo de 45°C, até se aproximarem da temperatura ambiente, indicando o término da fase de degradação ativa e o início da fase de maturação. Resultados

semelhantes foram observados por FERNANDES, SANTOS e PEREIRA NETO (2000).

A temperatura das pilhas alcançou a temperatura ambiente aos 72 dias de compostagem.

O tratamento C2, utilizando apenas podas urbanas como substrato, obteve temperaturas termófilas ao terceiro dia após a montagem da pilha, não atingindo temperaturas superiores a 50°C. Entretanto, essas temperaturas não se mantiveram durante os primeiros dias do processo, abaixando a temperaturas mesófilas rapidamente. Durante todo o período de compostagem a temperatura da pilha esteve próxima à temperatura ambiente. Os materiais mais grosseiros, como as podas de árvores, alcançam altas temperaturas, mas perdem calor facilmente e nitrogênio amoniacal devido aos revolvimentos (BIDONE, 2001). Portanto, o processo de degradação ocorre mais lentamente, pois o nitrogênio é um nutriente essencial ao crescimento dos microrganismos que degradam a matéria orgânica (NUNES, 1996).

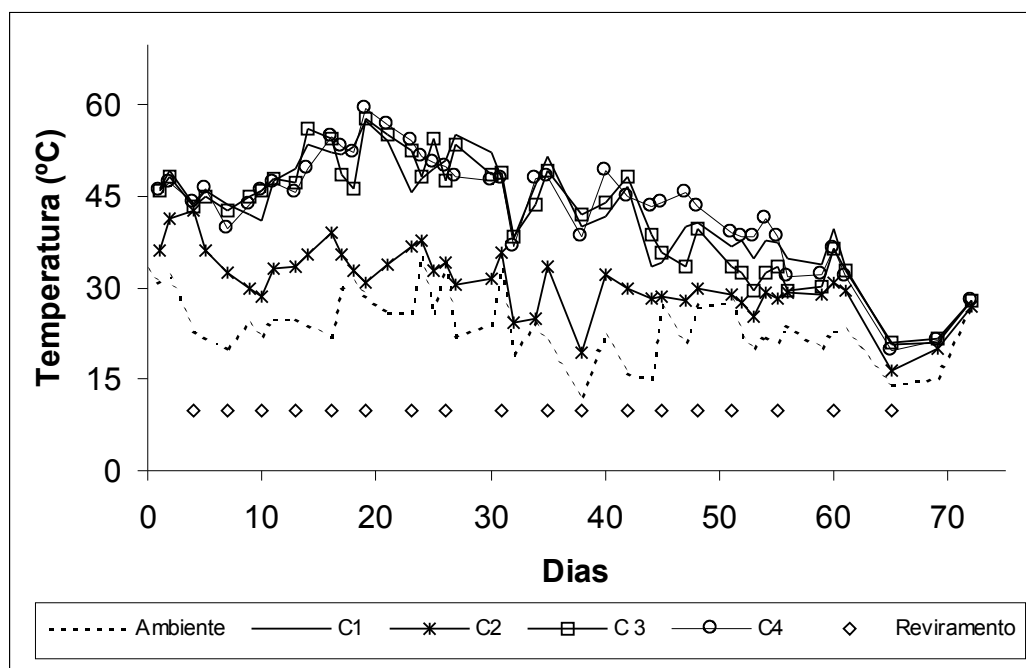


Figura 6 - Temperaturas médias das pilhas observadas no experimento de compostagem.

Durante o experimento de compostagem ocorreram variações na temperatura das pilhas, podendo este fato estar relacionado a fatores climáticos e operacionais, por ocasião das precipitações decorrentes e dos revolvimentos realizados. Observou-se aumento da temperatura no tratamento C3 quando da aplicação da água residuária de suinocultura para correção da umidade.

Os teores de umidade das pilhas de compostagem no transcorrer do experimento são apresentados na Figura 7.

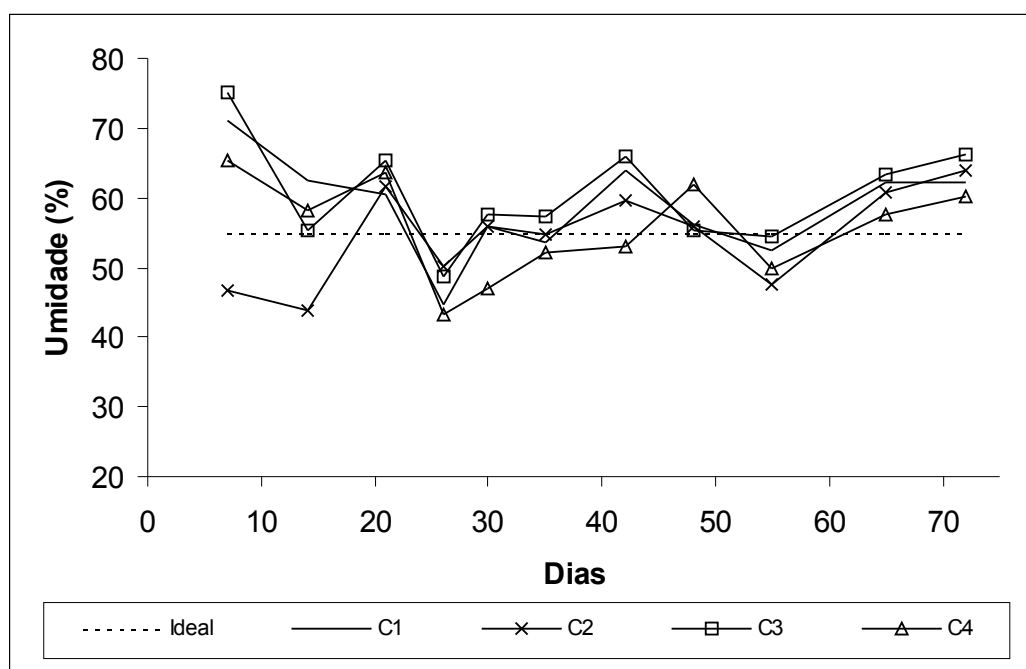


Figura 7 - Umidades das pilhas observadas no experimento de compostagem.

Considerando-se a umidade ideal de 55%, juntamente com o índice de precipitação (Tabela 12), durante os 72 dias de compostagem, fizeram-se necessárias irrigações artificiais com 50 L de água pura no tratamento C2 aos 10 e 16 dias e nos tratamentos C1 e C4 aos 26 dias do experimento. Uma irrigação com 50 L de água residuária de suinocultura (ARS 2) foi aplicada no tratamento C3 aos 26 dias.

Tabela 12 - Índice pluviométrico durante o experimento

DIAS DE COMPOSTAGEM	PRECIPITAÇÃO (MM)	DIAS DE COMPOSTAGEM	PRECIPITAÇÃO (MM)
3	5	36	20
6	3	37	43
13	4	39	7
14	10	40	8
15	20	42	7
20	38	50	5
26	5	55	10
31	40	58	73
32	13	62	110
34	10	66	103

As características físico-químicas dos compostos orgânicos, obtidos após o processo de compostagem e do esterco bovino, são apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Características físico-químicas dos compostos orgânicos e esterco bovino

PARÂMETRO	COMPOSTOS ORGÂNICOS				ESTERCO BOVINO
	C1	C2	C3	C4	
<i>pH</i>	6,90	6,80	6,80	7,00	8,20
<i>Umidade (%)</i>	62,27	63,95	66,28	60,19	71,92
<i>MO (%)</i>	57,51	70,72	66,37	58,64	71,92
<i>DQO(mg g⁻¹)</i>	97,06	152,38	133,63	102,06	229,88
<i>C (%)</i>	31,95	39,29	36,87	32,58	39,96
<i>N (%)</i>	1,10	0,82	0,95	0,91	1,24

<i>P (%)</i>	0,16	0,06	0,12	0,12	0,30
<i>K (%)</i>	1,10	0,50	1,00	1,30	1,70
<i>C/N</i>	29,05	47,91	38,81	35,80	32,26
<i>Cd (mg Kg⁻¹)</i>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Cr (mg Kg⁻¹)</i>	ND	ND	ND	ND	0,49
<i>Cu (mg Kg⁻¹)</i>	94,00	56,04	59,90	66,20	100,10
<i>Pb (mg Kg⁻¹)</i>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Zn (mg Kg⁻¹)</i>	31,61	53,41	58,21	33,08	82,50

A característica ácida dos resíduos de podas urbanas e da Central de Abastecimento, usados inicialmente na montagem das pilhas de compostagem, tendeu a valores nas proximidades de pH 7 (neutro), durante o processo de bioestabilização. Segundo PEREIRA NETO (1996), os valores extremos de pH dos substratos são automaticamente regulados pelos microrganismos pela degradação de compostos que irão gerar subprodutos ácidos ou básicos em função da necessidade do meio. GOUVEIA e PEREIRA NETO (2000) e FERNANDES, SANTOS e PEREIRA NETO (2000) observaram elevação do pH durante a compostagem de lixo urbano em relação aos resíduos iniciais.

O teor de matéria orgânica teve redução durante a compostagem, devido à degradação microbiológica e à própria estabilização dos resíduos orgânicos. JAHNEL et al. (1999), estudando o processo de compostagem aeróbia de resíduos sólidos urbanos, observaram que foram necessários 52 dias para a bioestabilização da matéria orgânica, haja vista, o composto apresentar significativa redução da matéria orgânica.

A determinação da demanda química de oxigênio nos compostos orgânicos demonstrou diminuição na taxa de DQO. Esse fato se deve à oxidação biológica ocorrida durante o processo. Na compostagem, os resíduos orgânicos são oxidados pelos microrganismos formando gás carbônico, água e calor, como produtos de seus metabolismos (KIEHL; PORTA, 1980).

Segundo a Instrução Normativa Nº. 23 de 31/08/2005 - MAPA, que classifica os fertilizantes orgânicos em simples, mistos, compostos e organominerais, de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção, os fertilizantes orgânicos obtidos no experimento de compostagem são classificados como fertilizante orgânico composto Classe "A", ou seja,

fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, em que não sejam utilizados no processo o sódio (Na^+), metais pesados ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos. Já os esterco e camas animais são classificados como fertilizante orgânico simples Classe “A”.

Comparando-se os valores obtidos na análise físico-química dos quatro compostos orgânicos com as especificações da legislação federal vigente (Anexo A) o, a concentração de nitrogênio total no tratamento C1 atende a especificação pertinente de no mínimo 1%. Os tratamentos C3 e C4 apresentaram concentrações de N abaixo de 1%, entretanto, enquadram-se dentro do limite de tolerância permitido para a deficiência do nutriente, que é de até 15%. No tratamento C2 observou-se que a porcentagem de nitrogênio total não atendeu o padrão estabelecido.

Com referência ao carbono orgânico e ao pH, todos os tratamentos do experimento de compostagem atenderam as especificações.

O valor especificado na legislação para a relação C/N dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos é de no máximo 18. Em relação a esse parâmetro, nenhum dos fertilizantes orgânicos obtidos atendeu a normativa. Todos os tratamentos apresentaram relação C/N superior a 29, demonstrando a necessidade de mais tempo de compostagem para a melhor maturação do composto ou a utilização de um tratamento complementar, como a vermicompostagem, para maior estabilização e cumprimento do valor preconizado pela Instrução Normativa Nº. 23 de 31/08/2005 - MAPA .

Analisando-se o esterco bovino, este tinha característica levemente básica, com alto teor de matéria orgânica e alta taxa de DQO, em relação aos compostos orgânicos. De acordo com a Instrução Normativa Nº. 23 de 31/08/2005 - MAPA, os valores de carbono orgânico e nitrogênio para esse tratamento encontraram-se dentro dos limites especificados (ANEXO A).

Nos compostos orgânicos não foram detectadas concentrações de cádmio, cromo e chumbo. Somente foram observados níveis de zinco e cobre que, aliás, encontravam-se nos materiais iniciais. Os valores encontrados estão muito abaixo dos teores permissíveis para compostos de lixo urbano, recomendados na Tabela 5 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

ALVES e PASSONI (1997), analisando compostos de lixo urbano, encontraram faixas de variação para a concentração de metais pesados, em mg Kg⁻¹, de 50-114 para Cu; 297-583 para Zn; 0,62-1,70 para Cd; 56-93 para Cr e 92-208 para Pb.

4.2 EXPERIMENTO DE VERMICOMPOSTAGEM

Os compostos orgânicos e esterco bovino foram submetidos ao processo de vermicompostagem. Os valores médios da pesagem das minhocas e cócons, após realizada separação, são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores médios do peso das minhocas em cada tratamento na vermicompostagem

Tratamento	Peso (g)
T1	131,99 ^b
T2	79,10 ^a
T3	124,05 ^{ab}
T4	142,38 ^b
T5	172,15 ^b

Nota: *As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na coluna, não diferem ao nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey. CV: 17,88%.

Observou-se, para o tratamento T2, perda de peso durante o processo, em relação ao peso inicial de 111 g. De fato, não ocorreu perda de peso propriamente, mas evasão de algumas minhocas dos vasos, as quais eram encontradas pelo chão nas proximidades, para todos os tratamentos. RODRIGUES et al. (2003) e LOPES e THEODORO (2000) também observaram resultados semelhantes, descrevendo fuga dos cativeiros e grande mobilidade das minhocas africanas, principalmente no período chuvoso, em

canteiro com ou sem cobertura. RODRIGUES et al. (2003) ainda citam que, possivelmente, as minhocas africanas não se adaptam a sistemas fechados, como no caso da criação em vasos, pois estas podem atingir 22 cm de comprimento, exigindo compartimentos mais espaçosos para crescerem e se reproduzirem.

Durante o período experimental, nos meses de junho e julho de 2005, a umidade relativa média foi de 83,4% e as temperaturas médias compreendidas entre 9,5 e 22,3°C, segundo dados do Instituto Tecnológico SIMEPAR (2005). Os dados de temperatura média são mostrados na Figura 8.

No período de inverno as minhocas tendem a fugir dos minhocários devido ao desconforto térmico (GUIMARÃES, 1996). Portanto, considerando-se a temperatura preferencial para as minhocas vermelhas de 18 a 25°C e para as minhocas africanas de 25 a 28°C, possivelmente, ocorreram fugas dos vasos durante o experimento devido às baixas temperaturas.

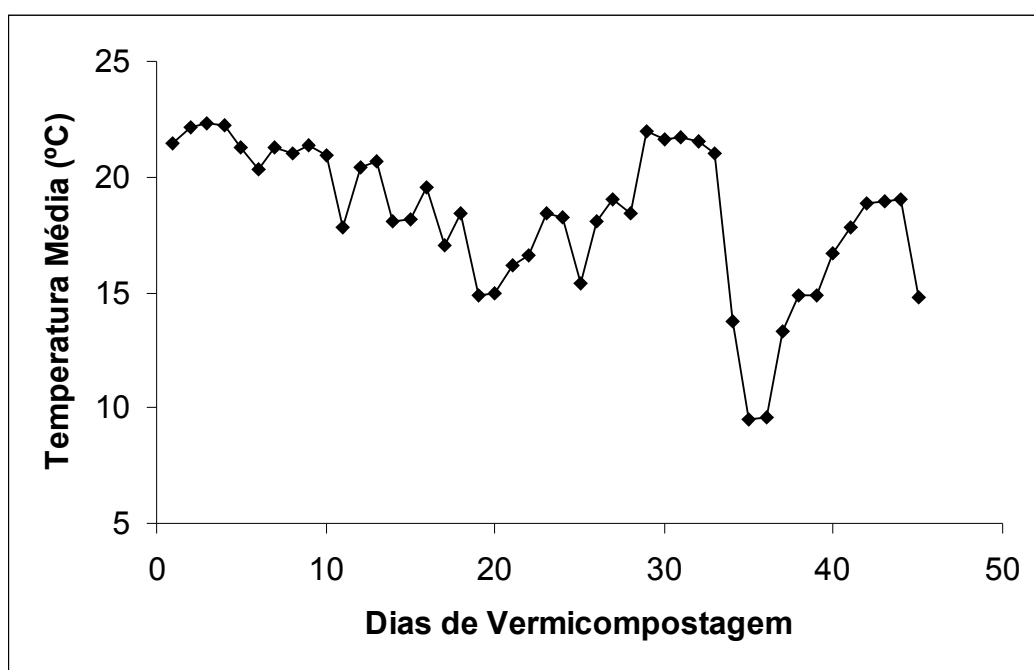


Figura 8- Temperaturas médias durante o experimento de vermicompostagem.

Fonte: Instituto Tecnológico SIMEPAR (2005).

Os resultados encontrados para o ganho médio de peso nos diferentes tratamentos, ainda indicam a preferência das minhocas pelos compostos obtidos a partir do consórcio entre resíduos de podas urbanas e hortifrutigranjeiros e, principalmente, pelo esterco bovino. BIDONE (2001) observou resultados semelhantes ao trabalhar com compostos produzidos aos 90 dias de compostagem de 25,9% de resíduos de podas, 51,70% de resíduos de CEASA e 22,40% de lodo de esgoto. A preferência das minhocas pelos tratamentos T1, T3, T4 e T5 pode ser atribuída ao fato desses substratos, possivelmente, ter uma maior quantidade de nutrientes disponíveis. De acordo com LOH et al. (2005), as variações nas taxas de crescimento e multiplicação das minhocas em diferentes compostos, podem ser atribuídas às quantidades variadas de minerais nos diferentes tratamentos, que resultam em um padrão diferencial de disponibilização de nutrientes para sua síntese metabólica e subsequente liberação dos minerais remanescentes, na forma mineralizada.

Os resultados médios dos parâmetros analisados para os vermicompostos encontram-se na Tabela 15.

Tabela 15 - Valores médios dos parâmetros físico-químicos nos diferentes vermicompostos

Parâmetro	Tratamento				
	T1	T2	T3	T4	T5
<i>pH</i> ¹	7,21 ^a	7,04 ^a	7,42 ^{ab}	7,3 ^{ab}	7,73 ^b
<i>Umidade (%)</i> ²	54,04 ^a	64,17 ^{bc}	64,97 ^c	54,88 ^{ab}	65,24 ^c
<i>MO (%)</i> ³	24,97 ^c	22,34 ^{bc}	21,06 ^{ab}	21,74 ^{ab}	19,41 ^a
<i>C (%)</i> ⁴	13,87 ^c	12,41 ^{bc}	11,70 ^{ab}	12,08 ^{ab}	10,79 ^a
<i>N (%)</i> ⁵	1,25 ^{ab}	1,19 ^a	1,66 ^b	1,11 ^a	1,41 ^{ab}
<i>P (%)</i> ⁶	0,17 ^b	0,12 ^c	0,20 ^b	0,19 ^b	0,69 ^a
<i>K (%)</i> ⁷	1,30 ^b	0,45 ^a	1,05 ^b	1,28 ^b	1,55 ^b
<i>C/N</i> ⁸	11,26 ^b	10,57 ^{ab}	7,16 ^a	11,03 ^b	8,03 ^{ab}
<i>Cd (mg Kg⁻¹)</i>	ND	ND	ND	ND	ND

<i>Cr (mg Kg⁻¹)</i>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Cu (mg Kg⁻¹)</i> ⁹	80,54 ^{ab}	67,97 ^b	61,31 ^b	62,67 ^b	137,98 ^a
<i>Pb (mg Kg⁻¹)</i>	ND	ND	ND	ND	ND
<i>Zn (mg Kg⁻¹)</i> ¹⁰	27,40 ^a	34,63 ^a	27,92 ^a	13,61 ^a	127,05 ^b

Notas: *As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra, na linha, não diferem ao nível de 5% de significância pelo Teste de Tukey.

¹CV: 2,74%; ²CV: 5,84%; ³CV: 6,08%; ⁴CV: 6,07; ⁵CV: 15,36%; ⁶CV: 8,21%;
⁷CV: 13,62%; ⁸CV: 17,345%; ⁹CV: 20,37%; ¹⁰CV: 17,16%.

Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos para todos os parâmetros analisados nos vermicompostos, com exceção das concentrações de cádmio, cromo e chumbo que não foram detectadas.

Todas as amostras de vermicomposto apresentaram pH em torno de 7. De acordo com MIGDALSKY (2001) esse fato é decorrente dos processos digestivos efetuados pelas próprias minhocas.

Valores de pH próximos da neutralidade sugerem que o vermicomposto, quando incorporado ao solo, pode apresentar ação corretiva de acidez, uma vez que possui propriedade tamponante (SOARES, SOUZA; CAVALHEIRO, 2004).

Os tratamentos T5 e T1 apresentaram maior e menor valor de umidade, respectivamente. TRIPATHI e BHARDWAJ (2004) estudaram o teor de umidade ótimo ao desenvolvimento das minhocas *E. foetida*, encontrando o valor máximo, em peso de minhocas, na umidade de 70% e o valor mínimo na umidade de 50%. Os resultados encontrados no experimento enquadram-se dentro dessa faixa.

O comportamento do teor de carbono presente nos vermicompostos apresentou-se semelhante ao da matéria orgânica, pois o seu valor foi determinado a partir da divisão da matéria orgânica total por 1,8. Foi observada redução significativa do percentual de matéria orgânica e conseqüentemente de carbono para todos os tratamentos após a vermicompostagem. A redução no carbono orgânico pode ser atribuída à atividade respiratória das minhocas e microrganismos (TRIPATHI; BHARDWAJ, 2004).

Foi observado um aumento nos teores médios de nitrogênio e fósforo nos vermicompostos e a diminuição da relação C/N, em relação aos substratos iniciais.

Segundo TRIPATHI e BHARDWAJ (2004), as minhocas catalisam o processo de decomposição pela redução ou fragmentação dos resíduos orgânicos e aumentam a área superficial para uma melhor decomposição pela microflora. A liberação de carbono como CO₂ no processo de respiração e produção de muco e excretas nitrogenadas elevam o nível de N e diminuem a relação C/N.

A relação C/N dos compostos orgânicos e do esterco bovino teve considerável redução após o processo de vermicompostagem. Vários pesquisadores utilizam a relação C/N para evidenciar o grau de humificação do material, relacionando a ela a estabilização da matéria orgânica. SOARES, SOUZA e CAVALHEIRO (2004), caracterizando amostras de vermicompostos de esterco bovino, encontraram valores para a relação C/N que variaram de 9,02 a 13,74, indicando que os resíduos orgânicos haviam sido totalmente decompostos. LAMIM et al. (1998) citaram que um material com uma relação C/N igual a 14 é apropriado para ser adicionado ao solo como fertilizante, considerando-se que ele se encontra no estado de adubo curado ou humificado. No presente estudo, as taxas de C/N evidenciaram a estabilização da matéria orgânica nos substratos vermicompostados.

O aumento dos níveis de fósforo nos vermicompostos pode estar associado à capacidade das minhocas, através de seu metabolismo, de quebrar as estruturas de compostos orgânicos (SILVA et al., 2002b). GHOSH, CHATTOPADHYAY e BARAL (1999), observaram reduções nos índices de P orgânico durante a compostagem de diferentes resíduos, sendo que, após a inoculação de minhocas *E. foetida*, houve um aumento gradual do elemento com o período de vermicompostagem, devido à mineralização do fósforo orgânico.

Em média, os níveis de nitrogênio apresentaram-se mais elevados no tratamento T3, proveniente do composto orgânico obtido a partir dos resíduos sólidos verdes e água residuária da suinocultura (Figura 9). A maior concentração de fósforo foi encontrada no vermicomposto do tratamento T5. Já os tratamentos T1, T3 e T4 não apresentaram diferença significativa em seus

valores médios para o nutriente fósforo. Em relação ao teor de potássio, apenas o tratamento T2 apresentou diferença significativa entre os tratamentos, demonstrando a menor média para esse nutriente.

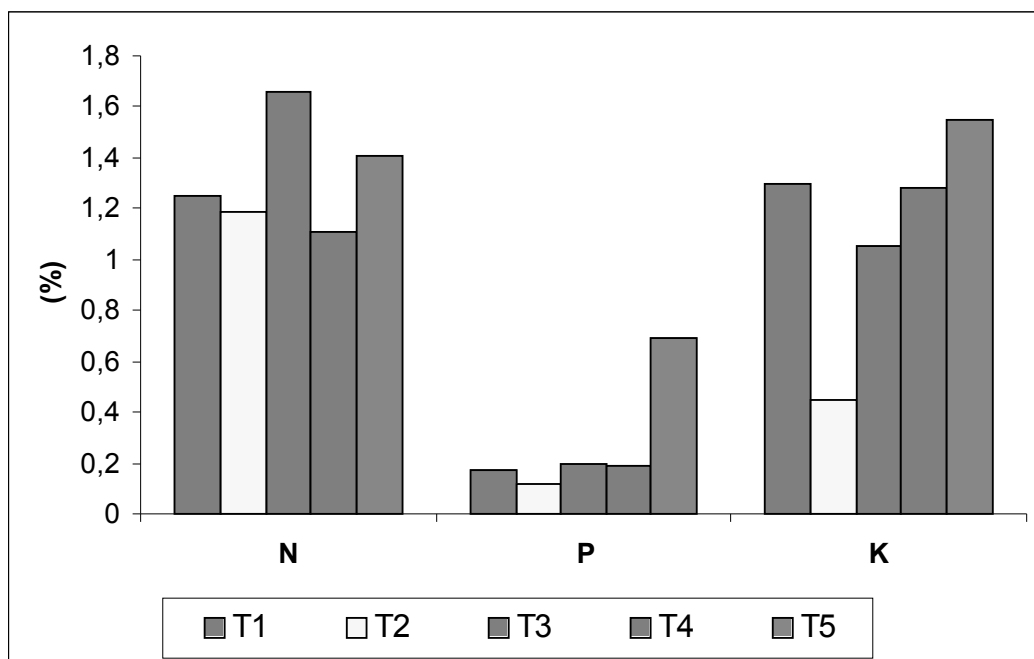


Figura 9 - Comparação entre os níveis dos nutrientes N, P e K nos tratamentos da vermicompostagem.

De acordo com as especificações para vermicompostos, regidas pela Instrução Normativa N°. 23 de 31/08/2005 - MAPA, os parâmetros, para todos os tratamentos, enquadram-se nos padrões estabelecidos pela legislação. Notou-se que os compostos orgânicos produzidos aos 72 dias de compostagem não atenderam a algumas das especificações da Instrução Normativa, sendo que, após estes passarem pela vermicompostagem, apresentaram valores dentro dos padrões especificados. Esse resultado indica

que a utilização do processo de vermicompostagem como tratamento complementar, proporcionou uma melhora do fertilizante orgânico produzido.

Concentrações de cádmio, cromo e chumbo não foram detectadas nas amostras de vermicompostos. Entretanto, constataram-se teores de zinco e cobre e foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos. O vermicomposto obtido a partir de esterco bovino apresentou, em média, maiores concentrações de Zn e Cu (Figura 10).

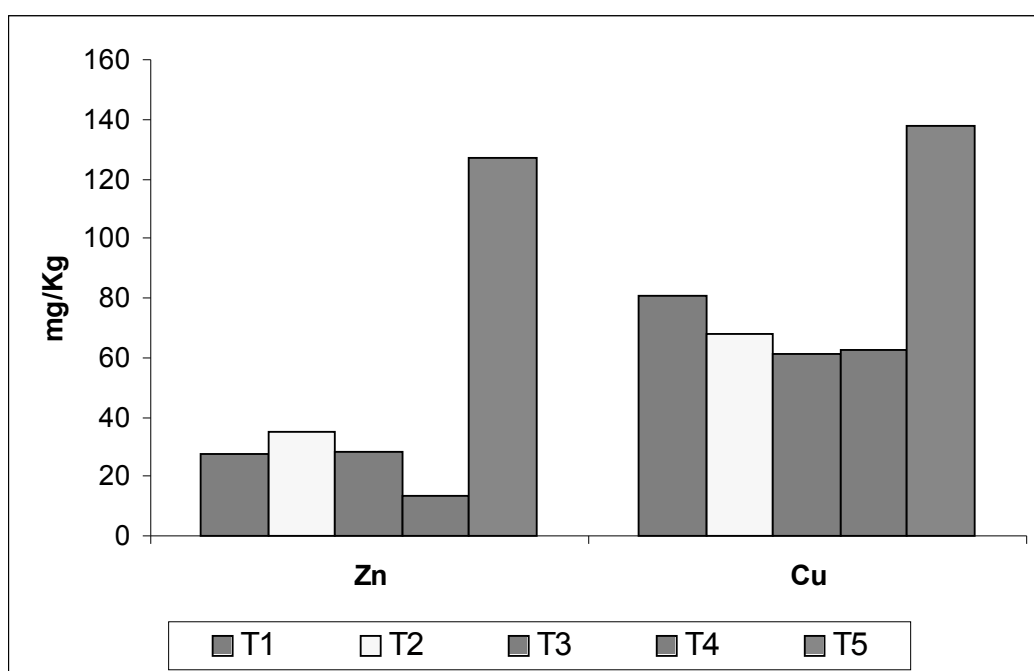


Figura 10 - Comparação entre os níveis dos metais Zn e Cu nos tratamentos da vermicompostagem.

Após o processo de vermicompostagem, observou-se aumento nas concentrações de cobre para os tratamentos T2, T3 e T5 e redução para os tratamentos T1 e T4, em relação aos materiais iniciais. O teor de zinco teve aumento somente no tratamento T5 e diminuição nos demais tratamentos.

Segundo SILVA et al. (2002b), pode ocorrer aumento na concentração de metais pesados com o processo de vermicompostagem em razão da natural perda de massa de material orgânico na forma de gases e, também, da capacidade das minhocas em concentrar nutrientes no vermicomposto. Ainda, HERVAS et al. (1989) e MORGAN e MORGAN (1998) citam que as minhocas podem acumular metais pesados em seus tecidos, diminuindo, portanto os níveis desses no húmus final.

Em um experimento realizado em escala piloto, utilizando-se canteiros para a produção de húmus comercialmente, possivelmente ocorra um aumento nas concentrações de metais pesados devido à concentração de nutrientes realizada pela ação das minhocas. Como neste trabalho o experimento foi conduzido em vasos de dimensões reduzidas, o efeito de diminuição nos níveis de Zn e Cu em alguns tratamentos, pode ser atribuído ao acúmulo de metais nos tecidos das minhocas, pois a quantidade de substrato em cada vaso era concentrada em um pequeno volume.

Os valores médios de Zn encontrados nos vermicompostos dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 foram menores que a faixa de concentração de 268 a 542 mg Kg⁻¹, apresentados por ALVES e PASSONI (1997), em amostras de vermicompostos de lixo urbano. Para vermicomposto produzido a partir de esterco bovino, BANSAL e KAPOOR (2000) encontraram 290 mg Kg⁻¹ de Zn. Os teores médios de Cu nos vermicompostos obtidos a partir dos compostos orgânicos apresentaram-se dentro da faixa de concentração para o elemento, de 39 a 131 mg Kg⁻¹, observada por ALVES e PASSONI (1997). Em relação ao vermicomposto de esterco bovino, a concentração média de Cu, encontrada neste experimento, foi superior a obtida por BANSAL e KAPOOR (2000).

MANTOVANI et al. (2003), estudando a calagem e adubação com vermicomposto de lixo urbano na produção e nos teores de metais pesados em alface, citaram que a aplicação de doses acima de 50 t ha⁻¹ de vermicomposto limitaram a produção de alface, entretanto não a tornaram imprópria para consumo humano do ponto de vista da concentração de metais pesados. O vermicomposto utilizado pelos autores possuía 197 mg Kg⁻¹ de Cu e 455 mg Kg⁻¹ de Zn, valores bem acima dos encontrados nesse trabalho.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados alcançados, pode-se concluir que:

1. A integração das técnicas de compostagem e vermicompostagem, utilizando a água residuária da suinocultura e ativador comercial como inoculantes, promoveu a bioestabilização dos resíduos sólidos verdes urbanos frente à considerável redução da relação C/N, possibilitando o uso do produto final (vermicomposto) como adubo orgânico na agricultura.
2. Os vermicompostos produzidos a partir dos compostos orgânicos obtidos do processo de compostagem dos resíduos sólidos verdes urbanos, utilizando-se água residuária da suinocultura, ativador comercial ou água pura, apresentaram semelhanças no valor da relação C/N e dos nutrientes N e K, em relação ao húmus de minhoca produzido convencionalmente com o esterco bovino. Esse é um indicativo de que podem ser utilizados, em substituição ao esterco bovino, resíduos sólidos verdes urbanos em consórcio com a água residuária da suinocultura na produção de vermicompostos.
3. Os metais Zn e Cu contidos nos vermicompostos não apresentaram concentrações que possam causar contaminação ambiental e das plantas, caso sejam usados como fertilizante orgânico. Os vermicompostos produzidos a partir dos compostos orgânicos obtidos do processo de compostagem dos resíduos sólidos verdes urbanos, utilizando-se água residuária da suinocultura, ativador comercial ou água pura, apresentaram, em média, valores mais baixos desses metais em relação ao vermicomposto de esterco bovino.

6 SUGESTÕES

A partir de observações realizadas neste estudo pode-se sugerir:

1. A execução de experimentos de vermicompostagem em canteiros, como os utilizados em escala comercial, para uma melhor avaliação da possibilidade de aumento na concentração de metais pesados nos vermicompostos após o processo.
2. Estudar as vantagens e desvantagens da compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos verdes urbanos em consórcio com água residuária da suinocultura em diferentes épocas do ano, avaliando-se o tempo de bioestabilização.
3. A possibilidade da adoção dos procedimentos de compostagem e vermicompostagem de resíduos verdes urbanos usando água residuária da suinocultura, por parte de municípios e pequenos produtores rurais, como uma alternativa viável ao saneamento urbano e rural.
4. O estudo da aplicação de outros tipos de água residuárias, como as águas servidas de laticínios (soro de leite) e de feculárias (manipueira), na compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos verdes urbanos ou outros resíduos orgânicos, apresentando uma possível forma de tratamento e reuso desses resíduos e efluentes, podendo gerar um produto final de qualidade para aplicação na agricultura.
5. Como continuação desse trabalho, avaliar o poder fertilizante dos vermicompostos produzidos, aplicando-o como adubação orgânica em diferentes culturas, principalmente hortaliças ou flores, em comparação a fertilizantes químicos utilizados convencionalmente.

REFERÊNCIAS

ALVES, W. L.; PASSONI, A. A. Composto e vermicomposto de lixo urbano na produção de mudas de oiti (*Licania tomentosa* (benth)) para arborização. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 10, 1997. Disponível em: <http://atlas.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/ecd4ca3ff88efcfa032564cd004ea083/c132086f4f8ab9600325653a0081a975?OpenDocument>. Acesso em: set. 2005.

ANAMI, M. H. **Transporte de nitrato e fosfato provenientes de águas residuárias em latossolo**. Cascavel, 2003. f. 71. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

ANDREOLI, C. V.; BACKES, S. A.; CHERUBINI, C. Avaliação do processo de compostagem utilizando podas verdes e resíduos do saneamento. In: FERTBIO, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: FERTBIO, 2002. p. 124-128.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington: American Public Health Association, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8419**: apresentação de projeto de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - procedimentos. Rio de Janeiro, 1984, 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004** - Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 1987, 63 p.

BANSAL, S.; KAPOOR, K. K. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. **Bioresource Technology**, Oxon, v. 73, p. 95-98, 2000.

BAUMGARTNER, D. **Alface (*Lactuca sativa* L.) irrigada com águas residuárias provenientes de atividades agroindustriais**. Cascavel, 2003. f. 112. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

BIDONE, F. R. A. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Rima, 2001. 240 p.

BOLLER, M., STEINER, M. Diffuse emission and control of copper in urban surface runoff. **Water Science Technology**, Oxford, v. 46, n. 6-7, p.173-181, 2002.

BRANDÃO, V. S.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A.; FONTES, M. P. P. Tratamento de águas residuárias da suinocultura utilizando-se filtros orgânicos. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 327-333, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. **Instrução normativa Nº 23**. 31 de agosto de 2005. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004a, 18 p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos**. Brasília: Ministério das Cidades, 2004b, 219 p.

BRITO, A. L. F.; MUNIZ, A. C. S.; LOPES, W. S.; LEITE, V. D.; PRASAD, S. Processo de codisposição de resíduos sólidos de curtume. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, v. 7, n. 4, out/dez, p. 144-150, 2002.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. Rio de Janeiro: USAID, 1976, 594 p.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. São Carlos: ABES/RIMA,, 2003.

CORRÊA, L. B; CORRÊA, E. K. Estudo das fontes poluidoras em uma granja produtora de suínos: uma perspectiva de educação ambiental – estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALIZADOS EM SUÍNOS, 11, 2003, Goiânia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2003. p. 447-448.

DAMASCENO, S. Remoção de metais pesados em sistemas de tratamento de esgotos sanitários por processo de lodos ativados e por um reator compartimentado anaeróbio. São Carlos - SP, 1996. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo.

DAVIS, A. P., SHOKOUHIAN, M.; NI, S. Loading estimates of lead, copper, cadmium and zinc in urban runoff from specific sources. **Chemosphere**, Kidlington, v. 44, p. 997-1009, 2001.

EGREJA FILHO, F. B.; REIS, E. F.; JORDÃO, C. P.; PEREIRA NETO, J. T. Avaliação quimiométrica da distribuição de metais pesados em composto de lixo urbano domiciliar. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 324-328, 1999.

EMPRESA PARANAENSE DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - EMATER-PR. **Guia tecnológico**. Cascavel: Emater, 2004. 116 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGRÍCOLA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 1 ed. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

FERNANDES, P. A. L.; SANTOS, F. J. S.; PEREIRA NETO, J. T. Estudo comparativo e avaliação de dois sistemas de compostagem de resíduos sólidos urbanos. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9, 2000, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: ABES, 2000. p. 1058-1063.

GHOSH, M.; CHATTOPADHYAY, G. N.; BARAL, K. Transformation of phosphorus during vermicomposting. **Bioresource Technology**, Oxon v. 69, p. 149-154, 1999.

GOUVEIA, L. C.; PEREIRA NETO, J. T. Análises de amostras de compostos orgânicos de origem urbana e agrícola sob diferentes estágios de degradação. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS – GESTÃO INTEGRADA, IV, 2000, Recife. **Anais...** Recife, 2000. p. 103-108.

GRASSI, M. T.; PRESTES, E. C.; QUINÁIA, S. P. Estimativa da carga dos metais Cu, Cd e Pb para a bacia do rio Bacacheri, em Curitiba (PR), a partir da drenagem urbana. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL I; SIMPÓSIO DE ÁGUAS DA AUGM, I, 2005, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 1 CD.

GUIMARÃES, A. A. **Diferenças entre as minhocas vermelhas da Califórnia e africanas**. Portal da Minhoca. Disponível em: <http://www.minhobox.com.br/loja/produtos/loja-jornal.php>. Acesso em: ago. 2005.

GUIMARÃES, A. A. O frio é que causa a fuga. **Globo Rural**, São Paulo, v. 134, p. 36-38, dez/1996.

HERVAS, L.; MAZUELOS, C.; SENESI, N.; SAIZ-JIMENEZ, C. Chemical and physico-chemical characterization of vermicomposts and their humic acid fractions. **The Science of the Total Environment**, Cidade, v. 81/82, p. 543-550, 1989.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DO PARANÁ - SIMEPAR. **Dados climatológicos da estação meteorológica de Cascavel**. Mensagem recebida por: <morgana_eq@hotmail.com> em 04 de outubro de 2005. De: <osmar@simepar.br>.

JAHNEL, M. C.; MELLONI, C.; ELKE, J. B. N. Maturidade de composto de lixo urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, p. 301-304, 1999.

JARDIM, S. S. **Alerta**: consumidores desconhecem impacto altamente poluidor da suinocultura. *Jornal do Meio Ambiente*. Disponível em: http://www.jornaldomeioambiente.com.Br/JMA-txt_importante27.asp. Acesso em: abr. 2005.

JUCÁ, J. F. T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 5, 2003, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABMS, 2003. p. 1-32.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. 1 ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 428 p.

KIEHL, E. J.; PORTA, A. **Análises de lixo e composto**. 1 ed. Piracicaba: Departamento de solos, geologia e fertilizantes, ESALQ, 1980. 55 p.

LAMIM, S. S. M.; JORDÃO, P. C.; BRUNE, W.; PEREIRA, J. L.; BELLATO, C. R. Caracterização química e física de vermicomposto e avaliação de sua capacidade em adsorver cobre e zinco. **Química Nova**, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 278-283, 1998.

LEITE, V. D.; SOUSA, J. T.; PRASAD, S.; LOPES, W. S.; ATHAYDE JUNIOR, G. B.; DANTAS, A. M. M. Tratamento de resíduos sólidos de centrais de abastecimento e feiras livres em reator anaeróbio de batelada. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 318-322, 2003.

LEVY, A. K.; LENHARDT, P. R. Da indústria à agricultura: uma solução para a agricultura familiar. **Agroecologia Hoje**, Botucatu, n. 17, p. 18-19, nov/dez 2002.

LOH, T. C.; LEE, Y. C.; LIANG, J. B.; TAN, D. Vermicomposting of cattle and goat manures by *Eisenia foetida* and their growth and reproduction performance. **Bioresource Technology**, Oxon, v. 96, p. 111-114, 2005.

LOPES, J. F. P.; THEODORO, V. C. A. **Curso de criação de minhocas e produção de vermicomposto**. Lavras: FAEPE/UFLA, 2000. 60 p.

LUDKE, J. V.; LUDKE, M. C. M. M. **Produção de suínos com ênfase na preservação do ambiente**. Embrapa - Suínos e Aves. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/?/artigos/2003/artigo-2003-n021.html;ano=2003>. Acesso em: abr. 2005.

MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; CHIBA, M. K.; BRAZ, L. T. Calagem e adubação com vermicomposto de lixo urbano na produção e nos teores de metais pesados em alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 494-500, 2003.

MIGDALSKY, M. C. **Criação de minhocas** – guia prático. 1 ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 118 p.

MORGAN, J. E.; MORGAN, J. A. The distribution and intracellular compartmentation of metals in the endogeic earthworm *Aporrectodea caliginosa* sampled from an unpolluted and a meta-contaminated site. **Environmental Pollution**, Oxford, n. 99, p. 167-175, 1998.

NDEGWA, P. M.; THOMPSON, S. A. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. **Bioresource Technology**, Oxon, v. 76, p. 107-112, 2001.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 2 ed. Aracaju: J. Andrade, 1996. 277 p.

OLIVEIRA, P. A. V.; NUNES, M. L. A.; HIGARASHI, M. M.; SCHIERHOLT NETO, G. F. Utilização de compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALIZADOS EM SUÍNOS, 11, 2003, Goiânia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA - Suínos e Aves 2003. p. 433-434.

OLIVEIRA, R. A.; CAMPELO, P. L. G.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A.; CECON, P. R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico vermelho-amarelo. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 263-267, 2000.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem**. 1 ed. Belo Horizonte: UNICEF, 1996, 56 p.

PEREIRA NETO, J. T. Tratamento, reciclagem e impacto ambiental de dejetos agrícolas. In: CONFERÊNCIA SOBRE AGRICULTURA E MEIO AMBIENTAL, 1994, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV – NEPEMA, 1994. p. 154-159.

PEREIRA NETO, J. T. **Um sistema de reciclagem e compostagem, de baixo custo, de lixo urbano para países em desenvolvimento**. Viçosa: UFV, 1995, 16 p.

PEREIRA NETO, J. T.; CALMETO, J. C. N.; AZEVEDO, M. A.; MONTEIRO, G. P. Uma nova concepção de compostagem por reviramento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 15, 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Graphos, 1989. p. 543-556.

RODRIGUES, V. C.; THEODORO, V. C. A.; ANDRADE, I. F.; INÁCIO NETO, A.; RODRIGUES, V. N.; ALVES, F. V. Produção de minhocas e composição mineral do vermicomposto e das fezes procedentes de bubalinos e bovinos. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1409-1418, nov/dez 2003.

SEDIYAMA, M. N. A.; GARCIA, N. C. P.; VIDIGAL, S. M.; MATOS, A. T. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 185-189, 2000.

SEGANFREDO, M. A. **Dejetos animais**: a dupla face benefício e prejuízo. Embrapa - Suínos e Aves. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/?/artigos/2004/artigo-2004-n026.html;ano=2004>. Acesso em: abr. 2005.

SERAFIM, R. S.; LUCAS JUNIOR, J. Fósforo e nitrogênio nos dejetos de suínos produzidos sob diferentes sistemas de higienização das baias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALIZADOS EM SUÍNOS, 11, 2003, Goiânia. **Anais...** Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2003. p. 449-450.

SILVA, F. C.; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D. **Recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no estado de São Paulo**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária – Área de Comunicação e Negócios, 2002a, 17 p.

SILVA, C. D.; COSTA, L. M.; MATOS, A. T.; CECOM, P. R.; SILVA, D. D. Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 487-491, 2002b.

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

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p.

TEIXEIRA, L. B.; GERMANO, V. L. C.; OLIVEIRA, R. F.; FURLAN JÚNIOR, J. **Processo de compostagem a partir de lixo orgânico urbano e caroço de açaí**. Belém: Embrapa - Amazônia Oriental, 2002a, 7 p.

TEIXEIRA, L. B.; OLIVEIRA, R.F.; GERMANO, V. L. C.; FURLAN JÚNIOR, J. **Composição química de composto de lixo orgânico de Barcarena**. Belém: Embrapa - Amazônia Oriental, 2002b, 4 p.

TRIPATHI, G.; BHARDWAJ, P. Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia foetida* (Savigny) and *Lampito mauritti* (Kinberg). **Bioresource Technology**, Oxon, v. 92, p. 275-283, 2004.

VERAS, L. R. V.; POVINELLI, J. A vermicompostagem do lodo de lagoas de tratamento de efluentes industriais consorciada com composto de lixo Urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 3, p. 218-224, 2004.

ANEXO

ANEXO A

Tabela 1A - Especificações dos fertilizantes orgânicos simples *(valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C)

Orgânico simples processado	U% máx.	pH	*C org% mín.	N% mín.	*CTC mínimo	*CTC/C mínimo
Estercos e camas	30	Conforme declarado	20	1	Conforme declarado	10
Tortas vegetais	20		35	5		10
Turfa	25		20	0,5		20
Linhita	25		20	0,5		10
Leonardita	25		25	0,5		10
Parâmetros de referência para outros fertilizantes orgânicos simples	40		15	0,5		10

Fonte: Instrução Normativa Nº23, 31/08/2005, MAPA

Tabela 2A - Especificações dos fertilizantes orgânicos, misto e compostos *(valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C)

Garantia	Misto/Composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A, B, C, D
Umidade (máx.)	50	50	50	70	50
N total (mín.)	1				
*Carbono orgânico (min)	15				10
*CTC	Conforme declarado				
pH (mín.)	6,0		6,5	6,0	6,0
Relação C/N (máx.)	18				12
*Relação CTC/C (min.)	20			30	20
Soma NPK, NP, NK, PK	Conforme declarado				

Fonte: Instrução Normativa Nº23, 31/08/2005, MAPA