

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL  
UNIVERSITÄT STUTTGART**

**JULIENE PAIVA FLORES**

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE FEZES CANINAS EM COMPOSTEIRAS DE  
PEQUENA ESCALA**

**CURITIBA  
2011**

**JULIENE PAIVA FLORES**

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE FEZES CANINAS EM COMPOSTEIRAS DE  
PEQUENA ESCALA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e Universität Stuttgart.

Orientação: Profa. Dra. Patricia Charvet  
Coorientação: Profa. MSc. Marielle Feilstrecker

**CURITIBA  
2011**

Flores, Juliene Paiva

Avaliação da utilização de fezes caninas em composteiras de pequena escala / Juliene Paiva Flores. – Curitiba, 2012.

97 f. : il.; 30 cm

Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial em parceria com o SENAI-PR e *Universität Stuttgart*, Alemanha.

Orientador: Dra. Patricia Charvet

Co-orientadores: Profa. M.Sc. Marielle Feilstrecker

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Matéria orgânica.  
3. Compostagem. 4. Cães. I. Charvet, Patricia. II. Feilstrecker, Marielle. IV. Título.

CDU 628.473

# **TERMO DE APROVAÇÃO**

**JULIENE PAIVA FLORES**

## **AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE FEZES CANINAS EM COMPOSTEIRAS DE PEQUENA ESCALA**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre do Curso de Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI), Setor de Engenharia Química da Universidade Federal do Paraná, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial e Universität Stuttgart, pela seguinte banca examinadora:

Orientadora: Profa. Dra. Patricia Charvet

Departamento Regional do Paraná, SENAI/DR/PR

Co-orientadora: Profa. Me. Marielle Feilstrecker

Departamento Regional do Paraná, SENAI/PR

Professora visitante: Profa. Dra. Marlene Soares

Departamento de Química Ambiental, UTFPR.

Professora MAUI: Profa. Dra. Karen Juliana do Amaral

Universität Stuttgart

Dedico este trabalho à minha mãe, Eva, que sempre esteve ao meu lado e que nunca deixa de acreditar na minha capacidade de vencer.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, em quem confio.

Aos meus pais, por semearem a determinação no meu coração.

Ao meu marido, Wellington, por garantir a paz, tão necessária quando se está estudando.

À minha orientadora Profa. Dra. Patricia Charvet, pelo acompanhamento e orientação.

À minha co-orientadora Profa. Me. Marielle Feilstrecker, pela orientação, pela amizade e pela constante disposição em me direcionar nos momentos de dificuldade.

Aos professores da Universität Stuttgart, Universidade Federal do Paraná e SENAI-CIC, que acreditaram no sucesso deste mestrado e me proporcionaram a oportunidade de realizá-lo.

Ao DAAD – Serviço Alemão de Intercâmbio Acadêmico, que através de seu apoio financeiro me deu a chance de conhecer a vasta experiência ambiental alemã.

Ao Laboratório SENAI-CIC, por atender tão prontamente minhas solicitações de análises, além da colaboração nas dúvidas referentes à metodologias.

À Profa. Dra. Marlene Soares, por me honrar com sua presença na banca examinadora.

À Profa. Dra. Karen Amaral, pela presença como banca examinadora e por suas importantes sugestões.

“Aquele que sai semeando e chorando  
voltará com júbilo, trazendo os seus feixes”.  
Salmo 126.6

## RESUMO

Atualmente têm-se buscado soluções para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados. A compostagem em pequena escala, permite a reutilização dos resíduos orgânicos em seu local de produção, evitando os altos custos de coleta, transporte e destinação final. A utilização de fezes de animais em processos de compostagem é comum, porém as fezes caninas são pouco utilizadas, pois podem representar risco de contaminação e consequente inutilização do composto. Em vista da quantidade de fezes caninas geradas em ambientes urbanos e do risco inerente ao resíduo é importante que se criem soluções para sua destinação, sendo que a compostagem doméstica em pequena escala se apresenta como uma possibilidade simples e de baixo custo. O objetivo deste estudo foi o de avaliar a qualidade do composto obtido pela utilização de fezes caninas em processos de compostagem de pequena escala. O estudo foi desenvolvido na cidade de Curitiba, Paraná, no período de 18/05/2011 à 25/08/2011. Neste estudo foram montados seis sistemas de compostagem, sendo três utilizando-se de pneus sobrepostos e três de baldes de 60 Litros perfurados. Os sistemas foram montados em pares, o primeiro par continha 8 Kg de resíduos de origem doméstica e podas de jardim; o segundo par continha 7 Kg de resíduos de origem doméstica e podas de jardim e 1 Kg de fezes bovinas e o terceiro par continha 7 Kg de resíduos de origem doméstica e podas de jardim e 1 Kg de fezes caninas. Durante as treze semanas do estudo foram monitorados os seguintes parâmetros: temperatura, pH, umidade e relação carbono/nitrogênio. Ao final deste período foram realizadas análises de Coliformes termotolerantes, *Salmonella* e ovos de helmintos. Foi observado que os pares de compostos apresentaram comportamento similar em relação aos parâmetros pH, umidade, temperatura e relação C/N, atingindo a fase de estabilização a partir da décima semana de estudo. Em função das baixas temperaturas ambiente registradas no período, a temperatura máxima obtida nos processos de compostagem estudados foi de 25°C, o que inviabilizou a utilização dos compostos contendo fezes bovinas e caninas como fertilizantes agrícolas, sem tratamento prévio de higienização, já que estes compostos apresentaram contaminação por Coliformes termotolerantes. O composto contendo fezes bovinas em pneus sobrepostos apresentou contaminação por ovos de helmintos. Através deste estudo foi constatada a viabilidade da utilização do processo de compostagem em pequena escala para o tratamento de fezes caninas, no entanto, visando aprimorar este método, é necessária a realização de trabalhos futuros.

Palavras-chave: resíduos sólidos urbanos, matéria orgânica, compostagem, fezes caninas.

## ABSTRACT

Currently solutions have been sought for the disposal of increasing amounts of municipal solid wastes. The small-scale composting, allows the reuse of organic waste production sites, reducing high costs of collection, transportation and disposal. The use of dog faeces in composting processes is not common, since contamination by faeces can be a risk for the use of the compound. However considering the problems of the quantities generated and the inherent risk in the residue, it is important to create alternatives, destination, solutions and one of the simplest alternative is the small-scale composting. The objective of this study was to evaluate the quality of the compound obtained by the use of dog faeces in domestic cases small-scale composting. The study was conducted in the city of Curitiba, Parana, were assembled from 18/05/2011 to 18/08/2011. In this study six composting systems were assembled using three overlapping tires and three drilled buckets. These systems were mounted in pairs, the first pair contained 8 kg of household wastes and garden prunings, the second pair contained 7 kg of household wastes and garden prunings and 1 kg of cattle faeces and the third pair contained 7 kg of household wastes and garden prunings and 1 kg of dog faeces. During fourteen weeks the following parameters were monitored: temperature, pH, moisture and carbon / nitrogen. At the end of this period analyzed were thermotolerants *Coliform*, *Salmonella* and helminth eggs. In general, the pairs of compounds showed similar values for after pH, moisture, temperature and C / N ratio, reaching the stabilization phase after the tenth week of study. Due to the low environment temperatures recorded in the period, the maximum temperature was of 25 °C, which restrained the use of compounds containing bovine and canine faeces as fertilizers, without previous treatment, since these compounds showed thermotolerants *Coliform* contamination. The compound containing bovine faeces on tires had by *Ascaris ova* contamination. The use of dog faeces in small-scale composting in urban environments, is an opportunity to implement a sustainable method for the treatment of municipal solid waste.

Keywords: Municipal solid waste, organic matter, composting, dogs.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO BRASILEIRA, SEGUNDO OS CENSOS DEMOGRÁFICOS E PROJEÇÃO .....	18
FIGURA 2 – MODALIDADES DE DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR NÚMERO DE MUNICÍPIOS .....	20
FIGURA 3 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO GERADO NO BRASIL .....	20
FIGURA 4 – COMPOSIÇÃO RELATIVA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE CURITIBA. ....	21
FIGURA 5 – CARACTERÍSTICAS DE UM LIXÃO E SEUS RISCOS PARA O MEIO AMBIENTE E PARA A SAÚDE HUMANA.....	23
FIGURA 6 - CURVA PADRÃO DE VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	35
FIGURA 7 - VARIAÇÃO DO PH EM FUNÇÃO DO TEMPO (DIAS) DE COMPOSTAGEM .....	37
FIGURA 8- COMPOSTEIRAS DE PEQUENA ESCALA UTILIZADAS NO EXPERIMENTO .....	51
FIGURA 9- SISTEMAS DE COMPOSTAGEM (A) PNEUS SOBREPOSTOS, (B) BALDE 60 LITROS.....	52
FIGURA 10 – DIGESTÃO DAS AMOSTRAS (A) E DESTILAÇÃO DAS AMOSTRAS (B) EM BALÃO KJEDAHN, PARA DETERMINAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL. ....	58
FIGURA 11 – CÁPSULAS APÓS CALCINAÇÃO (550°C), CONTENDO RESÍDUOS DAS AMOSTRAS.....	59
FIGURA 12 – REGISTRO DE TEMPERATURA AMBIENTE NA CIDADE DE CURITIBA, DURANTE O PERÍODO DO EXPERIMENTO.....	62
FIGURA 13 – RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE TEMPERATURA PARA OS COMPOSTOS 1 (BALDE CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 2 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) .....	64
FIGURA 14 – RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE TEMPERATURA PARA OS COMPOSTOS 3 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 4 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) .....	65
FIGURA 15 – RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE TEMPERATURA PARA OS COMPOSTOS 5 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 6 (PNEUS	

	SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) .....	66
FIGURA 16 –	RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE pH PARA OS COMPOSTOS 1 (BALDE CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 2 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS).....	68
FIGURA 17 –	RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE pH PARA OS COMPOSTOS 3 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 4 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) .....	69
FIGURA 18 –	RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE pH PARA OS COMPOSTOS 5 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 6 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) .....	70
FIGURA 19 –	MONITORAMENTO DE % UMIDADE PARA OS COMPOSTOS 1 (BALDE CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 2 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) .....	72
FIGURA 20 –	MONITORAMENTO DE % UMIDADE PARA OS COMPOSTOS 3 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 4 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS).....	73
FIGURA 21 –	MONITORAMENTO DE % UMIDADE PARA OS COMPOSTOS 5 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 6 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS).....	74
FIGURA 22 –	MONITORAMENTO DA RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO PARA OS COMPOSTOS 1 (BALDE CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS DE FRUTAS E VERDURAS) E 2 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS).....	75
FIGURA 23 –	MONITORAMENTO DA RELAÇÃO CARBONO/ NITROGÊNIO PARA OS COMPOSTOS 3 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 4 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) .....	76
FIGURA 24 –	MONITORAMENTO DA RELAÇÃO CARBONO / NITROGÊNIO PARA OS COMPOSTOS 5 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 6 (PNEUS	

SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) .....	77
FIGURA 25 – RELAÇÃO C/N FINAL / C/N INICIAL PARA OS COMPOSTOS ESTUDADOS.....	80

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ESPECIFICAÇÕES ACEITÁVEIS DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS MISTOS E COMPOSTOS .....	29
QUADRO 2 - LIMITES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES ADMITIDOS EM FERTILIZANTES ORGÂNICOS .....	30
QUADRO 3- TEORES PERMISSÍVEIS DE METAIS PESADOS (MG/KG) NO COMPOSTO DE LIXO URBANO EM ALGUNS PAÍSES DA EUROPA E ESTADOS UNIDOS .....	30
QUADRO 4 - COMPOSIÇÃO DE ALGUNS MATERIAIS EMPREGADOS NO PREPARO DO COMPOSTO (RESULTADO EM MATERIAL SECO A 110°C).....	33
QUADRO 5 – CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE COMPOSTAGEM SEGUNDO OS FATORES PREDOMINANTES NO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO.....	41
QUADRO 6 - CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS GRUPOS DE MICRORGANISMOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM .....	45
QUADRO 7- TEMPERATURAS LETAIS E OS TEMPOS DE EXPOSIÇÃO NECESSÁRIOS PARA ELIMINAÇÃO DE ALGUNS MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS ENCONTRADOS NO LIXO DOMICILIAR E NO LODO DE ESGOTO .....	46
QUADRO 8- PROBLEMAS, POSSÍVEIS CAUSAS E SOLUÇÕES DURANTE A COMPOSTAGEM .....	47
QUADRO 9- QUANTIDADE MÉDIA DE EXCREMENTO PRODUZIDA POR DIVERSAS ESPÉCIES DE ANIMAIS .....	48
QUADRO 10 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS DEJETOS DE DIVERSAS ESPÉCIES .....	49
QUADRO 11 - CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE COMPOSTAGEM.....	53
QUADRO 12 - DATAS DAS COLETAS E ANÁLISES REALIZADAS NO ESTUDO DA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DOMÉSTICOS, PODAS DE JARDIM E FEZES DE ANIMAIS .....	55
QUADRO 13 - MÉTODOS DE ANÁLISE ADOTADOS NO ESTUDO.....	55
QUADRO 14 – PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS AVALIADOS NOS COMPOSTOS ESTUDADOS AO FINAL DE 14 SEMANAS DE COMPOSTAGEM .....	81
QUADRO 15 – COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES PERMITIDOS PELA INSTRUÇÃO NORMATIVA MAPA 25 DE 23/07/2009 PARA OS FERTILIZANTES ORGÂNICOS MISTOS E COMPOSTOS E OS VALORES OBTIDOS NO PRODUTO FINAL DOS COMPOSTOS ESTUDADOS.....	84

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
	2.1 OBJETIVO GERAL .....	17
	2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
	3.1 PROBLEMÁTICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL.....	18
	3.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade de Curitiba.....	21
	3.1.1 Impactos Relacionados à Disposição de Resíduos Sólidos em Lixão, Aterro Controlado e Aterro Sanitário.....	22
	3.2 MATÉRIA ORGÂNICA.....	24
	3.2.1 Histórico: Utilização Da Matéria Orgânica Em Compostos Fertilizantes....	24
	3.2.2 Decomposição da Matéria Orgânica.....	25
	3.2.3 Matéria Orgânica e o Solo .....	26
	3.3 ASPECTOS LEGAIS SOBRE FERTILIZANTES ORGÂNICOS.....	27
	3.4 COMPOSTO E COMPOSTAGEM.....	31
	3.4.1 Fatores que Influenciam os Processos de Compostagem.....	32
	3.4.1.1 Fontes de material orgânico para compostagem .....	33
	3.4.1.2 Temperatura.....	34
	3.4.1.3 Potencial hidrogênionico (pH) .....	36
	3.4.1.4 Umidade .....	37
	3.4.1.5 Aeração.....	38
	3.4.1.6 Dimensão das Partículas.....	38
	3.4.1.7 Dimensão e formato da pilha.....	39
	3.4.1.8 Relação carbono/nitrogênio.....	39
	3.4.2 Sistemas de Compostagem.....	40
	3.4.3 Processo de Compostagem em Pequena Escala.....	43
	3.4.4 Microbiologia da Compostagem.....	44

3.4.5 Cuidados na Produção de Composto Orgânico.....	46
3.4.6 Utilização de Fezes de Animais em Processos de Compostagem .....	47
3.4.7 Utilização de Fezes Caninas em Processos de Compostagem.....	49
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>51</b>
4.1 LOCAL E PERÍODO DA REALIZAÇÃO DO ESTUDO.....	51
4.2 MONTAGEM E CARACTERÍSTICAS DAS COMPOSTEIRAS.....	52
4.3 MISTURA DAS MATÉRIAS PRIMAS .....	52
4.4 MONTAGEM E CARACTERÍSTICAS DAS COMPOSTEIRAS.....	53
4.3 AMOSTRAGEM E PREPARO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE .....	54
4.4 ANÁLISES DOS SISTEMAS DE COMPOSTAGEM.....	56
4.4.1 Monitoramento da Temperatura dos Compostos.....	56
4.4.2 Monitoramento do Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	56
4.4.3 Monitoramento da Umidade.....	57
4.4.4 Nitrogênio Total.....	57
4.4.5 Carbono Orgânico.....	58
4.4.6 Determinação de Coliformes Termotolerantes .....	59
4.4.7 Teste Presença/Ausência para Salmonella .....	60
4.4.8 Determinação de Ovos de Helminthos .....	61
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>62</b>
5.1 MONITORAMENTO DA TEMPERATURA.....	62
5.2 MONITORAMENTO DO POTENCIAL HIDROGENIÔNICO .....	68
5.3 MONITORAMENTO DA UMIDADE .....	71
5.4 RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO (C/N) .....	75
5.5 HIGIENIZAÇÃO COMPOSTOS.....	80
5.6 COMPARAÇÃO ENTRE A LEGISLAÇÃO E A QUALIDADE DO COMPOSTO OBTIDO.....	83
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>85</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....</b>	<b>87</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos de origem urbana (RSU) compreendem aqueles produzidos pelas inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas, abrangendo resíduos de várias origens, como residencial, comercial, de estabelecimentos de saúde, industriais, da limpeza pública, da construção civil e, finalmente, os agrícolas (ZANTA; FERREIRA, 2003).

Dentre os RSU, observa-se que mais de 57% de todo resíduo gerado no Brasil é composto por matéria orgânica, os chamados resíduos sólidos orgânicos (ABRELPE, 2006).

Qualquer que seja a origem dos resíduos sólidos orgânicos, quando estes não são tratados e dispostos adequadamente, podem gerar problemas ambientais e de saúde pública. Pode-se citar a depreciação da paisagem, odores provocados pela degradação da matéria orgânica, presença de vetores como moscas, formigas, baratas, ratos e mosquitos, presença de chorume (TROMBIN et al., 2005), contaminação de águas superficiais e subterrâneas, devido ao transporte de poluentes e disposição em aterros sanitários, além da disposição incorreta em galerias pluviais, rios e solos (MARQUES; HOGGLAND, 2002).

Apesar dos problemas relacionados aos resíduos sólidos orgânicos, estes são fonte de aminoácidos, vitaminas, proteínas, sais minerais, macro e micronutrientes essenciais à boa atividade de degradação, podendo ser utilizado em processos de compostagem (PEREIRA NETO, 1989).

A compostagem é um dos métodos mais antigos de tratamento dos resíduos orgânicos, durante o qual a matéria orgânica é transformada em fertilizante orgânico (PEREIRA NETO E MESQUITA, 1992). As grandes vantagens da compostagem são: economia de área em aterro, aproveitamento agrícola da matéria orgânica, reciclagem de nutrientes para o solo, processo ambientalmente seguro, eliminação de patógenos e vetores nocivos ao homem (GRIPIL, 2001).

Para dar início à compostagem normalmente são usados materiais ricos em microrganismos como inoculantes, entre eles tem-se: esterco de animais, camas de animais, resíduos de frigoríficos, sobras de compostos anteriores, tortas de oleaginosas, etc. (GOMES E PACHECO, 1992)

Entre os esterco de animais, as fezes caninas ainda são pouco utilizadas em processos de compostagem, uma vez que a contaminação pelas fezes pode ser um risco ao uso do composto. No entanto a presença de fezes de animais tanto no ambiente como destinadas a aterros ou lixões significa a proliferação de vetores e a contaminação pelas doenças zoonóticas ou zoonoses (SHELLABARGER, 1994). Em 1958 a Organização Mundial de Saúde definiu zoonoses como "doenças e infecções que são naturalmente transmitidas entre animais e o homem". Esta definição ainda é válida até os dias de hoje (KRAUSS et al., 2003).

Visto que a as fezes caninas são fontes de doenças, permitem a proliferação de vetores e contribuem significativamente para o aumento da quantidade de resíduo sólido de origem orgânica destinada aos aterros sanitários, o presente trabalho se propôs a realizar uma avaliação analítica dos compostos gerados em sistemas de compostagem de pequena escala utilizando fezes caninas, buscando uma alternativa de aproveitamento para este resíduo.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Montar composteiras domésticas, monitorar os sistemas de compostagem, comparar as diferentes técnicas de compostagem adotadas e avaliar a qualidade do composto obtido pela utilização de fezes caninas nas composteiras estudadas.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Montar dois diferentes sistemas de compostagem em pequena escala;
- Comparar sistemas de compostagem com e sem adição de fezes de animais;
- Comparar sistemas de compostagem contendo fezes bovinas e caninas;
- Monitorar os parâmetros pH, temperatura, umidade e relação carbono/nitrogênio nos sistemas de compostagem estudados;
- Comparar a qualidade do composto gerado em dois diferentes processos de compostagem em pequena escala;
- Determinar se os compostos resultantes da compostagem em pequena escala, que utiliza como substrato fezes caninas, atendem aos requisitos de qualidade constantes na Instrução Normativa nº 025, de 23 de julho de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na presente revisão bibliográfica serão apresentados os principais temas relacionados à geração e à destinação dos resíduos sólidos urbanos, ao processo de compostagem e aos benefícios da utilização do composto orgânico como substrato para sistemas de compostagem.

#### 3.1 PROBLEMÁTICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a taxa de crescimento populacional no Brasil, apesar de ter recuado de 3,04%, nos anos de 1950-60, para 1,17% no ano de 2010, somente irá passar a sofrer decréscimo após 2040, até lá a população continuará a crescer, mesmo que em taxas cada vez menores. O Figura 1 traz a evolução da população desde 1950 e uma projeção até o ano de 2050 (IBGE, 2010). Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2000), este crescimento vem causando um aumento considerável na geração dos resíduos sólidos urbanos das mais diversas naturezas.

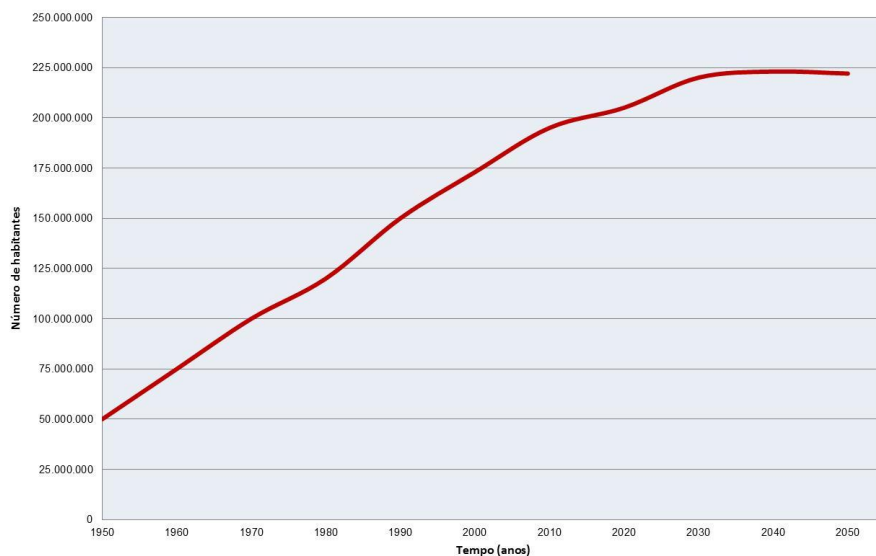


FIGURA 1 – EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO BRASILEIRA, SEGUNDO OS CENSOS DEMOGRÁFICOS E PROJEÇÃO

FONTE: Adaptado IBGE (2010)

Resíduos Sólidos Urbanos são, segundo a Norma Brasileira NBR 10.004, de 2004 – Resíduos sólidos – classificação:

“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 os 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 inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível”.

Essa definição torna evidente a diversidade e complexidade dos resíduos sólidos (ZANTA; FERREIRA, 2003). Os resíduos sólidos de origem urbana (RSU) compreendem aqueles produzidos pelas inúmeras atividades desenvolvidas em áreas com aglomerações humanas, 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. Os RSU são normalmente encaminhados para a disposição em aterros sob responsabilidade do poder municipal, entre eles os resíduos de origem domiciliar ou aqueles com características similares, como os comerciais e os resíduos da limpeza pública.

Em pesquisa da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2007), das cerca de 170.000 toneladas diárias de RSU gerados no país, pouco mais de 140.000 toneladas são coletados, dos quais 60% não têm destino final adequado. Os Resíduos da Construção Civil (RCC), coletados adicionalmente aos RSU, atingem a surpreendente casa das 70.000 toneladas por dia. A Figura 2 (ABRELPE, 2007) apresenta as modalidades de destinação final dos RSU por número de municípios e região do Brasil.

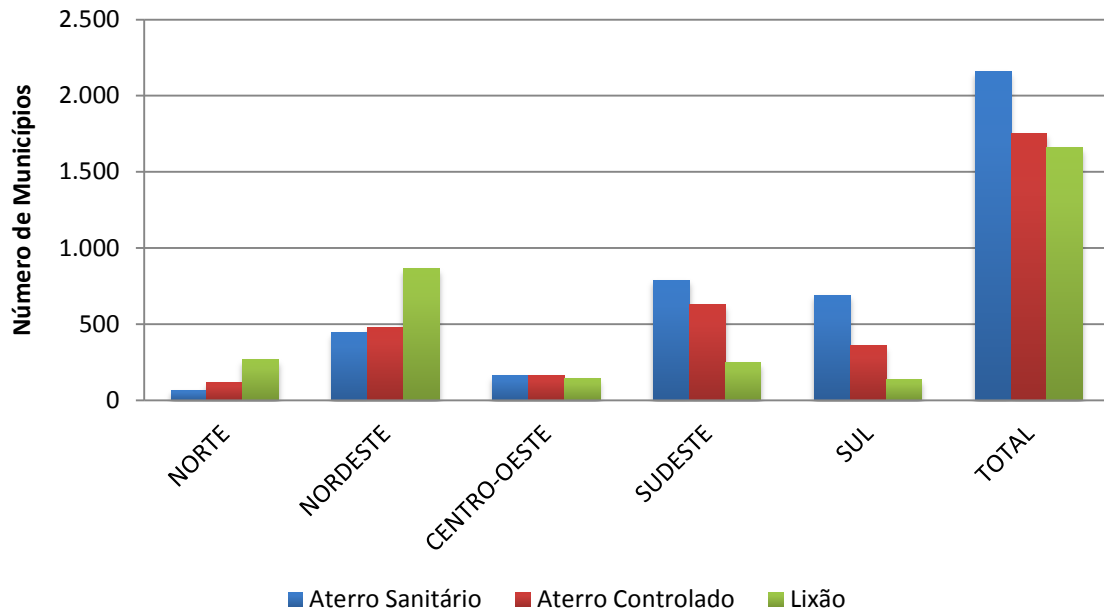


FIGURA 2 – MODALIDADES DE DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS POR NÚMERO DE MUNICÍPIOS  
 FONTE: adaptado de ABRELPE (2007)

A Figura 3 (ABRELPE, 2006) mostra a composição média dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, observa-se que mais de 57% do RSU gerado é composto por matéria orgânica.

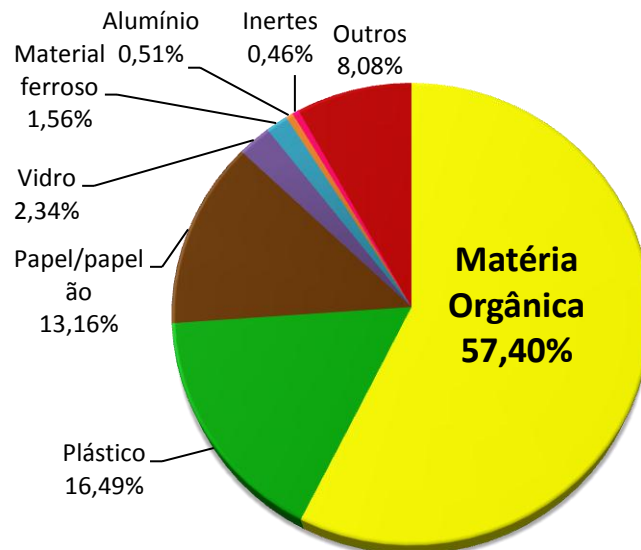


FIGURA 3 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DO RESÍDUO SÓLIDO URBANO GERADO NO BRASIL  
 FONTE: adaptado de ABRELPE (2006)

### 3.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade de Curitiba

A composição dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Curitiba mostra que a porcentagem de resíduos sólidos de origem orgânica é inferior à média brasileira (Paes et al., 2007). A Figura 4 apresenta a composição relativa dos resíduos sólidos urbanos gerados na cidade de Curitiba.

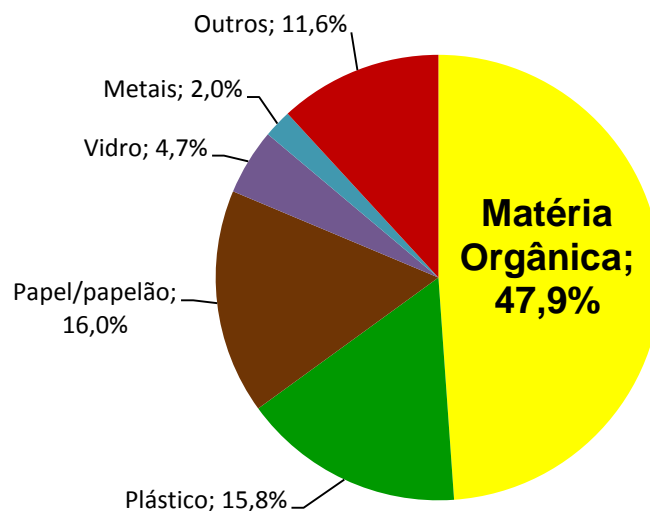


FIGURA 4 – COMPOSIÇÃO RELATIVA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE CURITIBA.  
FONTE: adaptado de Paes et al. (2007)

Até o início de novembro de 2010, os RSU da cidade de Curitiba e de outros 17 municípios da região metropolitana era encaminhado ao Aterro da Caximba (Prefeitura de Curitiba, 2011). Um aterro sanitário que funcionava desde 1989 e que esgotou sua capacidade de receber resíduos antes de uma nova solução ser encontrada (PAES et al, 2007).

Cientes do esgotamento da capacidade do Aterro da Caximba, no ano de 2001, os municípios da Região Metropolitana de Curitiba constituíram o Consórcio Intermunicipal para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, tendo por objetivo organizar as ações e atividades relacionadas ao Sistema de Tratamento e Destinação Final dos resíduos sólidos urbanos gerados (NETO; MOREIRA, 2009).

Este Consórcio, no ano de 2007 elaborou um Plano de Gerenciamento do Tratamento e Destinação de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana de Curitiba.

Este plano, visava o processamento dos resíduos, maximizando a reciclagem e a compostagem, conseqüentemente minimizando o volume aterrado (CONRESOL, 2007).

Atualmente grande parte do lixo, cerca de 2.300 toneladas por dia, é destinada para o aterro da empresa Estre Ambiental, em Fazenda Rio Grande. Outra parte, 100 toneladas, segue para a Essencis Soluções Ambientais, na Cidade Industrial de Curitiba (Prefeitura de Curitiba, 2011).

### 3.1.1 Impactos Relacionados à Disposição de Resíduos Sólidos em Lixão, Aterro Controlado e Aterro Sanitário

Existem no Brasil, três principais formas de destinação para os resíduos sólidos urbanos, são elas: lixão, aterro controlado e aterro sanitário.

O lixão consiste em uma forma inadequada de disposição final de resíduos sólidos, onde os resíduos são encerrados sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública (JARDIM et al., 1995).

A presença de um lixão influencia sobremaneira a área onde o mesmo está instalado, causando modificações no meio físico, biótico e antrópico. Apresentam-se na Figura 4 (NUNESMAIA, 2001) os principais riscos, decorrentes da existência de um lixão, para o meio ambiente e para a saúde humana.

A disposição inadequada dos resíduos, caracterizada pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública, interfere na qualidade de vida da população, provocando diversos tipos de poluição – a visual (em virtude do local onde é disposto), a do ar (com as emissões de poeiras, gases e mau cheiro), a da água e do solo (com a decomposição da matéria orgânica presente no resíduo que gera o chorume) (OLIVEIRA; MAGNA; SIMM, 2007).

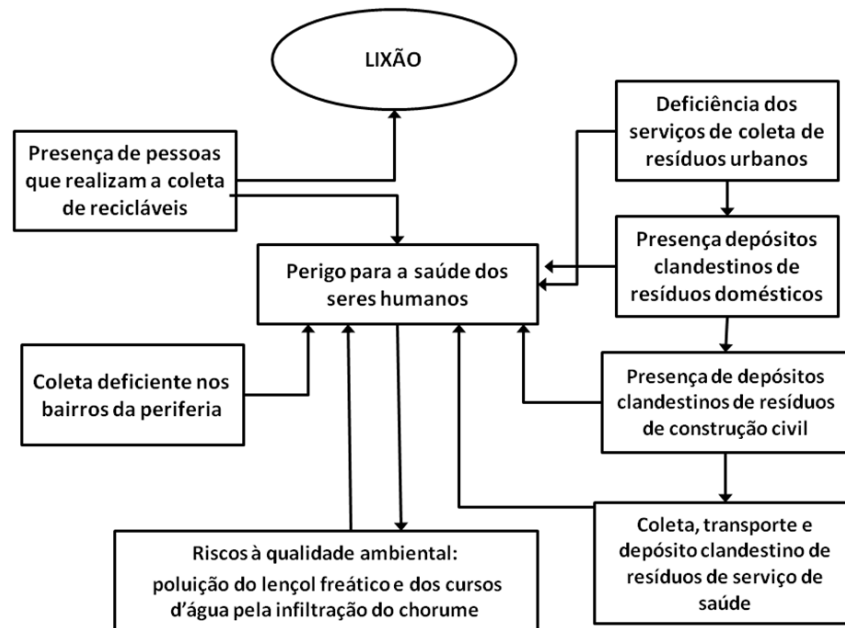


FIGURA 5 – CARACTERÍSTICAS DE UM LIXÃO E SEUS RISCOS PARA O MEIO AMBIENTE E PARA A SAÚDE HUMANA

FONTE: Adaptado de Nunesmaia (2001)

Os resíduos dispostos de maneira inadequada oferecem condições propícias para abrigo, alimentação, reprodução e proliferação de vetores biológicos (moscas, baratas e ratos), os quais são responsáveis pela transmissão de várias doenças, como diarreia infecciosa, amebíase, febre tifóide e paratifóide, helmintose e outras parasitoses, peste bubônica, tifo e leptospirose (FEAM, 1995).

Aterro controlado é uma variação do lixão, nesta forma de disposição, os resíduos sólidos são cobertos com terra, de forma arbitrária, o que reduz os problemas de poluição visual, mas não reduz a poluição do solo, da água e atmosférica, não levando em consideração a formação de líquidos e gases (SANT'ANA FILHO, 1992). Os aterros controlados possuem um potencial elevado de poluição do solo e da água, pois as chuvas que lixiviam através do lixo dissolvem e carregam os poluentes orgânicos e inorgânicos que podem causar contaminação do lençol freático se não forem inertizadas pelo solo através dos processos de filtragem, adsorção, biodegradação e precipitação química (AZEVEDO; DALMOLIN, 2004).

O método de tratamento de resíduos sólidos urbanos que tem sido indicado no Brasil e que apresenta menor custo, consiste em sua estocagem no solo por intermédio da técnica de aterro sanitário. Os resíduos sólidos urbanos acumulados continuamente em aterros não são, contudo, inativos, uma vez que grande parte dos

resíduos apresenta potencial para ser reciclado, inclusive os de origem orgânica (CASTILHOS et al., 2003).

Para utilização de aterros como depósito de resíduos sólidos deve-se considerar, a localização, a topografia do terreno, as características dos resíduos, o monitoramento e controle de gases e da qualidade dos recursos hídricos, a estabilidade estrutural do aterro, os aspectos sociais e a conservação ambiental (MARTIN;TEDDER, 2002).

## 3.2 MATÉRIA ORGÂNICA

### 3.2.1 Histórico: Utilização Da Matéria Orgânica Em Compostos Fertilizantes

Em seu livro “História das Agriculturas no Mundo, do Neolítico à Crise Contemporânea”, MAZOYER (2010), relata que na antiga agricultura os elementos fertilizantes (nitrogênio, fósforo, potássio, assim como cálcio, magnésio, enxofre e os oligoelementos) necessários ao crescimento das plantas provinham essencialmente do próprio meio cultivado, pela solubilização da rocha-mãe, por fixação de nitrogênio do ar e pela mineralização do húmus. Há muito tempo já se sabia como concentrar a fertilidade do ecossistema nas terras cultivadas, trazendo-lhes matéria mineral ou orgânica colhida em terras incultas (cinzas, folhas, terra orgânica, algas marinhas, dejetos animais, esterco etc.). E sabia-se, ainda, fertilizar o solo cultivado acrescentando adubos coletados no exterior do ecossistema cultivado (depósitos de matéria orgânica “*tells*” no vale do Nilo, o guano da costa peruana, pedreiras diversas).

Ainda segundo MAZOYER (2010), somente no fim do século XIX os adubos minerais passaram a ser utilizados, mas ainda de maneira limitada. Não abrangia mais do que um quarto da agricultura dos países industrializados e, nas regiões e nas propriedades que os utilizavam, as quantidades empregadas eram incomparáveis com as atuais. No total, pode-se pensar que em 1900 somente de 10% a 15% dos elementos fertilizantes exportados pelas colheitas provinham de

adubos minerais, enquanto todos os demais provinham do próprio ecossistema cultivado.

Na década de 90 influenciados pela ECO 92 (Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992), houve uma retomada de formas de cultivo da terra e de algumas antigas práticas rurais, dentre as quais os processos de utilização de resíduos orgânicos para geração de fertilizantes (ORMOND et al., 2002). Ainda segundo este autor, ao contrário do que possa parecer, não é um retorno ao passado, mas uma visão de futuro que visa recuperar o domínio do conhecimento e da observação sobre o processo produtivo agropecuário. É a apropriação de uma avançada tecnologia que possibilita a produção de alimentos e outros produtos vegetais e animais, estabelecendo um convívio amigável entre o homem e o meio ambiente, com a mínima intervenção possível.

### 3.2.2 Decomposição da Matéria Orgânica

A matéria orgânica, sob o ponto de vista químico, é toda substância que apresenta em sua composição o carbono tetravalente, tendo suas quatro ligações completadas por hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre ou outros elementos (KIEHL, 1985).

O carbono é o elemento químico principal da matéria orgânica, constituindo geralmente de 40 a 45% da mesma. Alguns autores consideram o carbono orgânico total (COT) como o indicador mais importante da qualidade do solo e da agricultura sustentável, devido à sua estreita relação com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (AITA, 1997).

O nitrogênio constitui cerca de 5% da fração orgânica do solo e a sua dinâmica no solo está intimamente associada à dinâmica do Carbono. Em linhas gerais, a quantidade de nitrogênio no solo é influenciada pelos mesmos fatores que atuam sobre o teor de matéria orgânica (BAYER et al., 2000). Aproximadamente 98% desse elemento ocorre na forma orgânica e 2% na forma mineral. A disponibilidade de nitrogênio é fundamental para o crescimento vegetal, uma vez

que as plantas são dependentes do suprimento adequado de nitrato e amônio do solo para sintetizar seus constituintes nitrogenados (SILVA, 2002).

Na decomposição do material orgânico, os açúcares, amidos e proteínas são decompostos primeiro; a seguir, há decomposição da proteína bruta e hemicelulose. Outros componentes como a celulose, a lignina e as gorduras são mais resistentes, podendo, com o tempo, dar origem às substâncias orgânicas de estrutura química mais complexa, genericamente denominadas húmus (MATOS et al., 1998).

### 3.2.3 Matéria Orgânica e o Solo

A matéria orgânica estabilizada exerce importantes efeitos benéficos sobre as propriedades do solo, contribuindo substancialmente para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Esses benefícios ocorrem devido à sua influência sobre as propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas do solo, provocando o aumento de produtividade (PEREIRA NETO, 1989).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (OLIVEIRA; LIMA; CAJAZEIRA, 2004) os benefícios da incorporação de matéria orgânica estabilizada ao solo são:

- Fornecer elementos nutritivos ao solo.
- Embora em pequenas quantidades, promove a melhoria da nutrição de macro e micronutrientes em solos minerais: nitrogênio, fósforo, potássio, zinco, boro.
- Melhora o nível de aproveitamento dos adubos minerais.
- Ajuda na retenção de nutrientes fornecidos quimicamente, dando tempo ao aproveitamento dos mesmos pelas plantas, amenizando os efeitos de sua infiltração rápida para as camadas mais profundas do solo.
- Promove a solubilização de nutrientes em solos minerais. Essa ação ocorre devido à ação dos ácidos orgânicos húmicos contidos nos húmus (vegetais ou animais decompostos).
- Melhora a estrutura (granulação) do solo.

- Confere ao solo maior capacidade de absorção e armazenamento de água, possibilitando, ainda, uma boa aeração, um melhor desenvolvimento do sistema radicular e maior facilidade dos cultivos.
- Favorece uma maior atividade microbiana no solo. Resultam disso novas e acentuadas melhorias para o solo, pois a matéria orgânica serve de alimento para a população microbiana do solo.
- Promove a elevação da capacidade de troca de cátions do solo.
- Melhoria da capacidade tampão do solo. O uso de matéria orgânica permite uma rápida correção da acidez do solo, tendendo a estabilizar o pH próximo à neutralidade.
- Redução da toxidez por pesticidas e de outras substâncias tóxicas.

### 3.3 ASPECTOS LEGAIS SOBRE FERTILIZANTES ORGÂNICOS

Fertilizante orgânico pode ser definido como sendo todo produto de origem vegetal ou animal que, aplicado ao solo em quantidades, em épocas e maneiras adequadas, proporciona melhorias de suas qualidades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas, efetuando correções de reações químicas desfavoráveis ou de excesso de toxidez e fornecendo às raízes nutrientes para produzir colheitas compensadoras, com produtos de boa qualidade, sem causar danos ao solo, à planta ou ao ambiente (KIEHL, 1985).

No Brasil, de acordo com o Decreto N° 4954, de 14 de janeiro de 2004, que regulamenta a Lei Federal N° 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências, temos as seguintes definições para fertilizante:

- “Fertilizante: substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes de plantas, sendo:
- a) fertilizante mineral: produto de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico, fornecedor de um ou mais nutrientes de plantas;
  - b) fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou

- controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais;
- c) fertilizante mononutriente: produto que contém um só dos macronutrientes primários;
- d) fertilizante binário: produto que contém dois macronutrientes primários;
- e) fertilizante ternário: produto que contém os três macronutrientes primários;
- f) fertilizante com outros macronutrientes: produto que contém os macronutrientes secundários, isoladamente ou em misturas destes, ou ainda com outros nutrientes;
- g) fertilizante com micronutrientes: produto que contém micronutrientes, isoladamente ou em misturas destes, ou com outros nutrientes;
- h) fertilizante mineral simples: produto formado, fundamentalmente, por um composto químico, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- i) fertilizante mineral misto: produto resultante da mistura física de dois ou mais fertilizantes simples, complexos ou ambos;
- j) fertilizante mineral complexo: produto formado de dois ou mais compostos químicos, resultante da reação química de seus componentes, contendo dois ou mais nutrientes;
- l) fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- m) fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
- n) fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas;
- o) fertilizante organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos.”

A Instrução Normativa Nº 25, de 23 de Julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que dita as 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, apresenta a seguinte definição para o chamado composto de lixo:

“composto de lixo: produto obtido pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização segura na agricultura, atendendo aos parâmetros estabelecidos no Anexo III e aos limites máximos estabelecidos para contaminantes;”

O Anexo III da Instrução Normativa Nº 25, de 23 de Julho de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, apresenta as especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos. O Quadro 2 apresenta as especificações aceitáveis dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

Garantia	Misto/Composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A, B, C, D
Umidade % (máx)	50	50	50	70	50
Nitrogênio Total % (mín)	0,5				
*Carbono Orgânico % (mín)	15				10
Relação C/N (máx)	20				14
pH (mín)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Outros nutrientes	Conforme declarado				

\*valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C

#### QUADRO 1 – ESPECIFICAÇÕES ACEITÁVEIS DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS MISTOS E COMPOSTOS

FONTE: Adaptado da Instrução Normativa Nº 25, de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

A Instrução Normativa Nº 25, de 23 de Julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento também classifica os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais, de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção em:

“I - Classe "A": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

II - Classe "B": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

III - Classe "C": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e

IV - Classe "D": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.”

A Instrução Normativa 27, de 05 de junho de 2006, da Secretária de Defesa Agropecuária, estabelece em seu Anexo V os limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos, o Quadro 3 apresenta os Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos.

Contaminante	Unidade	Valor máximo admitido
Arsênio	mg/Kg	20,00
Cádmio	mg/Kg	3,00
Chumbo	mg/Kg	150,00
Cromo	mg/Kg	200,00
Mercúrio	mg/Kg	1,00
Níquel	mg/Kg	70,00
Selênio	mg/Kg	80,00
Coliformes termotolerantes	NMP*/g de MS**	1000,00
Ovos viáveis de helmintos	nº em 4g ST***	1,00
<i>Salmonella</i> sp		Ausência em 10g MS**

Nota: NMP\* - Número mais provável; MS\*\* - Matéria Seca; ST\*\*\* - Sólidos Totais

**QUADRO 2 - LIMITES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES ADMITIDOS EM FERTILIZANTES ORGÂNICOS**

FONTE: Adaptado da Instrução Normativa SDA Nº 27 de 05 de junho de 2006.

O Quadro 4 apresenta um comparativo dos teores permissíveis de metais pesados (mg/kg) no composto de lixo urbano em alguns países da Europa e Estados Unidos (SILVA et al., 2002), com os valores permitidos no Brasil constantes na Instrução Normativa SDA Nº 27, de 05 de Junho de 2006. É possível notar que existe uma pequena tolerância quanto à presença de metais pesados no composto e, que os limites tolerados no Brasil são menores, na maioria dos casos, quando comparados aos países desenvolvidos.

País	Metal Pesado (mg.Kg <sup>-1</sup> )						
	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Cd	Hg
Alemanha <sup>(1)</sup>	150	100	400	100	50	15	1
Estados Unidos <sup>(1)</sup>	300	1500	2800	1200	420	39	5
França <sup>(1)</sup>	800	-	-	-	200	8	8
Áustria <sup>(1)</sup>	900	1000	1500	300	200	6	4
Itália <sup>(1)</sup>	500	600	2500	500	200	10	10
Suiça <sup>(1)</sup>	150	150	500	-	-	3	3
Holanda <sup>(1)</sup>	20	300	900	50	50	2	2
Brasil <sup>(2)</sup>	150	-	-	200	70	3	1

**QUADRO 3 - TEORES PERMISSÍVEIS DE METAIS PESADOS (mg/Kg) NO COMPOSTO DE LIXO URBANO EM ALGUNS PAÍSES DA EUROPA E ESTADOS UNIDOS**

FONTE: Adaptado de <sup>(1)</sup>Silva et al. (2002), <sup>(2)</sup> Instrução Normativa SDA Nº 27 de 05 de junho de 2006

### 3.4 COMPOSTO E COMPOSTAGEM

O termo “composto orgânico” tem sido utilizado para designar o material orgânico produzido através da decomposição aeróbia de resíduos da preparação de alimentos e de atividades de manutenção de parques, praças e jardins públicos ou particulares, ricos em carbono.

FERNANDES e SILVA (1999) definem compostagem como processo de biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo no estado sólido, caracteriza-se pela produção de CO<sub>2</sub>, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável.

KIEHL (1985) define compostagem como um processo biológico de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem.

O composto, desde que atendidas as técnicas e condições de compostagem, possuirá excelentes qualidades nutricionais, físicas, químicas e biológicas, importantes para a preservação, adubação e manutenção dos solos, bem como para a recuperação de áreas degradadas.

O resultado final do processo de compostagem é a humificação quase total da matéria orgânica, que poderá, desta forma, ser utilizada na agricultura. O composto é, portanto, o resultado de um processo controlado de decomposição microbiológica, de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, em presença de oxigênio, passando pelas fases de (1) fitotoxicidade ou composto cru ou imaturo, (2) semicura ou bioestabilização, (3) cura, maturação ou humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica (compostagem) (BRUNI, 2005).

O processo de transformação da matéria orgânica é semelhante ao que ocorre na natureza com a diferença de que na compostagem acelerada são oferecidas condições para facilitar e reduzir o tempo de decomposição (HICKMANN JR., 2004).

O composto orgânico produzido a partir de resíduos orgânicos possui baixas concentrações de metais pesados e contaminantes podendo, desta maneira, ser

utilizado como substituto da terra vegetal ou, também, distribuído aos agricultores da região para a recuperação de solos exauridos ou degradados (KIEHL, 1998).

A seguir são apresentadas algumas vantagens da compostagem (DO NASCIMENTO, 2005):

- "melhora da saúde do solo". A matéria orgânica composta se liga às partículas (areia, limo e argila), ajudando na retenção e drenagem do solo melhorando sua aeração;
- aumenta a capacidade de infiltração de água, reduzindo a erosão;
- dificulta ou impede a germinação de sementes de plantas invasoras;
- aumenta o número de minhocas, insetos e microrganismos desejáveis, devido a presença de matéria orgânica, reduzindo a incidência de doenças de plantas;
- mantêm a temperatura e os níveis de acidez do solo;
- ativa a vida do solo, favorecendo a reprodução de microrganismos benéficos às culturas agrícolas;
- aproveitamento agrícola da matéria orgânica;
- processo ambientalmente seguro;
- eliminação de patógenos;
- economia de tratamento de efluentes.
- redução do odor
- rastreabilidade
- economia no transporte.

#### 3.4.1 Fatores que Influenciam os Processos de Compostagem

A decomposição do material orgânico é diferenciada segundo as características físicas, químicas e biológicas dos seus diversos componentes. Dentre os fatores que influenciam a compostagem pode-se citar: material orgânico utilizado, pH, temperatura, relação da concentração Carbono/Nitrogênio, umidade, diâmetro de partículas, grau de aeração e dimensionamento das leiras/pilhas (HAUG, 1993). Estes fatores muitas vezes estão relacionados entre si e serão melhor descritos a seguir.

### 3.4.1.1 Fontes de material orgânico para compostagem

Os materiais utilizados para a compostagem podem ser divididos em duas categorias: a dos materiais ricos em carbono e os ricos em nitrogênio, sendo fundamentais para o crescimento bacteriano. O carbono orgânico é a principal fonte de energia e o nitrogênio é necessário para a síntese celular (ALVES, 1996; PEREIRA NETO, 1996).

A relação carbono/nitrogênio de diversos materiais compostáveis encontra-se no Quadro 4, onde estão indicadas as composições de alguns materiais empregados no preparo do composto (resultados em material seco a 110°C).

Material	M.O (g/Kg)	C/N	C* (g/Kg)	N (g/Kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/Kg)	K <sub>2</sub> O (g/Kg)
Abacaxi (fibras)	714,1	44/1	396,0	9,0	-	4,6
Arroz (cascas)	850,0	63/1	472,5	7,5	1,5	5,3
Arroz (palhas)	543,4	39/1	304,2	7,8	5,8	4,1
Bagaço de carne	585,0	22/1	327,8	14,9	2,8	9,9
Bagaço de laranja	225,1	18/1	127,8	7,1	1,8	4,1
Borra de café	867,9	25/1	477,5	19,1	1,7	0,2
Capim-colonião	910,3	27/1	504,9	18,7	5,3	-
Esterco de gado	621,1	18/1	345,6	19,2	10,1	16,2
Esterco de galinha	540,0	10/1	304,0	30,4	47,0	18,9
Feijão guandu	959,0	29/1	524,9	18,1	5,9	11,4
Gramma batatais	908,0	36/1	500,4	13,9	3,6	-
Serrapilheira	306,8	17/1	163,2	9,6	0,8	1,9
Serragem de madeira	934,5	865/1	519,0	0,6	0,1	0,1
Torta de usina de açúcar	787,8	20/1	438,0	21,9	23,2	12,3
Turfa	398,9	57/1	222,3	3,9	0,1	3,2

M.O. – matéria orgânica; C/N – relação carbono/nitrogênio; \* o teor de C (g/kg) foi calculado com base na relação C/N e teores de N informados pelo autor.

QUADRO 4 - COMPOSIÇÃO DE ALGUNS MATERIAIS EMPREGADOS NO PREPARO DO COMPOSTO (RESULTADO EM MATERIAL SECO A 110°C)

FONTE: Adaptado de Kiehl (1981 e 1985)

Segundo Correia et al. (2006), alguns materiais não devem ser destinados aos processos de compostagem, como por exemplo:

- Vidros, plásticos, tintas, óleos, metais, pedras etc.

- Excesso de gorduras (porque podem libertar ácidos graxos de cadeia curta como o acético, o propiônico e o butírico os quais retardam a compostagem e prejudicam o composto),
- Ossos inteiros (os ossos só se devem utilizar se forem moídos) e carne podem atrair a presença de animais.
- O papel pode ser utilizado, mas não deve exceder 10% da massa. No entanto o papel encerado deve ser evitado por ser de difícil decomposição e o papel de cor tem que ser evitado, pois contem metais pesados.

#### 3.4.1.2 Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes para determinar se a compostagem se processa como desejável (KIELH, 1985). A produção de calor é um indicativo da atividade biológica na pilha de composto e, indiretamente, do seu grau de decomposição. Isso ocorre pelo fato do metabolismo dos microrganismos responsáveis pela compostagem ser exotérmico. A produção de calor depende da velocidade em que a decomposição se processa, do teor de umidade, arejamento, relação carbono/nitrogênio da mistura dos materiais, da forma e do tamanho da pilha de compostagem e da temperatura ambiente (HAUG, 1993).

De maneira geral, os grupos de microrganismos têm uma faixa de temperatura ótima de desenvolvimento. O controle da temperatura é muito importante porque uma variação para mais ou para menos pode provocar uma redução da população e da atividade metabólica (FERNANDES e SILVA, 1999).

A temperatura deve alcançar os 40 a 50 °C em dois ou três dias e quanto mais depressa o material for decomposto mais cedo a temperatura começará a diminuir. A decomposição da matéria ocorre mais rapidamente na fase termófila (acima dos 50°C) que pode demorar semanas ou mesmo meses, dependendo do tamanho e da composição da pilha de compostagem (KIEHL, 2002).

Quando as pilhas têm volume pequeno o calor criado pelo metabolismo dos microrganismos tende a se dissipar e o material não aquece. Em pilhas maiores essa temperatura pode alcançar até os 80°C. Convém impedir que a temperatura da

pilha ultrapasse muito os 65°C porque nessa temperatura os microrganismos benéficos ao processo de compostagem são eliminados. Nestes casos o revolvimento da pilha e o respectivo arejamento diminuem as temperaturas, porque o calor se dissipa. As altas temperaturas são desejáveis pelo fato de destruírem sementes infestantes, esporos, ovos de helmintos e quase todos os microrganismos patogênicos, os quais são poucos resistentes a temperaturas em torno de 50 a 60°C por um certo período de tempo (PEREIRA NETO, 1989). A Figura 6 apresenta a curva padrão de temperatura durante o processo de compostagem.

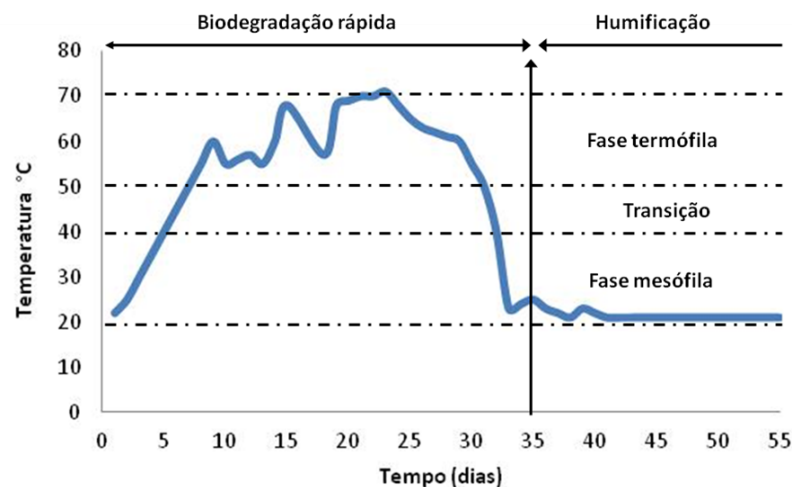


FIGURA 6 - CURVA PADRÃO DE VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

FONTE: Adaptado de Fernandes e Silva, 1999.

A decomposição inicial ocorre pela presença de microrganismos mesófilos, que utilizam os componentes solúveis e rapidamente degradáveis da matéria orgânica (RODRIGUES et al., 2006). Durante a oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos mesófilos, ocorre aumento do metabolismo microbiano e consequente geração de calor (TANG et al., 2004). Parte do calor gerado, acumula-se no interior do composto elevando a temperatura de 25°C para 40-45°C, em um período de 2 a 3 dias (KIEHL, 1985). Quando a temperatura atinge valores acima de 45°C ocorre a presença de microrganismos termófilos. A temperatura pode chegar naturalmente a 65-70 °C. Nesta temperatura, durante um período de cerca de 15 dias, é possível eliminar as bactérias patogênicas, como, por exemplo, salmonelas, ovos de parasitas, larvas de insetos, etc (FUNDACENTRO, 2002). Durante a fase termófila ocorre à máxima decomposição dos compostos orgânicos, que serão transformados em subprodutos posteriormente utilizados pela microbiota (PEREIRA

NETO, 2007). Em seguida ocorre a fase de maturação/bioestabilização pela presença de bactérias, actinomicetos e fungos (FUNDACENTRO, 2002). À medida que o Carbono disponível é consumido, a temperatura diminui até igualar-se à temperatura ambiente (Vinneras e Jonsson) esse período pode variar de 2 a 4 meses. Com a diminuição da temperatura (25-30 °C), reaparecem os microrganismos mesófilos, que serão responsáveis pela humificação do composto gerando um produto final estabilizado (Kiehl, 1985). Nesta fase, celulose e lignina são transformadas em substâncias húmicas, que caracterizam o composto pela presença de pequenos animais do solo, como, por exemplo, as minhocas (FUNDACENTRO, 2002).

#### 3.4.1.3 Potencial hidrogênionico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) do composto pode ser indicativo do estado de decomposição dos materiais. Durante as primeiras horas de compostagem o pH decresce até valores de aproximadamente 5 e, posteriormente, aumenta gradualmente com a evolução do processo de compostagem e com a estabilização do composto, alcançando, finalmente, valores entre 7 e 8 (KIEHL, 2002). Assim, valores baixos de pH são indicativos de falta de maturação devido à curta duração do processo ou à ocorrência de processos anaeróbios no interior da pilha em compostagem.

À medida em que os fungos e as bactérias digerem a matéria orgânica liberam ácidos que se acumulam e acidificam o meio. Esta diminuição do pH favorece o crescimento de fungos e a decomposição da celulose. Posteriormente estes ácidos são decompostos até serem completamente oxidados. No entanto, se existir escassez de oxigênio, o pH poderá diminuir a valores inferiores a 4,5 e limitar a atividade microbiana, retardando, assim, o processo de compostagem. Nestes casos deve-se remexer as pilhas para o pH voltar a subir (HAUG, 1993). A Figura 6 apresenta a curva de variação do pH em função do tempo (dias) de compostagem.

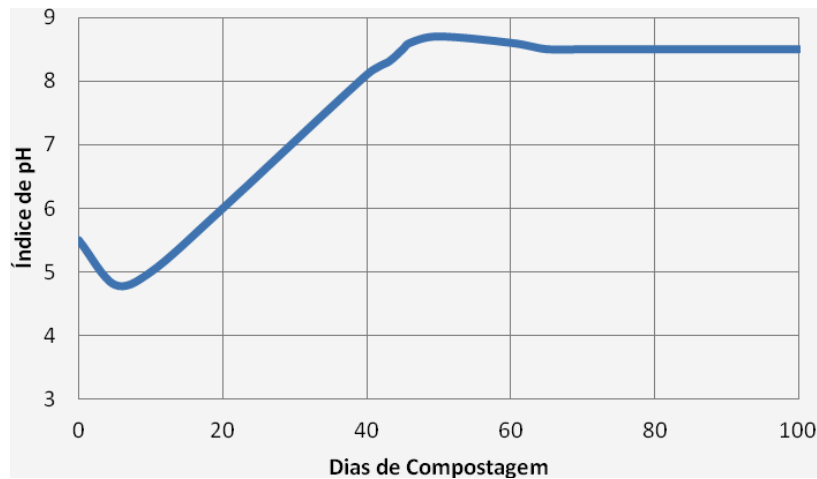


FIGURA 7 - VARIAÇÃO DO PH EM FUNÇÃO DO TEMPO (DIAS) DE COMPOSTAGEM  
 FONTE: Adaptado de Kiehl (1985)

#### 3.4.1.4 Umidade

A compostagem é um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, sendo que a presença de água é imprescindível para as necessidades fisiológicas dos organismos (MARAGNO; TROMBIN; VIANA, 2007).

A umidade constitui-se no único meio de transporte usado tanto para solubilizar o substrato, quanto para eliminar o material residual digerido. Portanto, todo nutriente precisará ser primeiramente dissolvido em água, antes de ser assimilado pelos microrganismos (PEREIRA NETO, 1999).

Um teor de umidade de 50 a 60% é considerado indicado para a compostagem. Abaixo de 35-40% a decomposição da matéria orgânica é fortemente reduzida e abaixo de 30% é praticamente interrompida. O limite superior depende do material e do tamanho das partículas sendo frequentemente considerado entre valores de 55 e 60% de umidade. Uma umidade superior a 65% retarda a decomposição e favorece a produção de maus odores, decorrentes de zonas de anaerobiose localizadas no interior do composto, além de permitir a lixiviação de nutrientes (LIMA, 1995).

#### 3.4.1.5 Aeração

A aeração da pilha favorece a oxigenação e a secagem no seu interior, isto é, fornece o oxigênio para a atividade biológica, remove umidade da massa compostada e remove calor, diminuindo a temperatura (PEREIRA NETO, 1989).

Em sistemas com aeração forçada, tanto em leira estática quanto reatores fechados, o ar necessário para o processo é parâmetro essencial para o dimensionamento. No caso das leiras artesanais a aeração é obtida através do revolvimento, enquanto para os processos com aeração forçada o oxigênio é fornecido por motores insufladores (PEREIRA NETO, 1996).

As reações metabólicas somente ocorrem quando é fornecido de 0,3 a 0,6 m<sup>3</sup> de ar/kg.d de sólidos voláteis (PEREIRA NETO, 1996).

#### 3.4.1.6 Dimensão das Partículas

Outra característica que é fundamental para o processo de compostagem é a dimensão das partículas dos materiais. A dimensão das partículas influencia o processo em dois aspectos: por um lado quanto menor forem as partículas maior será a sua superfície específica facilitando às populações microbiológicas o ataque e degradação da matéria orgânica; por outro lado se as partículas são de muito pequena dimensão reduz a porosidade da massa de compostagem o que dificulta a percolação do ar pelos interstícios (BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1983).

Em processos de compostagem de resíduos sólidos urbanos recomenda-se uma dimensão das partículas entre os 20 e 50 mm, como forma de facilitar a oxigenação e apresentar uma superfície específica adequada ao ataque microbiológico (PEREIRA NETO, 1993).

#### 3.4.1.7 Dimensão e formato da pilha

A forma e o tamanho da pilha de compostagem também influenciam a velocidade da compostagem, pelo efeito que têm sobre o arejamento e a dissipação do calor da pilha. O tamanho ideal da pilha pode ser variável. O volume deve depender do sistema e das tecnologias de compostagem utilizadas (KIEHL, 1985). A pilha muito baixa não composta bem e não aquece rapidamente. Por isso, em locais muito frios, pode ser preferível pilhas mais altas que 1,5 m. Por outro lado, as pilhas demasiado altas, com 2,5 m a 3 m, podem se tornar excessivamente quentes e matar os microrganismos responsáveis pela compostagem e/ou podem ficar muito compactas, diminuindo o arejamento no seu interior (PEREIRA NETO, 1989).

Durante o processo as pilhas podem sofrer uma redução de 40 a 60 % do seu volume inicial. Essa redução pode servir de indicativo que o processo está ocorrendo e proporciona redução de custos de transporte do composto dos locais onde ele é gerado para o local onde será utilizado (MARÍN; SANZ; AMILS, 2005).

#### 3.4.1.8 Relação carbono/nitrogênio

Este parâmetro é de fundamental importância para que um produto final de qualidade seja obtido. O carbono é utilizado com fonte energética e o nitrogênio nos processos de síntese protéica, então preconiza-se o equilíbrio entre estes elementos para que não se tornem um fator limitante para os microrganismos decompositores (SILVA *et al.*, 2002).

A relação carbono/nitrogênio ideal para a compostagem é frequentemente considerada como 30. Essa relação é indicada devido aos microrganismos responsáveis pela compostagem metabolizarem os elementos de carbono e nitrogênio em uma proporção de 30 partes de carbono para cada parte de nitrogênio (HAUG, 1993).

Nos casos em que a relação carbono/nitrogênio for inferior a 30, o nitrogênio ficará em excesso e poderá ser perdido como amoníaco, causando odores desagradáveis (CERRI; SARTORI; GARCEZ, 2008). Para relações carbono/nitrogênio mais elevadas a falta de nitrogênio irá limitar o crescimento microbiano e o carbono não será completamente degradado, não promovendo o desejado aumento da temperatura e conseqüentemente, a compostagem se processará mais lentamente (KIEHL, 2002). As perdas de nitrogênio podem ser muito elevadas (cerca de 50%) durante o processo de compostagem dos materiais orgânicos, particularmente quando faltam os materiais com elevada relação carbono/nitrogênio (CERRI; SARTORI; GARCEZ, 2008). Um volume de três partes de materiais ricos em carbono para uma parte de materiais ricos em nitrogênio é uma mistura muitas vezes utilizada (PEREIRA NETO, 1989).

Durante a compostagem, com o aumento dos materiais ricos em carbono relativamente aos nitrogenados o período de compostagem requerido aumenta (KIEHL, 2002; PEREIRA NETO, 1989). Após o processo de compostagem a relação de carbono/nitrogênio do composto bioestabilizado deve estar entre 12/1 e 10/1 (MARÍN; SANZ; AMILS, 2005).

### 3.4.2 Sistemas de Compostagem

Os processos de compostagem têm sido classificados segundo três grandes características: disponibilidade de oxigênio (aeróbios e anaeróbios), temperatura (mesofílicos e termofílicos) e tecnologia adaptada (sistemas abertos ou fechados) (FERREIRA, 1996). Esta última classificação tende a gerar alguma confusão devendo ser adaptada antes uma classificação segundo sistemas reator e não reator. Os sistemas reator são aqueles em que o material em compostagem se encontra encerrado num reator, sendo popularmente classificados de mecânicos ou fechados. Os sistemas não reator são aqueles em que o material em compostagem não se encontra encerrado em reatores, sendo popularmente designados de sistemas abertos ou tradicionais (HAUG, 1993).

Os métodos de compostagem podem ser classificados segundo os fatores predominantes no processo de fermentação, descritos no Quadro 5 (KIEHL,1985 e CAMPOS, 1998).

<b>Fatores predominantes</b>	<b>Método</b>	<b>Descrição</b>
<b>Aeração</b>	<i>Aeróbico</i>	Procura-se garantir a presença de oxigênio do ar atmosférico evitando-se a compactação da massa. A decomposição aeróbica é caracterizada pela elevação da temperatura muito acima da temperatura ambiente. Neste processo são gerados gases, sendo o anidrido carbônico o principal deles. Com esse método pode-se também atingir um elevado grau de estabilização da matéria orgânica, o que não ocorre com alguns materiais no processo anaeróbico.
	<i>Anaeróbico</i>	Neste método a fermentação é realizada por microrganismos que podem viver em ambientes isentos de ar atmosférico. A decomposição se dá com a massa encharcada ou completamente imersa em água, como ocorre com o lodo de esgoto nos tanques digestores das estações de tratamento ou com o material dos biodigestores. Neste processo são gerados gases como o metano, que pode ser utilizado como fonte energética, gás sulfídrico, ácidos orgânicos e mercaptanas de cheiro desagradável. O processo anaeróbio é mais demorado que o aeróbico, mas em compensação não exige os cuidados com o controle da temperatura, aeração e umidade, como acontece com o processo aeróbico.
<b>Temperatura</b>	<i>Criófilo</i>	O processo ocorre à temperatura ambiente. No caso do processo anaeróbico, pelo fato de não haver elevação sensível da temperatura da massa, a qual se mantém próxima da temperatura do líquido na qual essa massa esta imersa, o processo é sempre criófilo.
	<i>Mesófilo</i>	A decomposição ocorre a uma faixa de temperatura de 35 a 50°C. Na fermentação aeróbica a massa se aquece por efeito do metabolismo exotérmico dos microrganismos alcançando uma faixa de temperatura mesófila. Esse aquecimento pode ser feito de forma artificial pra acelerar o processo.
	<i>Termófilo</i>	Se na fase mesófila a atividade microbiana continuar a proporcionar um aumento na temperatura pode-se atingir temperaturas acima de 50°C, o que caracterizará o processo termófilo.
<b>Ambiente</b>	<i>Aberto</i>	Os processos nos quais a massa a ser decomposta é colocada em montes nos chamados pátios de compostagem. Neste caso necessita-se de uma maior área e de um maior tempo de decomposição.
	<i>Fechado</i>	Aqueles nos quais o material a ser fermentado é encaminhado para digestores em forma de tambores rotativos ou tanques com revolvedores mecânicos para movimentação da matéria orgânica.
<b>Tempo de compostagem</b>	<i>Lento</i>	São os conhecidos processos naturais, aqueles nos quais a matéria orgânica a ser fermentada é disposta em montes nos pátios de compostagem após separação dos materiais não degradáveis.
	<i>Acelerado</i>	Ocorrem quando o material a ser compostado sofre algum tipo de tratamento especial visando melhorar as condições de decomposição. Como exemplo pode-se citar: injeção de ar na massa, aquecimento artificial, padronização do diâmetro das partículas do material a ser compostado, entre outros.

QUADRO 5 – CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE COMPOSTAGEM SEGUNDO OS FATORES PREDOMINANTES NO PROCESSO DE FERMENTAÇÃO

FONTE: Adaptado de Kiehl (1985); CAMPOS (1998)

Os processos de compostagem ainda podem ser classificados de acordo com seu grau de complexidade, o que influencia em seu custo e na necessidade de mão-de-obra especializada (HAUG, 1993). Os principais métodos de compostagem segundo seu grau de complexidade são:

- Pilhas estáticas: o material é colocado em pilhas estáticas onde a aeração ocorre apenas devido ao fluxo convectivo do ar. É um processo de baixíssimo custo, muito lento e que resulta em um composto de baixa qualidade devido à desuniformidade da decomposição.
- Pilhas aeradas: o material é colocado em pilhas onde a aeração poderá ocorrer ou por revolvimento periódico das pilhas ou por aeração forçada através do bombeamento de ar para o interior das pilhas. Esse método permite controlar a umidade e temperatura das pilhas e evitar a decomposição anaeróbica. Na realização do revolvimento periódico também se promove uma melhor uniformização do material.
- Reatores: a compostagem é realizada em ambientes que promovem condições ótimas para acelerar a decomposição do material. Os reatores possuem meios para revolver, irrigar e aerar o material, possibilitando um maior controle da aeração, temperatura e umidade, sem a geração de odores desagradáveis. Apresenta a desvantagem de ser um método de elevado custo de implantação e manutenção, além da necessidade de mão-de-obra especializada.

Atualmente, outra classificação vem sendo utilizada para os processos de compostagem de acordo com a escala em que a produção do composto é realizada. Os processos podem ser classificados de grande (usinas de compostagem), média (leiras com volumes superiores a  $3\text{m}^3$ ) e pequena escala (realizadas em composteiras ou leiras com volume inferior a  $3\text{m}^3$ ), que é o objeto de estudo do presente trabalho (MARQUES; HOGGLAND, 2002).

### 3.4.3 Processo de Compostagem em Pequena Escala

A realização da compostagem com resíduos sólidos urbanos em grande escala, através de usinas de triagem e compostagem, muitas vezes deixa de ser praticada devido à falta de informação, falta de recursos financeiros para sua implantação e/ou interesse dos governantes. Apesar dos exemplos de sucesso obtido por alguns municípios de pequeno porte (SILVA et al., 2002), esse método não tem sido muito aplicado no Brasil, sendo que menos de 2% de todo resíduo sólido gerado no país é destinado à compostagem (CETESB, 2002).

A compostagem em pequena escala, consegue atuar na própria fonte geradora (domicílios), não havendo necessidade de transporte até uma unidade de compostagem. Também possibilita aos residentes no domicílio o cultivo de alimentos ou plantas medicinais/ornamentais a partir da utilização de seu próprio composto (SALVARO et al., 2007).

A compostagem em pequena escala é ainda uma importante ferramenta de educação ambiental, pois o gerador do resíduo acompanha todas as fases de produção e uso do composto. Sendo assim este processo tem grande potencial de disseminação junto a população, atuando como uma técnica complementar à compostagem em grande escala (MARAGNO; TROMBIN; VIANA, 2007).

Outro ponto que também deve ser abordado é em relação à qualidade do composto gerado em comparação ao método em grande escala. Quando o resíduo é separado na fonte geradora, através da coleta seletiva, existe uma tendência desse composto ter uma melhor qualidade, uma vez que o mesmo não foi misturado a outros resíduos que possam contaminar os mesmos. Vários produtos que fazem parte da composição do lixo urbano, como produtos de limpeza, papel, cosméticos, pilhas, baterias, óleos e restos de alimentos contêm compostos de difícil degradação, que podem provocar desde problemas dermatológicos até o câncer em seres humanos (SILVA et al., 2002).

A compostagem em pequena escala, realizada de forma descentralizada, ainda proporciona uma economia significativa de energia e custos de transporte de resíduos sólidos municipais, assim como uma redução substancial da emissão de poluentes, uma vez que o resíduo recebe uma destinação adequada e no próprio local onde é gerado (MARQUES; HOGGLAND, 2002).

Ainda existe receio da a aplicação desse método em ambientes urbanos. Há uma tendência cultural de querer sempre afastar o lixo das casas e uma idéia que a permanência desses poderia trazer inconvenientes como vetores de doenças e mau cheiro (FUREDY, 2001). Entretanto, quando bem executado, o processo de compostagem não apresenta tais importunos, como será melhor apresentado no decorrer do presente trabalho.

#### 3.4.4 Microbiologia da Compostagem

Diversas comunidades microbianas, incluindo bactérias e fungos, predominam nas fases da compostagem. Segundo SIQUEIRA (2006), as bactérias, actinomicetos e fungos são responsáveis por mais de 95% da atividade microbiana que ocorre no processo de compostagem.

No início predominam as bactérias e fungos mesófilos, em seguida, com o aumento de temperatura, na fase termófila, os microrganismos predominantes passam a ser os actinomicetos, bactérias e fungos termófilos (KIEHL, 1985). Após esta fase, quando a temperatura pode atingir 70 °C, a massa em compostagem retorna à fase mesófila, mais longa do que a primeira, porém, com outra composição química, devido ao consumo de açúcares e amido (BRUNI, 2005). Na fase final, encontram-se protozoários, nematóides, formigas, vermes e o mais variado número de insetos (KIEHL, 1985). Os actinomicetos, que estarão presentes na fase final do processo, são visíveis a olho nu, graças aos micélios esbranquiçados em forma de finos fios como teia de aranha ou parecendo pó de giz (KIEHL, 1985). O Quadro 6 apresenta as características dos principais grupos de microrganismos envolvidos no processo de compostagem.

Discriminação	Bactérias	Actinomicetos	Fungos
Substrato	Carboidratos, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil decomposição	Substratos de difícil decomposição	Substratos de difícil decomposição
Umidade			Regiões secas
Oxigênio	Menos necessidade	Regiões bem aeradas	Regiões bem aeradas
Condições do meio	Neutro até levemente ácido	Neutro até levemente alcalino	Ácido à alcalino
Faixa de valores de pH	6,0 a 7,7	6,5 a 8,0	2,0 a 9,0
Revolvimento	Não interfere	Desfavorável	Desfavorável
Significado durante a decomposição	80 a 90% da capacidade de degradação	-	-
Temperatura	Até 75°C; redução da capacidade de degradação quando essa temperatura for ultrapassada.	Supõe que o limite de temperatura seja de 65°C	Limite de temperatura de 60°C
Função	Decompor a matéria orgânica, animal ou vegetal, aumentar a disponibilidade de nutrientes, agregar partículas no solo e fixar o nitrogênio	Decomposição dos resíduos resistentes de animais e vegetais, formação de húmus, decomposição em alta temperatura de adubação verde, feno, composto, etc. e fixação do nitrogênio	Decomposição dos resíduos resistentes de animais e vegetais, formação de húmus, decomposição em alta temperatura de adubação verde, feno, composto, etc. e fixação do nitrogênio

QUADRO 6 - CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS GRUPOS DE MICRORGANISMOS ENVOLVIDOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

FONTE: Adaptado de Heidemann (2005)

Durante a compostagem há uma sucessão de microrganismos de acordo com a influência de determinados fatores, como por exemplo a presença de substâncias químicas, matéria prima que está sendo digerida, teor de umidade, disponibilidade de oxigênio, temperatura, relação carbono/nitrogênio e o potencial hidrogeniônico. As combinações desses fatores proporcionam o crescimento mais rápido de determinados microrganismos, fazendo com que esses predominem no meio durante determinada fase do processo. Entretanto, segundo Mckinley e Vestal (1984), a temperatura é o fator físico-químico que tem maior influência em relação à sucessão e atividade microbiana no processo de compostagem. O Quadro 7 apresenta a temperatura e o tempo necessários para destruir os tipos mais comuns de microrganismos e parasitas presentes em resíduos orgânicos.

Microrganismo	Tempo (minutos)
<i>Necator americanus</i>	Morte em 50 minutos à 45 °C
<i>Entamoeba histolitica</i> (cistos)	Morte em 2 minutos à 45 °C e 1 minuto à 55°C
<i>Micrococcus pyogenes</i> Var. <i>aureus</i>	Morte em 10 minutos à 50 °C
<i>Ascaris lumbricóides</i> (ovos)	Morte em 60 minutos à 50 °C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Morte em 10 minutos à 54 °C
<i>Taenia saginata</i>	Morte em 2 minutos à 55 °C
<i>Coryne bacterium diphtheriae</i>	Morte em 45 minutos à 55 °C
<i>Salmonella</i> sp.	Morte em 60 minutos à 55°C ou 15 minutos à 60 °C
<i>Shigella</i> sp.	Morte com 60 minutos a 65°C
<i>Escherichia coli</i>	Morte em 60 minutos à 55°C ou 15 minutos à 60 °C
<i>Trichinella spiralis</i> (larvas)	Morte em 2 minutos à 55°C ou 1 minuto à 60°C
<i>Salmonella typhosa</i>	Morte em 30 minutos à 55°C ou 20 minuto à 60°C
<i>Brucella abortus</i>	Morte em 3 minutos à 63 °C ou 60 minutos à 55°C
<i>Micobacterium tuberculosis</i> Var. <i>hominus</i>	Morte em 10 minutos à 66 °C ou 1 minuto à 67°C

QUADRO 7 - TEMPERATURAS LETAIS E OS TEMPOS DE EXPOSIÇÃO NECESSÁRIOS PARA ELIMINAÇÃO DE ALGUNS MICRORGANISMOS PATOGENICOS ENCONTRADOS NO LIXO DOMICILIAR E NO LODO DE ESGOTO

FONTE: Adaptado de Kiehl (1998)

Digerida a substância química responsável pelo aumento de determinada população de microrganismos, altera-se alguns dos fatores citados anteriormente. Essas mudanças fazem com que os organismos presentes morram e cedam lugar a uma nova e diferente população, a qual passará a predominar na massa (CAMPOS, 1998).

### 3.4.5 Cuidados na Produção de Composto Orgânico

Quando não operado corretamente, podem ocorrer diversos problemas durante o processo de compostagem apresentados no Quadro 8.

PROBLEMAS	CAUSA	SOLUÇÃO
1 – Massa de compostagem demora mais que cinco dias para esquentar	a) material muito seco; b) material muito compactado; c) falta de oxigênio (encharcamento); d) falta de nitrogênio.	a) adicionar água à massa de compostagem e manter a umidade a 55%; b) adicionar material que promova a porosidade da massa: cavaco de madeira, palhas de vegetais; c) revirar a leira; d) adicionar material rico em nitrogênio (grama).
2 - Odor desagradável	a) umidade em excesso; b) tamanho da partícula muito grande; c) anaerobiose devido ao longo ciclo de reviramento.	a) revirar a massa; b) promover a quebra do material durante o reviramento com o auxílio de um enxadão; c) seguir o ciclo correto de reviramento.
3-Geração espontânea de vegetação na massa de compostagem	a) colonização de sementes por pássaros, ventos, etc.	a) retirar toda e qualquer vegetação presente.
4 - Cheiro de Amônia	a) relação C/N imprópria e muito baixa.	a) adicionar material rico em Nitrogênio.
5 - Queda gradual de temperatura na fase ativa após 30-60 dias	a) exaustão de Carbono disponível, fim do substrato.	a) verificar se a umidade, a oxigenação e a porosidade são satisfatórias, em caso afirmativo levar para o pátio de maturação.
6 - Surto e moscas	a) baixa condição de higiene no local.	a) manter a área limpa.

QUADRO 8 - PROBLEMAS, POSSÍVEIS CAUSAS E SOLUÇÕES DURANTE A COMPOSTAGEM

FONTE: Adaptado de Pereira Neto (1996)

### 3.4.6 Utilização de Fezes de Animais em Processos de Compostagem

O gerenciamento dos resíduos de origem animal tem merecido atenção crescente pelos seus impactos ambientais. Cronck (1996), abordando os impactos sobre os recursos hídricos, afirma que verifica-se atualmente uma expansão das áreas urbanas sobre as rurais, gerando uma competição pelo uso da água e solo, conseqüentemente, uma maior pressão sobre as práticas de gerenciamento desses resíduos. Segundo Malavolta (1991) os resíduos de animais quando em área de

pastagem resulta ainda em rejeição de 10 a 30 % da área total devido à presença de fezes.

O Quadro 9 apresenta as quantidades médias de excremento produzidas por diversas espécies de animais.

Espécie	Equinos	Bovinos	Suínos	Ovinos	Aves
Excremento (ton/ano)/ton peso vivo	9,1	12,7	15,0	6,0	4,3

QUADRO 9 - QUANTIDADE MÉDIA DE EXCREMENTO PRODUZIDA POR DIVERSAS ESPÉCIES DE ANIMAIS

FONTE: Adaptado de Malavolta (1991)

As fezes de animais, quando deixadas no local onde são produzidas permitem a proliferação de moscas e aumento na multiplicação de parasitas, além de trazerem prejuízos ao crescimento da forragem e bloqueio de nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas (NOVAES, 1985).

Existem diversos problemas ambientais relacionados ao modelo agrícola atualmente adotado, motivo pelo qual se busca alternativas para o desenvolvimento de uma agricultura com enfoque ambiental (EMBRAPA, 2004). Logo, são desenvolvidos sistemas diversificados de produção que se baseiam na reciclagem de matéria orgânica, pelo uso de compostagem orgânica e adubação verde (SOUZA, 1998).

Resíduos de agroindústrias são recursos orgânicos com potencial para realização de compostagem e conseqüentemente adubação devido a sua riqueza em nutrientes, melhorando as propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo, refletindo em aumento da produtividade das culturas (SHARMA, 1997).

Os resíduos gerados nas atividades agroindustriais sejam eles sólidos ou líquidos possuem, em geral, grande potencial agrícola em virtude de serem ricos em matéria orgânica e nutrientes utilizados pelas plantas e micro-organismos do solo. A utilização de composto na atividade agrônômica depende sobretudo da sua qualidade, especialmente do conteúdo em matéria orgânica da sua maturidade, da concentração em nutrientes e da presença ou ausência de substâncias potencialmente perigosas e indesejáveis ao ambiente agrário (Zucconi & Bertoldi 1981, Bertoldi & Griselli 1992).

O Quadro 10 apresenta a composição média dos dejetos de diversas espécies.

Fezes frescas de	Água (%)	Matéria Orgânica (%)	Nitrogênio Total (%)
Bovino	80	18	0,3
Cavalo	75	23	0,55
Ovelha	68	29	0,6
Porco	82	16	0,6

QUADRO 10 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS DEJETOS DE DIVERSAS ESPÉCIES

FONTE: Adaptado de Vaquero (1981)

### 3.4.7 Utilização de Fezes Caninas em Processos de Compostagem

Os cães domésticos representam os animais de estimação que mais convivem com o homem, e sua companhia traz benefícios à saúde cientificamente comprovados. Todavia, quando portadores de parasitos, esses animais podem representar risco de transmissão doenças, principalmente para crianças (XAVIER, 2006). Embora a Organização Mundial de Saúde informe que o parâmetro para a relação cão : habitante para países em desenvolvimento seja 1:7, não é o que os censos realizados no Brasil demonstram. Um censo realizado no Estado de São Paulo, no ano de 2002, verificou que tal relação foi 1:4, muito maior do que o esperado e recomendado (ALVES, 2005).

Na região metropolitana da cidade de Curitiba a relação cão : habitante, varia entre 1:2,26 e 1:4,02; já a de cão : residência variou entre 1:0,4 e 1:1,03 (MARTINS et al., 2008). Um estudo das características das fezes de cães alimentados com três dietas: controle, com suplementação de 0,10% de MOS (mananoligossacarídeos) e com 0,25% de uma mistura de aluminossilicatos demonstraram que o pH e a quantidade de fezes excretadas não diferiram em

função da dieta. Sendo que a quantidade de fezes excretadas foi 6,92 gramas de matéria seca em um dia / kg de peso corporal do cão, a média de valores de matéria seca foi de 35,72% (FELIX et al., 2009).

A presença de fezes de animais tanto no ambiente como destinadas a aterros ou lixões significa entre outros a proliferação de vetores e as chamadas doenças zoonóticas ou zoonoses. As zoonoses são definidas como aquelas infecções ou infestações disseminadas naturalmente por humanos ou outros animais vertebrados, incluindo as viroses, bacterioses, protozooses e outras infecções parasitárias, em que os animais apresentam importante papel na manutenção da infecção, e os humanos são considerados hospedeiros acidentais (SHELLABARGER, 1994). Existem mais de 200 diferentes zoonoses conhecidas e que são transmitidas sob condições variadas.

Estudos realizados na cidade de Curitiba (LEITE, 2004) analisaram as infecções múltiplas e isoladas em cães de estudantes de quatro instituições de ensino, através de exames de 264 amostras de fezes. Das 264 amostras de fezes pesquisadas, 119 (45,08%) apresentaram resultados positivos para endoparasitas dos gêneros *Ancylostoma* spp., *Toxocara* spp., *Trichuris vulpis*, *Cystoisospora* spp., *Candida* sp., e *Dipylidium caninum*. A maior porcentagem foi observada no parasitismo por *Ancylostoma* spp. (29,17%) como única parasitose.

A utilização de fezes caninas em processos de compostagem não é comum, uma vez que a contaminação pelas fezes pode ser um risco ao uso do composto. No entanto em função da problemática da quantidade gerada e do risco inerente ao resíduo, é importante que se criem alternativas para sua destinação, sendo que uma das alternativas mais simples é a compostagem doméstica em pequena escala, objetivo deste estudo.

O presente trabalho se propôs a realizar uma avaliação analítica dos compostos gerados em sistemas de compostagem de pequena escala utilizando fezes caninas, buscando uma alternativa de aproveitamento para este resíduo.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados no preparo e monitoramento do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos em pequena escala, bem como os métodos físicos e químicos empregados na caracterização do composto.

### 4.1 LOCAL E PERÍODO DA REALIZAÇÃO DO ESTUDO

A compostagem foi realizada em uma área gramada de aproximadamente 2m<sup>2</sup> recoberta com telhas de fibrocimento, sobre as quais foram colocados dois diferentes métodos de compostagem em pequena escala (Figura 7).



FIGURA 8 - COMPOSTEIRAS DE PEQUENA ESCALA UTILIZADAS NO EXPERIMENTO

O processo de compostagem ocorreu no período de 18 de maio a 25 de agosto de 2011.

#### 4.2 MONTAGEM E CARACTERÍSTICAS DAS COMPOSTEIRAS

Inicialmente foram preparados dois diferentes sistemas de compostagem:

- Em uma borracharia foram obtidos seis pneus usados e de sobras de construção civil, recolhidos tijolos de seis furos (Figura 8 A).
- Os três baldes de 60 Litros com tampa foram comprados e perfurados nas laterais e no fundo com broca 8 mm (Figura 8 B).



(A)



(B)

FIGURA 9 - SISTEMAS DE COMPOSTAGEM (A) PNEUS SOBREPOSTOS, (B) BALDE 60 LITROS.

#### 4.3 MISTURA DAS MATÉRIAS PRIMAS

Foram coletados resíduos domésticos, como restos de frutas, legumes, verduras e resíduos de podas e cortes de grama realizadas na vizinhança.

As fezes de gado utilizadas neste estudo foram coletadas no dia 17 de maio de 2011, no pasto de um sítio, no município de Colombo. No local, existe um pequeno rebanho de bovinos, num total de cinco, que são desverminados três vezes ao ano. A alimentação destes animais é composta por pastagem, silagem de capim e aveia, milho e farelo de soja.

As fezes caninas são provenientes dos cães pertencentes à própria aluna. Foram coletadas fezes de cinco cães sendo, dois da raça labrador, um da raça

basset round, um poodle e um de raça não definida. Estes cães são desverminados trimestralmente. Os cães são alimentados com ração contendo 21% de proteína bruta (SPECIAL DOG, 2012). As fezes foram coletadas com auxílio de pá, entre os dias 15 e 17 de maio de 2011, e devidamente guardadas em sacos plásticos.

#### 4.4 MONTAGEM E CARACTERÍSTICAS DAS COMPOSTEIRAS

A montagem dos sistemas caseiros de compostagem teve início com a homogeneização dos resíduos de poda e domésticos. Os resíduos foram colocados em um carrinho de mão e misturados com o auxílio de uma enxada.

Uma vez homogeneizados os resíduos foram pesados em balança digital (Tech Line, modelo: Bal - 150PA, precisão 0,1 Kg) e então distribuídos nas composteiras. As fezes de gado e de cães foram colocadas em seguida, nas devidas composteiras, novamente foi realizada a realizada a homogeneização dos resíduos.

Os sistemas foram montados de acordo com o Quadro 9.

Par	Composteira	Método	Composição inicial
1º	Composteira 1	Balde 60L	8 kg de poda e resíduos frutas e verduras
	Composteira 2	Pneus sobrepostos	8 kg de poda e resíduos frutas e verduras
2º	Composteira 3	Balde 60L	1 kg de fezes gado + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras
	Composteira 4	Pneus sobrepostos	1 kg fezes gado + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras
3º	Composteira 5	Balde 60L	1 kg fezes caninas + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras
	Composteira 6	Pneus sobrepostos	1 kg fezes caninas + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras

QUADRO 11 - CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE COMPOSTAGEM

Em função da similaridade dos resíduos compostados, os sistemas de compostagem foram divididos em pares para a discussão dos resultados, o Quadro 9 apresenta os componentes de cada par, o 1º par contém apenas resíduos de poda e cascas de frutas e verduras, o 2º par contém resíduos de poda, de cascas de frutas e verduras e de fezes bovinas, já o 3º par contém resíduos de poda, de cascas de frutas e verduras e fezes caninas.

As composteiras foram montadas sobre telhas de fibrocimento, para evitar o contato direto com o solo, sem qualquer proteção ou cobertura.

No início da quinta semana as composteiras foram cobertas com telhas de plástico transparente e na sétima semana os compostos foram envolvidos em lona de PVC.

Na quinta semana foram adicionados a todos os sistemas de compostagem 2,5 Kg de podas de grama.

#### 4.3 AMOSTRAGEM E PREPARO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE

A amostragem foi realizada de acordo com a Portaria N<sup>o</sup>1 de 04/03/83 do Ministério da Agricultura que recomenda que a coleta seja feita da seguinte forma:

“...Produtos sólidos devem ser coletados tomando-se as frações retiradas do mesmo, que reunidas, homogeneizadas e quarteadas, formarão a amostra representativa, a qual será dividida em quatro partes de 250g.”

As amostras foram coletadas após homogeneização manual do composto. Com auxílio de mini-pá de jardim, eram retirados do composto quatro frações de amostras sendo uma da camada superficial, duas medianas e uma profunda. Essas frações eram homogeneizadas e fracionadas de acordo com o seu uso: 200 gramas para análise de pH, umidade, carbono orgânico total e nitrogênio total; 1000 gramas para análises de Coliformes termotolerantes, ovos de helmintos e *Salmonella*.

As análises realizadas e sua frequência estão descritas no Quadro 10.

Data da coleta	maio		junho					julho				agosto				
	18	25	01	08	15	22	27	05	12	19	26	02	09	17	18	25
Potencial Hidrogeniônico	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Temperatura	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Umidade	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Carbono Orgânico Total	x							x	x	x	x	x	x	x		
Nitrogênio Total	x							x	x	x	x	x	x	x		
Coliformes Termotolerantes															x	x
Ovos de Helmintos															x	x
Salmonella presença/ausência															x	x

QUADRO 12 - DATAS DAS COLETAS E ANÁLISES REALIZADAS NO ESTUDO DA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DOMÉSTICOS, PODAS DE JARDIM E FEZES DE ANIMAIS

As análises de Coliformes termotolerantes, *Salmonella* e ovos de helmintos foram realizadas no Laboratório de Meio Ambiente do SENAI.

Os parâmetros físicos-químicos: pH, umidade, carbono orgânico total e nitrogênio total foram realizados no laboratório de ensino do SENAI/CIC, pela própria aluna. Os métodos de análise estão descritos no Quadro 11.

Parâmetro analisado	Metodologia adotada	Referências
Temperatura	Termômetro	EMBRAPA <sup>(1)</sup> , 1999
Potencial hidrogeniônico	pH em água	EMBRAPA <sup>(1)</sup> , 1999
Umidade	Sólidos Totais, Totais Fixos e Voláteis em águas, sólidos e biossólidos.	EPA <sup>(2)</sup> 1684, 2001
Carbono Orgânico	Sólidos Totais, Totais Fixos e Voláteis em águas, sólidos e biossólidos.	EPA <sup>(2)</sup> 1684, 2001
Nitrogênio Total	Ácido salicílico	MAPA <sup>(3)</sup> , 2007
Coliformes termotolerantes	Tubos múltiplos	SM <sup>(4)</sup> 9221 E, 1992
Ovos de Helmintos	Detecção, enumeração e determinação de ovos viáveis de helmintos.	EPA <sup>(2)</sup> /625/R-92/013, 2004
<i>Salmonella</i> presença/ausência	Isolamento e identificação	CETESB <sup>(5)</sup> L 5.218/SM 9260B

<sup>(1)</sup>EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; <sup>(2)</sup>EPA: United States Environmental Protection Agency; <sup>(3)</sup>MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; <sup>(4)</sup>SM: Methods for the Examination of Water and Wastewater; <sup>(5)</sup>CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

QUADRO 13 - MÉTODOS DE ANÁLISE ADOTADOS NO ESTUDO.

#### 4.4 ANÁLISES DOS SISTEMAS DE COMPOSTAGEM

Após a montagem dos sistemas de compostagem estabeleceu-se um esquema de monitoramento, descrito a seguir.

##### 4.4.1 Monitoramento da Temperatura dos Compostos

A medição da temperatura foi realizada utilizando-se o sensor de temperatura do peagâmetro (Thermo, modelo Russel RL060P).

Com o auxílio de uma régua foram medidos aproximadamente 15 cm de profundidade, sendo alcançado o centro do composto. A medição da temperatura foi realizada pela introdução do sensor de temperatura do peagâmetro no centro do composto, sendo realizada semanalmente no local da compostagem (KIEHL, 1998).

##### 4.4.2 Monitoramento do Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH foi monitorado semanalmente pela pesagem de 20 gramas do composto, onde foram adicionadas 100 mL de água destilada, segundo metodologia da EMBRAPA (1999). O pH foi estabelecido no líquido extraído neste processo, utilizando-se um peagâmetro (marca Logen, modelo LSpH IIIT), calibrado antes de cada uso com padrão 4,00 (Quemis) e 7,00 (Merck).

#### 4.4.3 Monitoramento da Umidade

A umidade inicialmente foi verificada visualmente, se a massa tinha um aspecto úmido ou seco, ou ainda, se estava com mau cheiro. Depois, era retirada, do centro do composto uma quantidade suficiente para amassar com a mão e avaliada a presença de grumos. Também era observada se a amostra amassada soltava água, indicando excesso de água na amostra (KIEHL, 2004).

Após seis semanas de compostagem foram alteradas as frequências das análises e este parâmetro começou a ser monitorado semanalmente por método gravimétrico de Sólidos Totais (EPA 1684, 2001) que constitui de secagem em estufa na temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até peso constante.

Para a manutenção dos teores de umidade os compostos foram regados com 2 litros de água, após a realização de cada coleta.

#### 4.4.4 Nitrogênio Total

Os teores de nitrogênio total das amostras foram analisados de acordo com a metodologia indicada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), na Instrução Normativa 028/2007 - Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos.

A metodologia utilizada é denominada Método do Ácido Salicílico, aplicável aos fertilizantes, inclusive com conteúdo de matéria orgânica.

Este método fundamenta-se na amonificação do nitrogênio orgânico presente na amostra, através da pré-digestão (Figura 9A), que ocorre pela adição de ácido sulfúrico à quente e catalisadores. Em seguida é realizada a destilação alcalina da amônia (Figura 9B), que é recebida em uma mistura de ácido bórico e indicador misto.

A quantidade de borato de amônio formado é equivalente à quantidade de nitrogênio total (nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal) inicialmente presente na

amostra. O borato de amônio é então quantificado pela titulação com com ácido sulfúrico padronizado.



FIGURA 10 – DIGESTÃO DAS AMOSTRAS (A) E DESTILAÇÃO DAS AMOSTRAS (B) EM BALÃO KJEDAHN, PARA DETERMINAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL.

Inicialmente foi planejado monitorar o parâmetro nitrogênio total mensalmente, no entanto houveram problemas para utilização da metodologia que foram corrigidos somente após a sétima semana, quando este parâmetro passou a ser monitorado semanalmente.

#### 4.4.5 Carbono Orgânico

A determinação de Carbono Orgânico foi realizada pelo Método 1684/EPA (U.S. Environmental Protection Agency) - Sólidos Totais, Totais Fixos e Voláteis em Águas, Sólidos e Biossólidos.

Este método é gravimétrico e consiste em pesar uma amostra entre 25 e 50 gramas e levá-la a secagem em estufa ( $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ) durante 1 hora. Após resfriado em dessecador o resíduo é pesado em balança analítica para obtenção dos sólidos totais. O resíduo é então levado ao aquecimento em mufla para calcinação ( $\pm 550^\circ\text{C}$ ) durante 1 hora, resfriado em dessecador e pesado em balança analítica para obtenção de sólidos voláteis. Segundo KIEHL (1998), dividindo-se a porcentagem de

sólidos voláteis, pelo fator 1,8 obtém-se a porcentagem de carbono orgânico da amostra.

A Figura 10 mostra cápsulas com amostra após calcinação à 550°C.



FIGURA 11 – CÁPSULAS APÓS CALCINAÇÃO (550°C), CONTENDO RESÍDUOS DAS AMOSTRAS.

#### 4.4.6 Determinação de Coliformes Termotolerantes

A determinação do número mais provável de coliformes termotolerantes na amostra foi efetuada a partir de aplicação da técnica de tubos múltiplos, segundo metodologia CETESB L5.406 (2007). Esta técnica é baseada no princípio de que as bactérias presentes em uma amostra podem ser separadas por agitação, resultando em uma suspensão de células bacterianas uniformemente distribuídas na amostra.

Inicialmente foram pesados 200 gramas de amostra que foram colocados em 1800mL de água de diluição ( $10^{-1}$ ) procedendo-se a partir daí como uma amostra líquida. Para o preparo da segunda diluição ( $10^{-2}$ ), foram transferidos 10mL de diluição  $10^{-1}$  para um frasco contendo 90mL de água de diluição. Esse procedimento foi realizado sucessivamente até a sexta diluição.

Partindo do frasco da sexta diluição foi semeado 1mL desta solução em 5 tubos contendo caldo lactosado com púrpura de bromocresol. Este mesmo procedimento foi realizado com as outras diluições até a diluição  $10^{-1}$ . Os tubos foram então incubados em estufa a 35°C por 24 horas. Após o tempo determinado foi

procedida a leitura dos tubos, considerando positivo para coliformes aqueles que apresentaram mudança de coloração para amarelo e/ou gás nos tubos de Durham.

Para o teste confirmativo foram transferidos uma alçada dos tubos positivos para Caldo EC Medium e incubados por 24 horas a 44,5°C. Após o tempo de incubação foi examinada a presença/ausência de gás. Os resultados foram expressos utilizando-se tabelas de número mais provável.

#### 4.4.7 Teste Presença/Ausência para *Salmonella*

As determinações de *Salmonella* foram qualitativas e o método de pesquisa aplicado baseou-se no EPA 1682 (*Salmonella* spp. em Biossólidos. Enriquecimento, Seleção e Caracterização Bioquímica).

Foram transferidos 25g de amostra para um erlenmeyer contendo 225mL do meio de pré-enriquecimento de água peptonada tamponada, este erlenmeyer foi incubado a 35°C por 18 horas. Após o tempo de incubação foram transferidos 10mL da amostra para um erlenmeyer contendo 100mL do meio de enriquecimento caldo Selenito Novobiocina e 100 mL para um erlenmeyer contendo caldo Rappaport.

O meio Rappaport foi incubado a 35°C por 24 e 48 horas. O meio Selenito Novobiocina foi incubado a 42,5°C por 24, 48 horas e 5 dias.

Após o tempo de incubação os meios foram transferidos para placas de Petri contendo os meios seletivos e diferenciais de Ágar XLD e Ágar Rambach e/ou Ágar BG. As placas de Petri foram incubadas com os meios de cultura a 35°C por 18 a 24 horas. As colônias típicas de cada placa foram transferidas para o Sistema RB (reações bioquímicas) ou IAL (Instituto Adolfo Luz) e incubadas por 24 horas a 35°C.

A técnica de determinação da presença ou ausência de *Salmonella* utiliza-se de meios seletivos e diferenciais para seu isolamento. Finalmente foi realizado teste sorológico para confirmação utilizando-se Soro anti-*Salmonella* polivalente somático, anti-*Salmonella* polivalente flagelar.

#### 4.4.8 Determinação de Ovos de Helmintos

O método utilizado na verificação da presença de ovos de helmintos foi o Método EPA/625/R-92/013 (Método para Detecção, Enumeração e Determinação de ovos viáveis de helmintos em biossólidos) que baseia-se na concentração dos ovos de *Ascaris* na amostra. Inicialmente as amostras foram processadas através de mistura com água tamponada contendo surfactante. É então selecionada uma parte da mistura contendo partículas grandes (20 – 50 mesh aproximadamente 0,8 – 0,3 mm). Os sólidos na porção selecionada são decantados, durante 2 horas, em temperatura de 4 a 10°C. O sedimento é então submetido a centrifugação durante 10 minutos à 1000 x G. Este processo rende uma camada provável de conter ovos de *Ascaris* e outros parasitas, se presentes, na amostra. Pequenas partículas (400 mesh  $\equiv$  0,037mm) são removidas por uma segunda seleção em uma malha fina. O concentrado resultante é incubado, durante três ou quatro semanas a 26°C, até que os ovos de *Ascaris* sejam totalmente embrionados. O concentrado é então examinado ao microscópio para as categorias de ovos de *Ascaris* para avaliação de presença/ausência.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos neste trabalho. Os resultados são apresentados sempre em pares: 1 e 2; 3 e 4; 5 e 6; pela similaridade dos resíduos compostados (Quadro 10).

### 5.1 MONITORAMENTO DA TEMPERATURA

Inicialmente as composteiras foram colocadas em ambiente aberto. Em função das baixas temperaturas registradas na cidade de Curitiba no período de experimento, no início da quinta semana de estudo foi necessário cobrir as composteiras com telhas de plástico transparente, para redução de perda de calor e proteção contra possíveis intempéries. A Figura 11 apresenta os registros de temperatura ambiente no período do experimento.

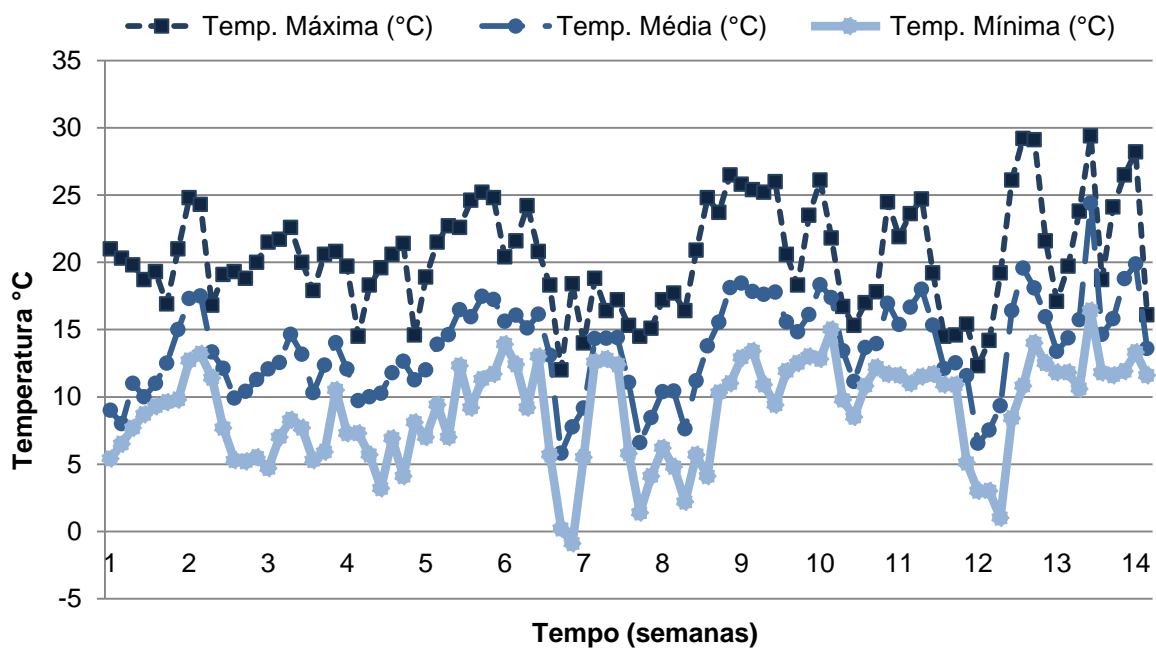


FIGURA 12 – REGISTRO DE TEMPERATURA AMBIENTE NA CIDADE DE CURITIBA, DURANTE O PERÍODO DO EXPERIMENTO

FONTE: Adaptado de dados cedidos pelo SIMEPAR (2011)

Observa-se que durante o período de estudo as temperaturas médias registradas na cidade de Curitiba permaneceram entre 10 e 17°C. No entanto, durante as semanas 4, 7, 8 e 12, foram registradas temperaturas mínimas inferiores à 5°C.

No início da sétima semana houve queda acentuada da temperatura, quando foi registrado -0,9°C. Nesta semana todas as composteiras foram envolvidas em lona de PVC.

Estas alterações foram necessárias por se tratarem de sistemas de compostagem em pequena escala que são suscetíveis à alterações da temperatura ambiente. Pereira Neto (1989) ressalta que em sistemas pequenos de compostagem o calor criado pelo metabolismo dos microrganismos tende a se dissipar e o material não se aquece. Nos sistemas estudados a massa compostada, de oito quilogramas, foi pequena para que fosse possível, somente pela atividade microbiana, manter temperaturas internas próximas a 60°C.

Estudo realizado por Reis, Bidone e Gehling (2000) sobre os efeitos do clima no processo de compostagem em região subtropical apresentou resultados similares aos encontrados neste trabalho. Durante o período de inverno o perfil das temperaturas das leiras foi menos satisfatório, não atingindo em nenhum momento a fase termofílica.

A Figura 12, apresenta os resultados do monitoramento da temperatura dos compostos 1 (balde contendo 8 kg de poda e resíduos frutas e verduras) e 2 (pneus sobrepostos contendo 8 kg de poda e resíduos frutas e verduras). Estes compostos, que continham resíduos de cozinha e podas de grama, apresentaram temperaturas médias de 13°C nas primeiras quatro semanas.

Na quinta e na sexta semana, depois que foram colocadas telhas de plástico sobre os compostos, houve uma tendência de aumento na temperatura dos compostos 1 e 2. No entanto, com a queda brusca da temperatura ambiente na sétima semana (apresentando mínima de -0,9°C), os compostos apresentaram temperaturas inferiores à 5°C.

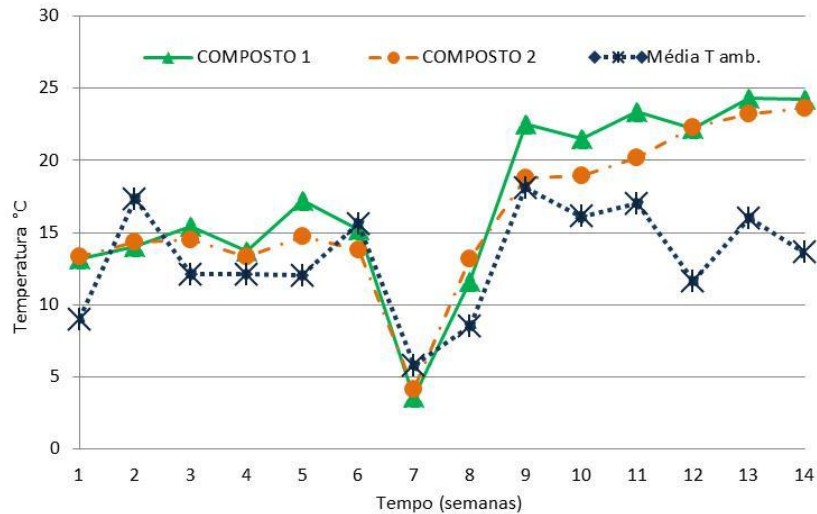


FIGURA 13– RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE TEMPERATURA PARA OS COMPOSTOS 1 (BALDE CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 2 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

A partir da oitava semana, depois que as composteiras foram envolvidas em lona de PVC, foi possível notar um aumento considerável nas temperaturas registradas para os compostos 1 e 2.

Na nona semana, mesmo sendo registradas temperaturas externas mínimas inferiores à 15°C, os compostos 1 e 2 permaneceram com temperaturas de 18,8 e 22,5°C, respectivamente.

A partir da décima semana a temperatura tende a estabilizar acima de 20°C sendo que na décima quarta semana foram registrados valores de 24,2°C para o composto 1 e 23,6°C para o composto 2.

A Figura 13 apresenta os resultados obtidos no monitoramento da temperatura para os compostos 3 (balde contendo 1 kg de fezes gado + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras) e 4 (pneus sobrepostos contendo 1 kg de fezes gado + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras).

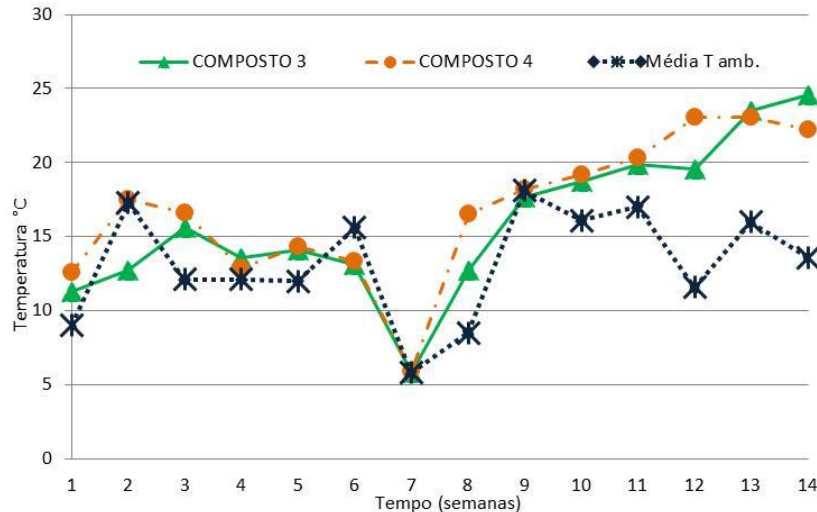


FIGURA 14 – RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE TEMPERATURA PARA OS COMPOSTOS 3 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 4 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

Nas primeiras três semanas de compostagem, os compostos 3 e 4 apresentaram uma tendência de aumento de temperatura, sendo que o composto 3 apresentava inicialmente 11,3°C e na terceira semana a temperatura medida foi de 15,6°C e o composto 4 passou de 12,6 para 16,6°C.

No entanto, a partir da quinta semana, mesmo após a cobertura dos sistemas de compostagem com telhas plásticas, foi iniciado um processo de queda na temperatura interna dos compostos 3 e 4, sendo que na sétima semana, as temperaturas se aproximaram dos 5 °C.

Mesmo com essa queda brusca na temperatura interna, os compostos 3 e 4, não apresentaram valores de temperatura inferiores à 5°C, como os registrados para os compostos 1 e 2 na sétima semana.

Na oitava semana, após os compostos serem envolvidos em lona de PVC, observou-se um acréscimo da temperatura interna dos sistemas, que entre a nona e a décima primeira semana se aproximam dos 20°C. Após a décima semana os compostos 3 e 4 apresentaram uma tendência de equilíbrio da temperatura e ao final deste estudo apresentavam valores de 24,6°C para o composto 3 e 22,2°C para o composto 4.

Ainda é importante observar que entre a décima primeira e a décima segunda semana foi registrada temperatura ambiente de 1°C (SIMEPAR, 2011).

É possível supor que após a oitava semana os microrganismos presentes nos compostos 3 e 4, atingiram um equilíbrio de temperatura necessário para a realização da decomposição da matéria orgânica.

De acordo com Monteiro (2003) todos os microrganismos têm uma temperatura ótima de crescimento, o que significa que a uma determinada temperatura a velocidade de duplicação dos microrganismos é maior. Nem todos os microrganismos crescem na mesma faixa de temperatura.

No caso deste estudo, as temperaturas registradas nos compostos privilegiam o crescimento de microrganismos mesófilos, que tem temperatura ótima de crescimento entre 20 e 40 °C, e psicrófilos que tem temperatura ótima de crescimento entre 10 e 20 °C (TORTORA; FUNKE; CASE; 2000).

A Figura 14 apresenta os resultados obtidos para o monitoramento da temperatura dos compostos 5 (balde contendo 1 kg de fezes de cães + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras) e 6 (pneus sobrepostos contendo 1 kg de fezes de cães + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras).

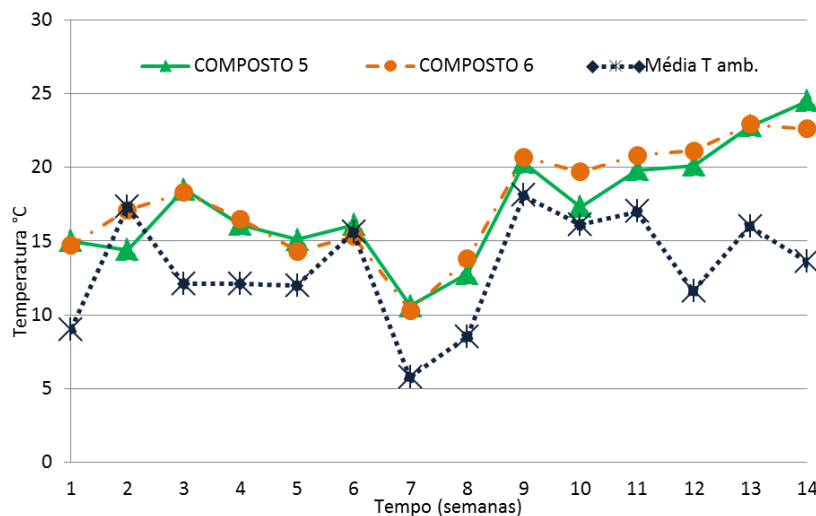


FIGURA 15 – RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE TEMPERATURA PARA OS COMPOSTOS 5 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 6 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

Os compostos 5 e 6, que continham resíduos de cozinha, podas e fezes caninas, logo na primeira semana se diferenciaram dos compostos 1, 2, 3 e 4 por iniciarem o processo de compostagem com temperaturas de 15°C para o composto 5 e 14,7°C para o composto 6.

Apenas na sétima semana, quando houve queda brusca da temperatura ambiente, sendo registrado  $-0,9^{\circ}\text{C}$  (SIMEPAR, 2011), os compostos 5 e 6 apresentaram temperaturas de  $10,6^{\circ}\text{C}$  e  $10,3^{\circ}\text{C}$  respectivamente. Mesmo assim, quando comparados aos outros compostos estudados, nota-se uma menor variação de temperatura interna dos compostos 5 e 6 em relação a temperatura ambiente.

Após serem protegidos com a lona de PVC (na sétima semana), os compostos atingiram uma temperatura mínima para manter o processo de decomposição, independentemente das variações de temperatura externa. Na oitava semana observa-se um acréscimo nas temperaturas dos compostos 5 ( $12,8^{\circ}\text{C}$ ) e 6 ( $13,8^{\circ}\text{C}$ ). No entanto é após a décima primeira semana que ocorre um aumento constante da temperatura, passando de  $18,8^{\circ}\text{C}$  para  $24,5^{\circ}\text{C}$  no composto 5 e de  $20,8^{\circ}\text{C}$  para  $22,6^{\circ}\text{C}$  no composto 6.

Segundo Kiehl (2002), a temperatura do composto em um processo de compostagem deve alcançar os 40 a  $50^{\circ}\text{C}$  em dois ou três dias e quanto mais depressa o material for decomposto mais cedo a temperatura começará a diminuir. No entanto, Pereira Neto (1989) ressalta que em sistemas pequenos de compostagem o calor criado pelo metabolismo dos microrganismos tende a se dissipar e o material apresenta dificuldade para aquecer. A dificuldade de aquecimento foi observada neste estudo, as temperaturas máximas obtidas foram de  $25^{\circ}\text{C}$ .

É importante notar que todos os compostos, após a décima segunda semana ultrapassaram os  $20^{\circ}\text{C}$ . Isso significa que a compostagem, durante as 12 primeiras semanas ocorreu em temperaturas que privilegiam microrganismos psicrófilos (que apresentam temperatura ótima abaixo de  $20^{\circ}\text{C}$ ).

Os compostos 1 e 2, que continham resíduos de poda e cascas de frutas e verduras, foram os mais afetados pelas baixas temperaturas ambiente registradas no período. A temperatura mais baixa registrada para os compostos 1 e 2 foi  $3,6^{\circ}\text{C}$  (Figura 12). Enquanto que para os compostos 3 e 4 contendo esterco bovino (Figura 13) as menores temperaturas registradas foram  $5,9^{\circ}\text{C}$ . No entanto, para os compostos contendo fezes caninas (Figura 14) a menor temperatura registrada foi  $10,3^{\circ}\text{C}$ . Logo, os compostos contendo fezes caninas apresentaram maior resistência as alterações de temperatura ambiente.

## 5.2 MONITORAMENTO DO POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

O potencial hidrogeniônico foi monitorado semanalmente nas seis composteiras estudadas.

A Figura 15 apresenta os resultados do monitoramento de pH para os compostos 1 (balde contendo 8 kg de poda e resíduos frutas e verduras) e 2 (balde contendo 8 kg de poda e resíduos frutas e verduras).

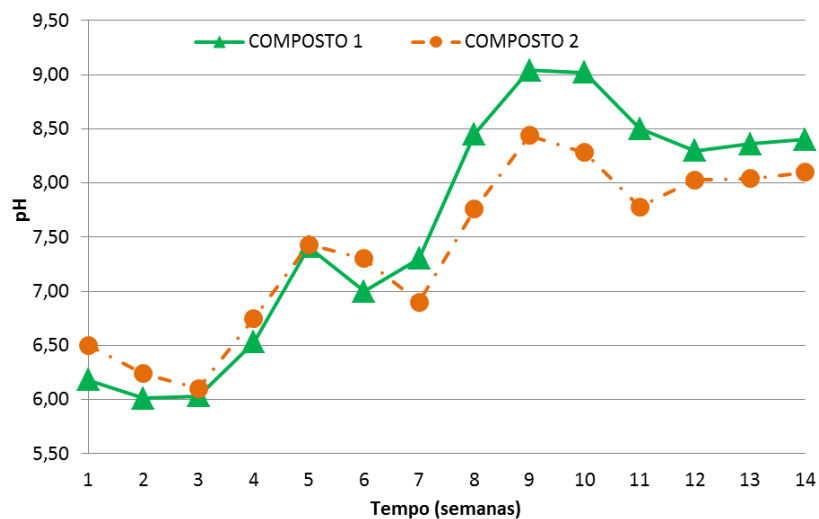


FIGURA 16 – RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE pH PARA OS COMPOSTOS 1 (BALDE CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 2 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

Estes compostos inicialmente apresentaram valores de pH próximos à 6,5 ocorrendo uma leve diminuição nas primeiras três semanas, quando os valores passaram a ser próximos de 6,0.

A diminuição do pH geralmente ocorre pela formação de ácidos orgânicos fracos no processo de decomposição da matéria orgânica, segundo KIEHL (2002) nas primeiras horas de compostagem o pH pode decrescer a valores próximos de 5,0.

Durante a sétima semana, período em que os compostos sofreram queda brusca de temperatura interna, o pH se manteve em torno de 7,0, provavelmente pela diminuição da atividade metabólica em função das baixas temperaturas.

A partir da oitava semana os valores de pH voltaram a subir, alcançando valores próximos a 9,0 entre a décima e a décima primeira semanas. Estes valores indicaram a evolução do processo de compostagem, devido à formação de ácidos húmicos, que reagem com elementos químicos básicos presentes no composto, formando humatos alcalinos, o pH do composto aumenta, atingindo níveis superiores à 8,0 (KIEHL, 2004).

Finalmente, após a décima segunda semana os compostos 1 e 2 entram em um período de equilíbrio de pH, apresentando valores próximos a 8,0. Segundo Kiehl (2002) durante as primeiras horas de compostagem, o pH decresce até valores de aproximadamente 5,0, e posteriormente, aumenta gradualmente com a evolução do processo de compostagem e estabilização do composto, alcançando, finalmente, valores entre 7 e 8.

A Figura 16 apresenta os resultados do monitoramento de pH para os compostos 3 (balde contendo 1 kg de fezes gado + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras) e 4 (pneus sobrepostos contendo 1 kg de fezes gado + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras).

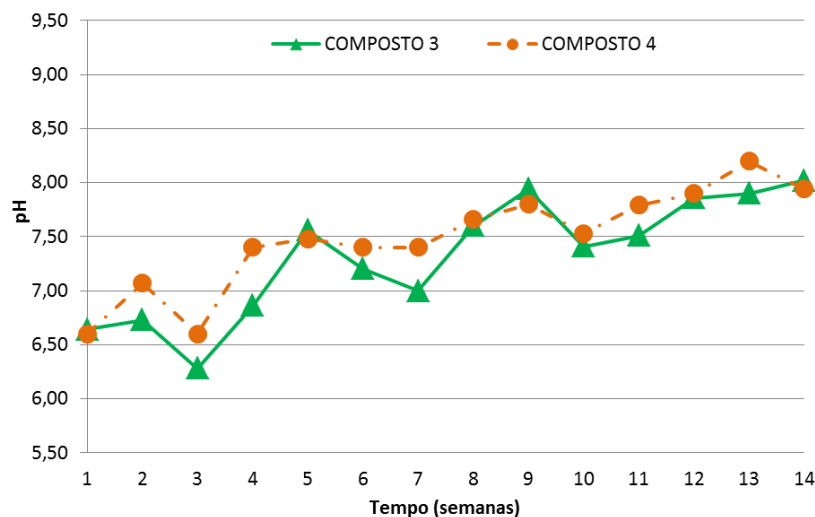


FIGURA 17 – RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE pH PARA OS COMPOSTOS 3 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 4 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

Os compostos 3 e 4 apresentaram inicialmente pH próximo a 6,5, sofrendo um pequeno aumento na segunda semana e decrescendo na terceira semana.

Entre a sexta e a sétima semana, os compostos permaneceram com pH na faixa entre 7,0 e 7,5. Esse período coincidiu com o período de diminuição da temperatura ambiente e consequente baixa da temperatura interna dos compostos, que provavelmente ocasionou queda da atividade microbiana.

A partir da oitava semana houve um aumento nos valores de pH, que na nona semana se aproximaram de 8,0. Contudo a estabilização do pH para os compostos 3 e 4 ocorreu apenas após a décima segunda semana, em valores próximos à 8,0.

A Figura 17 apresenta os resultados do monitoramento de pH para os compostos 5 (balde contendo 1 kg de fezes caninas + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras) e 6 (pneus sobrepostos contendo 1 kg de fezes caninas + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras).

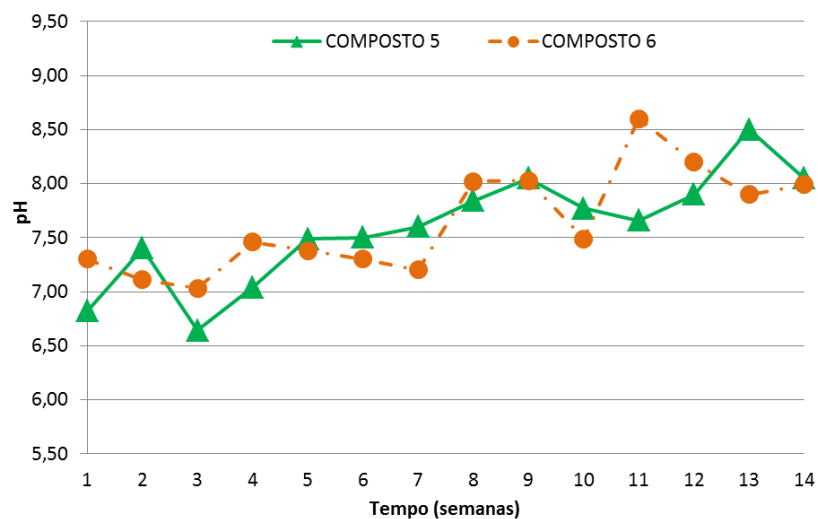


FIGURA 18 – RESULTADOS DO MONITORAMENTO DE pH PARA OS COMPOSTOS 5 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 6 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

Os compostos 5 e 6 inicialmente apresentaram valores de pH próximos à 7,0, no entanto, assim como os outros compostos apresentaram uma diminuição do pH na terceira semana.

Entre a quarta e a sétima semana, os compostos 5 e 6 mantiveram pH em valores próximos a 7,0 ou 7,5.

A partir da oitava semana observa-se um aumento no pH dos compostos, chegando a valores próximos de 8,5.

Observando a Figura 17, nota-se que os compostos 5 e 6 apresentam um pH de equilíbrio somente na décima quarta semana, apresentando valores de pH próximos a 8,0. Segundo Kiehl (2002) a estabilização do composto, ocorre em valores de pH entre 7 e 8.

### 5.3 MONITORAMENTO DA UMIDADE

Nas seis primeiras semanas do estudo a verificação da umidade nas composteiras foi realizada visualmente. De acordo com Lelis e Pereira Neto (1999) visualmente, o teor ótimo de umidade é aquele em que o material parece estar úmido, porém não se apresenta aglutinado, guardando a porosidade necessária à aeração.

No entanto a análise visual não oferece precisão de resultados e optou-se por realizar análises laboratoriais. A Figura 18 mostra os resultados laboratoriais para o monitoramento da umidade para os compostos 1 (balde contendo 8 kg poda e resíduos frutas e verduras) e 2 (pneus sobrepostos contendo 8 kg poda e resíduos frutas e verduras).

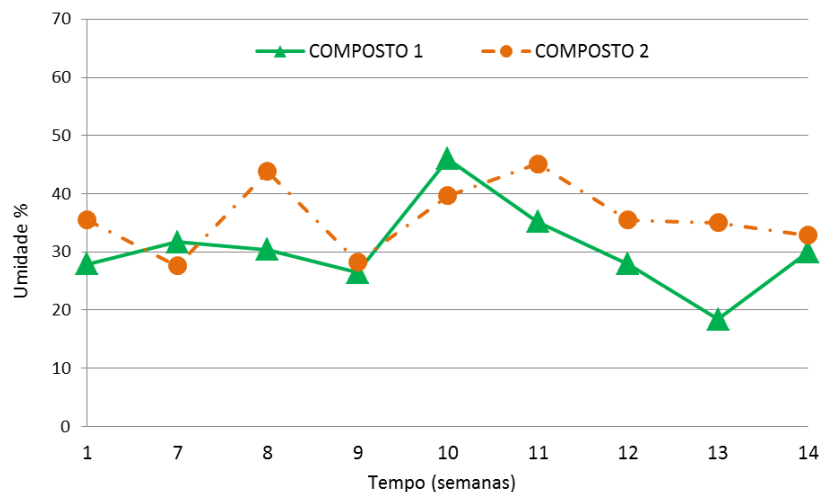


FIGURA 19 – MONITORAMENTO DE % UMIDADE PARA OS COMPOSTOS 1 (BALDE CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 2 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

Observa-se na Figura 18 que, apesar de visualmente os compostos 1 e 2 apresentarem teor de umidade adequada, os resultados laboratoriais apontaram valores próximos a 30 e 40%, respectivamente. Estes valores não são considerados adequados para sistemas de compostagem. De acordo com Lima (1995), o teor de umidade indicado para a compostagem é de 50 a 60%.

A Figura 18 mostra que, apesar de serem feitas umidificações semanais após a realização da coleta do material destinado à análise, os compostos 1 e 2 não atingiram os valores de umidade recomendados durante a compostagem.

A umidificação semanal é recomendada por Pereira Neto e Mesquita (1992) no período de maturação do composto. No entanto foi notado que, principalmente próximo às perfurações (nos baldes) e aos tijolos (nos pneus sobrepostos) o composto apresentava ressecamento da massa compostada.

Os sistemas de compostagem estudados não ficaram expostos diretamente à ação pluviométrica, no entanto Devens (1995) menciona em seu trabalho que sistemas de compostagem em pequena escala proporcionam um aumento considerável na relação da área de exposição e o volume da matéria, causando maior perda de calor por evaporação e maior perda de umidade.

A Figura 20 traz os resultados do monitoramento de umidade para os compostos 3 (balde contendo 1 kg de fezes gado + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras) e 4 (pneus sobrepostos contendo 1 kg de fezes gado + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras).

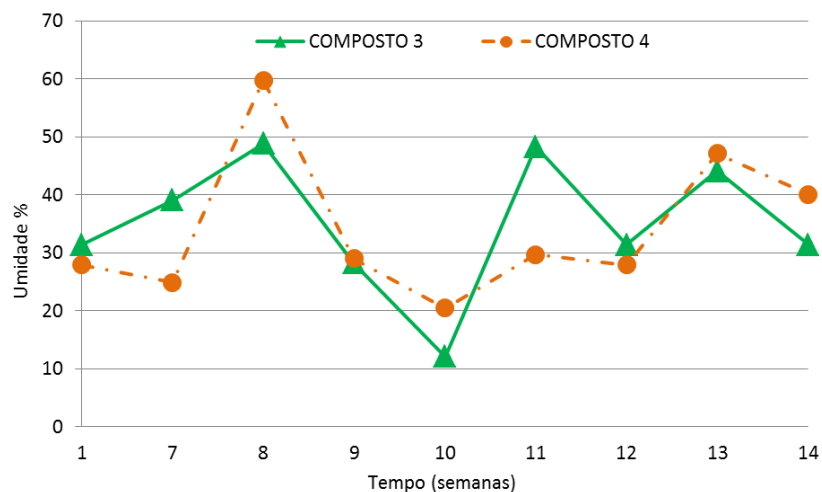


FIGURA 20 – MONITORAMENTO DE % UMIDADE PARA OS COMPOSTOS 3 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 4 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

Na Figura 20 observa-se que os compostos 3 e 4 apresentaram picos de umidade na oitava, décima primeira e décima terceira semana.

Os compostos que continham fezes de gado apresentaram maior aglutinação, o que prejudicava a amostragem, sendo difícil homogeneizar a amostra coletada.

Os aglutinados formados retêm umidade e dificultam a pesagem de uma amostra homogênea, podendo criar falsos resultados de teores de umidade.

A Figura 20, demonstra de que a umidade para os compostos 3 e 4 variou entre 10 e 50%. Apenas uma coleta do composto 4, realizada a oitava semana, apresentou teor de umidade de 60%, recomendado por Lima (1995). Uma possibilidade para correção das baixas % de umidade registradas seria a realização de análises com maior frequência, para que as umidificações fossem realizadas mais de uma vez por semana.

A Figura 21 apresenta os resultados de monitoramento de umidade para os compostos 5 (balde contendo 1 kg de fezes caninas + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras) e 6 (pneus sobrepostos contendo 1 kg de fezes caninas + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras).

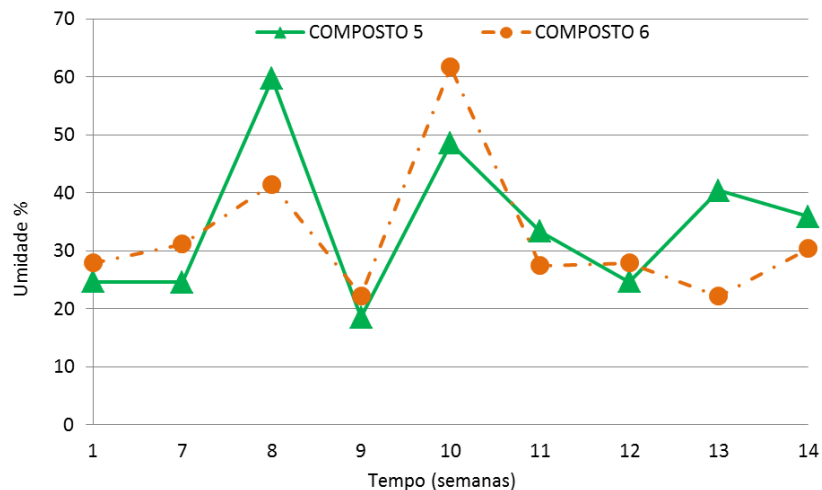


FIGURA 21 – MONITORAMENTO DE % UMIDADE PARA OS COMPOSTOS 5 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 6 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

Na Figura 21, pode-se notar picos de umidade para os compostos 5 e 6, nas semanas 8 e 10. Estes compostos que continham fezes de cães, além de formarem aglutinados, apresentaram-se consistentes e difíceis de homogeneizar.

Essa característica tornou muito difícil realizar uma coleta e análise de qualidade. Sendo assim, existe uma grande probabilidade das coletas das semanas 8 e 10 terem apresentado problemas de homogeneização.

Avaliando os demais resultados apresentados na Figura 21, pode-se notar que a variação de teor de umidade para os compostos 5 e 6 foi de 20 a 40%.

De acordo com Lima (1995) abaixo de 35-40% de umidade a decomposição da matéria orgânica é fortemente reduzida e abaixo de 30% de umidade a decomposição praticamente é interrompida.

Lelis e Pereira Neto (1999) realizaram estudo sobre a umidade durante o processo de compostagem de lixo orgânico. Estes autores concluíram que, para teores e umidade de 10% registraram-se ainda atividades de biodegradação da massa de compostagem.

Neste estudo verificou-se que apesar dos baixos teores de umidade registrados, a decomposição da matéria orgânica não foi interrompida.

Como já dito anteriormente, durante o monitoramento de pH, apenas na sétima semana, quando a temperatura ambiente ficou abaixo de 0°C, aparentemente

houve uma diminuição na atividade de decomposição. Com exceção deste período, as alterações de pH indicaram uma constante atividade de degradação da matéria orgânica presente nos compostos estudados.

#### 5.4 RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO (C/N)

A relação C/N é um índice utilizado para avaliar os níveis de maturação de substâncias orgânicas e seus efeitos no crescimento microbológico, já que a atividade dos microrganismos envolvidos no processo, depende tanto do conteúdo de Carbono para fonte de energia, quanto de Nitrogênio para síntese de proteínas (SHARMA et al., 1997).

A Figura 22 apresenta os resultados do monitoramento da relação C/N para os compostos 1 (balde contendo 8 kg poda e resíduos frutas e verduras) e 2 (pneus sobrepostos contendo 8 kg poda e resíduos frutas e verduras).

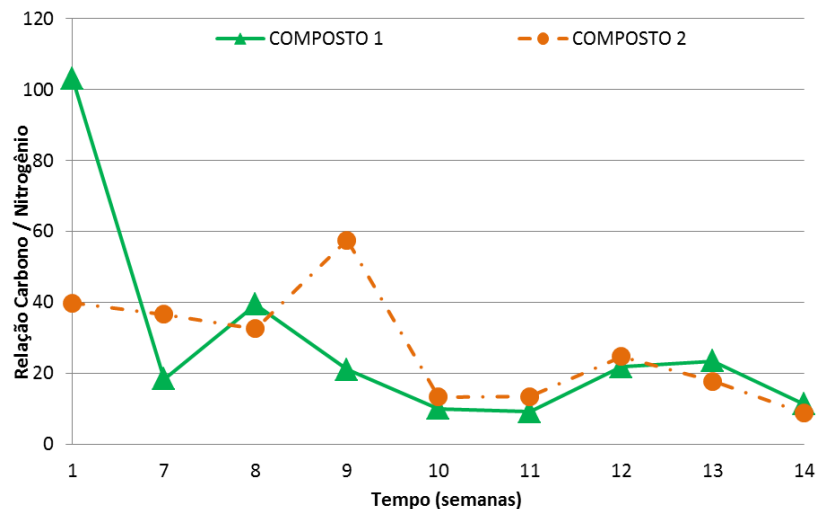


FIGURA 22 – MONITORAMENTO DA RELAÇÃO CARBONO/NITROGÊNIO PARA OS COMPOSTOS 1 (BALDE CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS DE FRUTAS E VERDURAS) E 2 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 8 KG DE PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

A Figura 22 demonstra que inicialmente os compostos 1 e 2 apresentaram resultados de relação C/N superiores aos valores encontrados na literatura. Sendo

respectivamente 103/1 e 40/1. Segundo Kiehl (2004), a relação C/N inicial mais favorável fica na faixa entre 26/1 e 35/1.

Apesar dos compostos 1 e 2 conterem 8 kg de poda e resíduos de frutas e verduras, a análise inicial de C/N apresentou valores próximos a 100 para a amostra 1 e próximos a 40 para a amostra 2. Isso provavelmente foi consequência de erro nos procedimentos de coleta e análise das amostras, já que no início ainda haviam pedaços inteiros de cascas e podas verdes que podem ter contribuído para essa diferença.

O Figura 23 apresenta os resultados do monitoramento da relação C/N para os compostos 3 (balde contendo 1 kg de fezes gado + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras) e 4 (pneus sobrepostos contendo 1 kg de fezes gado + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras).

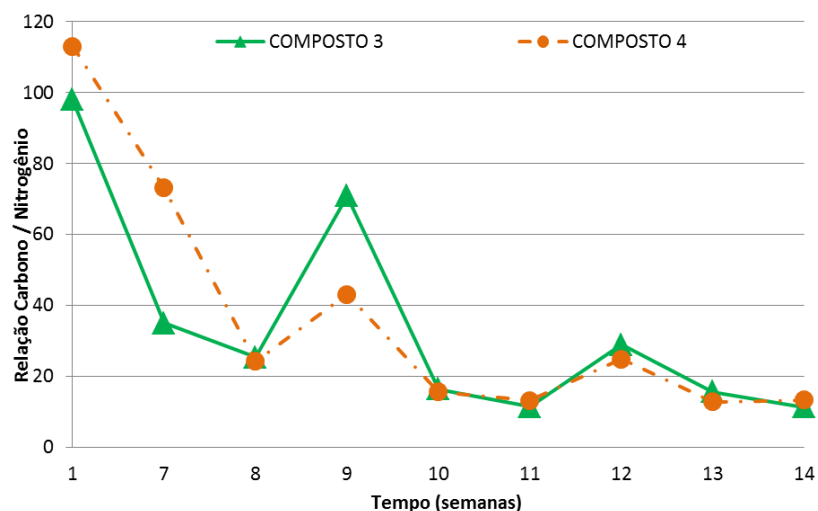


FIGURA 23 – MONITORAMENTO DA RELAÇÃO CARBONO/ NITROGÊNIO PARA OS COMPOSTOS 3 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 4 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES GADO + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

Na Figura 23, novamente pode-se notar valores iniciais da relação C/N muito altos, sendo para o composto 3 = 98/1 e para o composto 4 = 113/1.

A Figura 24 mostra os resultados para o monitoramento da relação C/N para os compostos 5 (balde contendo 1 kg de fezes caninas + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras) e 6 (pneus sobrepostos contendo 1 kg de fezes caninas + 7 kg poda e resíduos frutas e verduras).

Na Figura 24 pode-se notar que a relação C/N inicial dos compostos 5 e 6, também estavam acima dos valores indicados pela literatura.

Os resultados apresentados foram 75/1 para o composto 5 e de 101/1 para o composto 6.

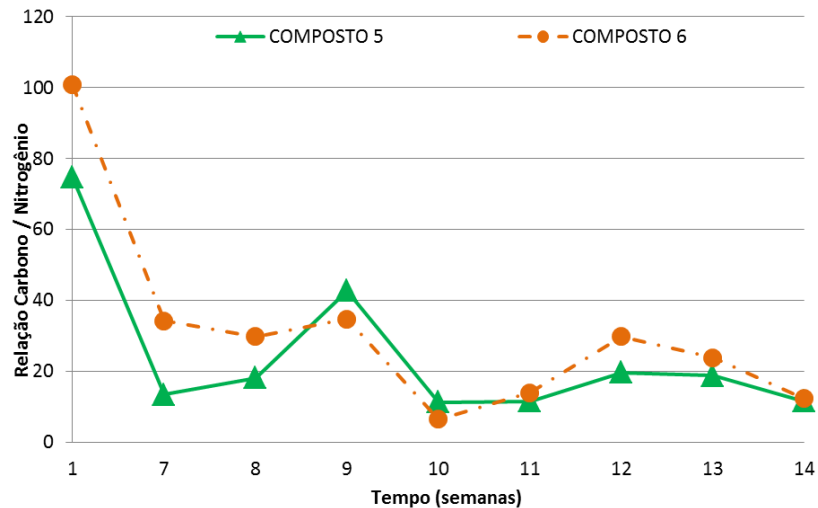


FIGURA 24 – MONITORAMENTO DA RELAÇÃO CARBONO / NITROGÊNIO PARA OS COMPOSTOS 5 (BALDE CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS) E 6 (PNEUS SOBREPOSTOS CONTENDO 1 KG DE FEZES DE CÃES + 7 KG PODA E RESÍDUOS FRUTAS E VERDURAS)

As Figuras 22, 23 e 24, apresentaram relação C/N acima dos valores indicados pela literatura, sendo necessário aumentar a disponibilidade de nitrogênio nos sistemas estudados, para diminuir a relação e aproximar-se da faixa entre 26/1 e 35/1, indicada por Kiehl (2004).

Para aumentar a quantidade de nitrogênio disponível nestes sistemas e atender às relações C/N adequadas, na quinta semana do estudo foram adicionados, a cada composteira 2,5 quilogramas de resíduos de poda de grama.

Segundo Pereira Neto (1996), a grama é um composto rico em nitrogênio. Para este autor, baixas concentrações de nitrogênio estão relacionadas à baixa atividade microbiológica e conseqüente falta de aquecimento do composto. O Quadro 4 (página 17) mostra a composição de alguns materiais empregados no composto, a grama contém 13,9g/kg de Nitrogênio.

Após a adição da grama às seis composteiras estudadas foi possível notar diminuição da relação C/N. As análises realizadas na sétima semana mostram uma

diminuição significativa da relação C/N para todos os compostos estudados. Essa diminuição indica que a grama adicionada ao sistema atendeu a finalidade de aumentar a concentração de nitrogênio no meio.

Somente para o composto 2, que inicialmente apresentava relação C/N de 40, não foi observada queda na Relação C/N. Isso provavelmente se deve à melhor homogeneização do composto, que após sete semanas de compostagem já não apresentava pedaços inteiros de frutas ou verduras.

Entre a sétima e a décima semana todos os compostos passam por um período de estabilização, apresentando um aumento na relação C/N durante a nona semana.

Provavelmente isto ocorreu em função da adição de resíduos de poda na quinta semana. Inicialmente ocorreu a utilização imediata do nitrogênio disponível e queda da relação C/N, pois legumes frescos e podas verdes se caracterizam por serem fontes de nitrogênio (KIEHL, 1998). No entanto os resíduos palhosos, como os vegetais secos, são fontes de carbono (PEREIRA NETO, 1996) e quatro semanas após a adição dos resíduos de poda, parte deste material não se integrou completamente à massa da compostagem, o que causou alterações no material coletado, pela presença de material seco.

Este aumento da relação C/N na nona semana também coincide com o momento em que as temperaturas dos compostos ultrapassam 20°C. Esta temperatura favorece a ação dos microrganismos e a estabilização das espécies que atuam na degradação.

Para Valente et al. (2009), apesar da grande diferença entre as demandas de carbono e nitrogênio pelos microrganismos, a carência de nitrogênio é limitante no processo, por ser essencial para o crescimento e reprodução dos microrganismos.

Logo a diminuição da relação C/N a partir da décima semana em todos os compostos, aliado ao aumento das temperaturas registradas nas composteiras favoreceram a reprodução dos microrganismos e conseqüentemente a degradação e estabilização dos resíduos compostados.

De acordo com Fialho (2007), a variação da relação C/N é um índice utilizado para avaliação e identificação da maturidade do composto. Esta relação dá uma indicação do grau de estabilização da matéria orgânica.

No entanto, de acordo com Zhang e He (2006), durante o processo de compostagem verifica-se uma redução da relação C/N em decorrência da oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos, que liberam CO<sub>2</sub> através da sua respiração diminuindo assim a concentração de Carbono.

Entre a décima e a décima quarta semana foi iniciado um período de estabilização da relação C/N em todos os compostos estudados. Sendo que a relação C/N dos compostos ficaram próximas a 20/1. Na décima quarta semana a menor relação C/N foi para o composto 2 (Figura 22), sendo 9/1 e a maior relação foi para o composto 4 (Figura 23), 13/1. Estes valores indicam a fase final de maturação do composto, onde ocorre a humificação.

Segundo Khier (1985), com a relação C/N menor que 17/1 inicia-se o processo de humificação, a síntese de húmus e, ao mesmo tempo, começa a sobrar nitrogênio mineral.

Jimenez e Garcia (1989) citam que, devido as diferenças na composição do material compostado, não se pode assegurar que uma relação C/N entre 20 e 10/1 indique um composto bioestabilizado. Para estes autores, a melhor maneira de se utilizar o parâmetro C/N é fazer uma relação entre o C/N final e o C/N inicial.

Segundo Jimenez e Garcia (1989), uma relação C/N final e C/N inicial menor que 0,70 é uma medida de degradação satisfatória.

Utilizando-se esta relação para os compostos estudados neste trabalho, todos apresentaram-se bioestabilizados após 14 semanas de compostagem, como apresentado na Figura 25.

A Figura 25 apresenta a relação C/N final / C/N inicial para os compostos estudados.

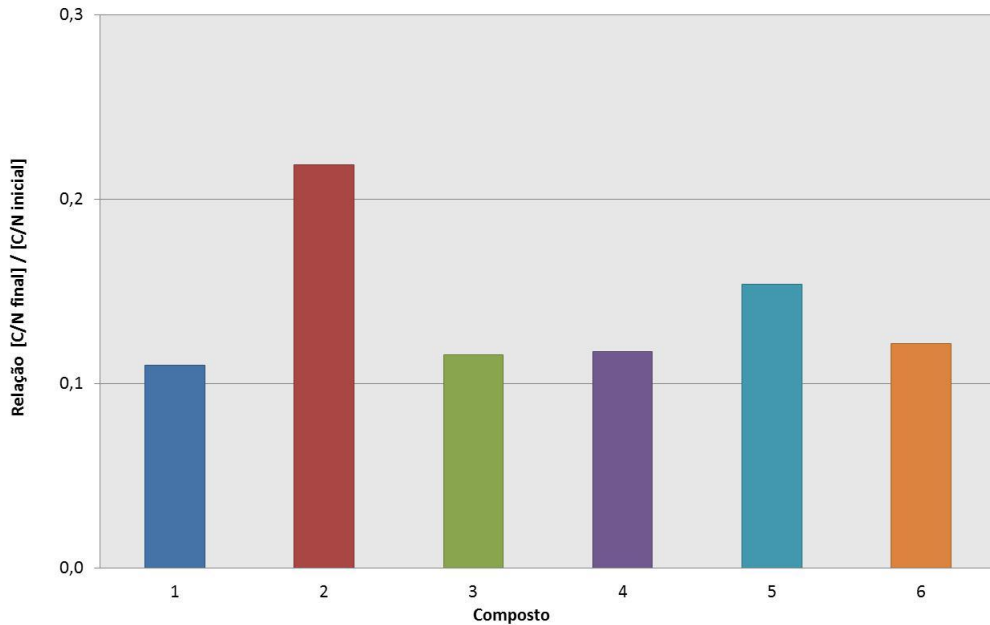


FIGURA 25 – RELAÇÃO C/N FINAL / C/N INICIAL PARA OS COMPOSTOS ESTUDADOS

## 5.5 HIGIENIZAÇÃO COMPOSTOS

Ao final do processo de compostagem foram realizadas as análises de Número Mais Provável de Coliformes termotolerantes, Presença/ausência de *Salmonella* e viabilidade de ovos de helmintos (*Ascaris*). Os resultados obtidos estão descritos no Quadro 14.

A sanidade dos compostos em relação à temperatura foi comprometida pois a compostagem se deu em temperatura ambiente, classificada por Kiehl (1995) e Campos (1998) como criófila.

Turner (2002) menciona que resultados obtidos em experimentos com compostagem demonstraram o crescimento de coliformes em leiras quando o processo foi conduzido a temperaturas mesofílicas.

A EPA (2003) define coliformes termotolerantes como bactérias entéricas usadas como indicadores da probabilidade da presença de patógenos bacterianos.

A Instrução Normativa SDA nº 27, de 05 de junho de 2006, determina o limite máximo de Coliformes Termotolerantes admissíveis em fertilizantes orgânicos é de  $1,0 \times 10^3$  NMP/g ST (Número mais provável por grama de sólidos totais).

Composto	Coliformes Termotolerantes NMP/g de ST	<i>Salmonella</i> sp. Teste Presença/Ausência em 10 g de ST	Viabilidade de Ovos de Helmintos ( <i>Ascaris</i> ) Nº em 4g de ST
1	$1,0 \times 10^3$	Ausência	Ausência
2	$6,1 \times 10^2$	Ausência	Ausência
3	$3,0 \times 10^5$	Ausência	Ausência
4	$8,2 \times 10^5$	Ausência	Presença
5	$4,1 \times 10^5$	Ausência	Ausência
6	$7,0 \times 10^3$	Ausência	Ausência

QUADRO 14 – PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS AVALIADOS NOS COMPOSTOS ESTUDADOS AO FINAL DE 14 SEMANAS DE COMPOSTAGEM

O Quadro 14 demonstra que apenas os compostos 1 e 2 atendem este requisito. Isto provavelmente se deve ao fato de serem os únicos compostos que não tiveram adição de fezes de qualquer origem.

Os demais compostos não atenderam a este requisito da Legislação Brasileira, nas quatorze semanas deste estudo. Portanto, não poderiam ser destinados ao uso como fertilizantes agrícolas. Possivelmente após sofrer um tratamento térmico ou caleação este resíduo teria condições de ser utilizado como fertilizante agrícola. Segundo Andreoli, Fernandes e Domaszak (1997) a adição de de cal virgem ao lodo de esgoto (50% em relação ao peso seco) apresenta eficiência na redução de coliformes termotolerantes e totais e ovos de helmintos.

Na destruição dos Coliformes Termotolerantes são necessárias temperaturas de no mínimo 55°C durante 60 minutos (KIEHL, 1998). Durante este experimento as temperaturas máximas registradas nos compostos foram de aproximadamente 25°C (vide item 5.1.1).

Valente et al. (2009) afirmam que a compostagem é mais eficiente quando se mantém temperaturas termófilas, porque reduz um maior número de microrganismos patogênicos, além de diminuir os fatores fitotóxicos, que inibem a germinação de sementes.

*Salmonella* sp. são bactérias tipicamente associadas a produtos de origem animal (carne e ovos). No entanto, tem ocorrido surtos de contaminação por vegetais ou frutas oriundas do uso de fertilizantes de origem animal (EPA, 2003).

Pereira Neto (1989) verificou a necessidade de manutenção de temperaturas termofílicas por um período mínimo de 18 dias para eliminação de *Salmonella*.

Neto e Lelis (2006) com base em experimentos criteriosamente monitorados, afirma ser um grande perigo para a saúde pública, avaliar a eliminação de microrganismos patógenos na compostagem com base em simples recomendações que preconizam tempos de apenas uma hora ou dois a três dias sob temperaturas termófilas. Os resultados das pesquisas mostraram claramente que para a obtenção de um produto final livre de contaminantes biológicos, é necessário manter um rígido controle do processo (oxigenação, umidade), onde o binômio: temperatura/tempo tornam-se parâmetros de suma importância.

Neste trabalho, apesar de serem observadas temperaturas máximas de 25°C, a presença dos patógenos *Salmonella* sp não foi constatada nas amostras coletadas ao final do processo de compostagem em todos sistemas estudados.

Através destes resultados foi possível verificar a adequação das amostras à Instrução Normativa SDA nº 27, de 05 de junho de 2006 que estabelece a ausência de *Salmonella* sp. em 10 g de amostra.

Os ovos de helmintos são os que apresentam maior resistência de vida podendo permanecer viáveis por até sete anos, quando em condições ideais (SOCCOL; PAULINO; CASTRO; 1998).

Neste estudo foram utilizadas fezes caninas provenientes de cães domésticos que são desverminados trimestralmente. Isto justifica a ausência de ovos de helmintos nos compostos em que foram utilizados fezes caninas.

No entanto, o composto 4, no qual foi utilizado fezes bovinas, apresentou ovos viáveis de helmintos. As fezes bovinas utilizadas neste estudo foram coletadas no pasto de um sítio que utiliza excrementos de porcos fermentados como adubação. Neste local, existe um pequeno rebanho de bovinos, num total de cinco, que são desverminados três vezes ao ano.

Segundo Galvan, Victoriva e Rojaz (1998) é muito importante controlar a disseminação de ovos de helmintos, em áreas onde se tenha contato primário com solos cultivados com águas residuárias brutas ou parcialmente tratadas.

Estudos realizados por P. O’Lorcain (1994) têm demonstrado que, nos solos de parques recreativos, os ovos de helmintos, se distribuem em um estrato que vai da superfície até os primeiros 12 cm de profundidade, particularmente nos primeiros 8 cm.

Portanto deve-se considerar que a amostra provavelmente foi contaminada por ovos de helmintos pelo contato com o solo.

## 5.6 COMPARAÇÃO ENTRE A LEGISLAÇÃO E A QUALIDADE DO COMPOSTO OBTIDO

A Instrução Normativa Nº 25, de 23 de Julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento dita as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos. Baseando-se nesta norma, os compostos utilizados neste estudo foram classificados como “Classe C”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

A Instrução Normativa 25, permite, para o composto final Classe C, umidade máxima de 50%; Nitrogênio Total mínimo 0,5%; Carbono Orgânico mínimo 15%; Relação C/N máxima 20% e pH mínimo 6,5.

Comparando os valores obtidos nos compostos finais aos valores permitidos pela legislação, para os parâmetros físico-químicos, estes compostos estão aptos para aplicação agrícola.

O Quadro 15 apresenta a comparação entre os valores permitidos pela Instrução Normativa Nº 25, de 23 de Julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e os valores obtidos nos compostos estudados.

Parâmetro	Classe C* IN 025**	Composto 1	Composto 2	Composto 3	Composto 4	Composto 5	Composto 6
Umidade % (max)	50	30	33	31	40	36	30
NT % (mín)	0,5	1,7	1,7	2,6	1,7	1,2	1,9
CO % (mín)	15	19,5	15,3	30,4	22,7	15,1	24,3
Relação C/N (máx)	20	11	9	11	13	11	12
pH (mín)	6,5	8,4	8,1	8,0	7,9	8,0	7,9

\*valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C

\*\* Valores constantes em Instrução Normativa Nº 25, de 23 de Julho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

QUADRO 15 – COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES PERMITIDOS PELA INSTRUÇÃO  
NORMATIVA MAPA 25 DE 23/07/2009 PARA OS FERTILIZANTES ORGÂNICOS MISTOS E  
COMPOSTOS E OS VALORES OBTIDOS NO PRODUTO FINAL DOS COMPOSTOS ESTUDADOS

Ainda é importante citar que apenas os compostos 1 e 2 atenderam aos requisitos microbiológicos (Quadro 14), para utilização dos compostos na agricultura, sendo necessária a adoção de tratamento térmico ou caleação para utilização deste resíduo para fins agrícolas.

## 6 CONCLUSÕES

Em relação ao monitoramento de temperatura, foi notado que a temperatura externa interferiu nas temperaturas registradas nos compostos pois os compostos estudados não apresentaram a fase termofílica.

Após a nona semana todos os compostos tiveram elevação das temperaturas registradas e conseqüente provável equilíbrio das espécies de microrganismos responsáveis pela degradação.

Os compostos 1 e 2, que continham apenas resíduos de poda e cascas de frutas e verduras, foram os mais afetados pelas baixas temperaturas ambiente registradas na sétima semana do estudo. Os compostos contendo fezes bovinas e caninas apresentaram maior resistência as alterações de temperatura ambiente.

Durante o monitoramento de pH os compostos evoluíram conforme o esperado, alcançando, durante a estabilização do composto valores entre 7 e 8,5. Os valores mínimos de pH apresentados pelos compostos foram próximos a 6,0.

O monitoramento da umidade dos compostos demonstrou que o teor de umidade dos sistemas (em 98% das coletas) variou entre 22 e 50%. Com o intuito de evitar a diminuição do teor de umidade foram utilizadas umidificações semanais das composteiras. No entanto, foi notado que, principalmente próximo às perfurações (nos baldes) e aos tijolos (nos pneus sobrepostos) os compostos apresentavam desidratação rápida.

Neste estudo, durante o monitoramento da Relação C/N, inicialmente os compostos apresentaram valores que variavam entre 40/1 e 113/1. No entanto no final do processo de compostagem os valores variaram entre 9/1 e 13/1. Estes valores indicam a fase final de maturação do composto, onde ocorre a humificação.

A avaliação de patógenos realizadas nas amostras demonstrou a presença de Coliformes termotolerantes em todas os compostos. Contudo, os compostos 1 e 2 que não continham fezes de qualquer origem, apresentaram valores aceitáveis pela Instrução Normativa 27 de 05 de junho de 2006, da Secretária da Defesa Agropecuária. A presença de *Salmonella* não foi observada em nenhuma das amostras. Apenas em uma amostra, contendo fezes bovinas, foi detectada a presença de ovos de helmintos, provavelmente oriunda da contaminação do solo.

A adoção de formas alternativas de higienização, como utilização de cal virgem ou aquecimento é necessária para que os compostos contendo fezes de animais sejam destinados ao uso agrícola.

A comparação entre os valores permitidos para umidade, Nitrogênio Total, Carbono Orgânico Total, Relação C/N e pH, pela IN MAPA 25 e os valores encontrados nos compostos resultantes deste estudo, demonstraram que todos os compostos atenderam à estes requisitos e estariam aptos para destinação agrícola.

A comparação entre os dois de métodos de compostagem, quais sejam, baldes perfurados e pneus sobrepostos, demonstrou que não houveram diferenças consideráveis tanto entre os compostos obtidos como no andamento do experimento. As maiores diferenças foram no manuseio das composteiras, sendo que as de pneus sobrepostos são de difícil manuseio, tanto para homogeneização, coleta e principalmente para esvaziamento após o período de compostagem.

Este estudo demonstrou que a utilização de fezes caninas em sistemas de compostagem de pequena escala consiste em uma alternativa para o tratamento de resíduos sólidos urbanos, no entanto é necessário o aprimoramento desta técnica para torná-la de fácil manuseio e diminuir os efeitos das variações de temperaturas do ambiente.

## 7 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Através deste estudo foi constatada a viabilidade da utilização do processo de compostagem em pequena escala para o tratamento de fezes caninas. No entanto, visando aprimorar este método, são sugeridos trabalhos futuros:

- 1) Realizar estudos da manutenção de umidade durante o processo de compostagem em pequena escala;
- 2) Estudar de forma mais aprofundada as variações de temperatura sofridas nos processos de compostagem em pequena escala em função das variações de temperatura ambiente;
- 3) Realizar avaliação da Relação C/N da matéria prima utilizada nos processos de compostagem;
- 4) Avaliar a relação entre a dieta utilizada para os animais e a qualidade da matéria prima a ser compostada;
- 5) Realizar estudos para aprimoramento das composteiras, visando: (a) diminuir os efeitos da variação de temperatura ambiente; (b) facilitar a homogeneização e umidificação dos compostos; (c) facilitar o manuseio e esvaziamento das composteiras;
- 6) Analisar a utilização de processos como tratamento térmico e utilização de cal virgem na higienização dos compostos.

## REFERÊNCIAS

AITA, C. **Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para cultura em sucessão.** In: Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto, 1997, p. 76-111.

ALVES M. C. G. P., et al. **Dimensionamento da População de cães e gatos do interior de São Paulo.** Revista de Saúde Pública vol.39 no.6 São Paulo, Dec. 2005.  
ALVES, W.L. **Compostagem e vermicompostagem no tratamento do lixo urbano.** Jaboticabal: FUNEP, 1996. 47p.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F.; DOMASZAK, S.C. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto.** Curitiba: SANEPAR, 1997. 81p.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. **Method: 9221E Detection of Coliphages,** 20 ed. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE) . **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2006.** São Paulo, SP, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2007.** São Paulo, SP, 2007.

AZEVEDO, A. C., DALMOLIN, R. S. D. **Solos e Ambiente: uma introdução.** Santa Maria: Ed Pallotti, 2004. 100 p.

BAYER, C. et al. **Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance.** Soil Till. Res., v.53, p. 95-104, january, 2000.

BERTOLDI, M. de, VALLINI, G., PERA, A. **The Biology of Composting: a Review.** Waste Management e Research, vol. 1, 1983.

BERTOLDI, M. DE.; GRISELLI, V. M. C. **Microbial populations in the compost process In: Composting the staff of compost science and land utilization.** New York: J. G. Press, Emmaus Pam, 1992. 26p.

**BRASIL, DECRETO Nº 4.954, DE 14 DE JANEIRO DE 2004.** Aprova o Regulamento da Lei Federal nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências.

**BRASIL, INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, DE 23 DE JULHO DE 2009.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Secretaria de Defesa Agropecuária. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

**BRASIL, INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 27, 05 DE JUNHO DE 2006.** Secretária de Defesa Agropecuária. Define às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas.

**BRASIL, INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA Nº 28, 12 DE JUNHO DE 2007.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organominerais e Corretivos

BRUNI V. C. **Avaliação do processo operacional de compostagem aerada de lodo de esgoto e poda vegetal em reatores fechados.** Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Paraná, 2005.

CAMPOS, A.L.O. **Avaliação de diferentes técnicas Experimentais para Determinação da Fração orgânica na Compostagem de Resíduos Sólidos.** São Carlos, 91pp, 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

CASTILHOS JR, A. B. et. al. **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte.** Rio de Janeiro: PROSAB - Programa de Saneamento Básico, 2003.

CERRI, C. E.; Oliveira, E. C.; SARTORI, R.H.; GARCEZ, T. B. **Matéria Orgânica do Solo** (Notas de aula). Piracicaba – São Paulo, maio de 2008

CETESB. **Inventário estadual de resíduos sólidos**. São Paulo: CETESB, 2002. 250 p.

CETESB. **Norma Técnica L 5.218 – Salmonella, Isolamento e Identificação: Método de Ensaio**. São Paulo, 1993.

CORRÊA, R.S.; CORRÊA, A.S. **Valoração de bio sólidos como fertilizantes e condicionadores de solos**. Sanare, Curitiba, v.16, n.16, p.49-56, jul./dez. 2001.

CORREIA, J. ANTUNES. N. MOURÃO I. ARAÚJO, J.P. BRITO, M. **Manual de Agricultura Biológica** - Terras de Bouro. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima - ESAPL / IPVC. Município de Terras de Bouro. Gráfica Vilaverdense Artes Gráficas, 2006.

DEVENS, D. C. **Aplicação do processo de compostagem com aeração forçada positiva aos resíduos sólidos na indústria de café solúvel**. Dissertação de mestrado da Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Vitória. ES. 1995. 167p.

DO NASCIMENTO, ADELINA M. **Química e Meio Ambiente: Reciclagem de lixo e química verde: papel, vidro, pet, metal, orgânico**. Secretaria de Educação: Curso Formação Continuada Ciências Da Natureza, Matemática E Suas Tecnologias, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Solos, 1999.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Como destinar os resíduos sólidos urbanos**. Ed. FEAM, 1995, Belo Horizonte, MG.

FELIX, ANANDA PORTELLA. **Avaliação de aditivos sobre as características das fezes de cães**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

FERNANDES, F., SILVA, S. M. C. P da. **Manual Prático para Compostagem de Bio sólidos**. 1a Edição. Rio de Janeiro: ABES. 1999.

FERREIRA, F.C. **Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos em Portugal**. Trabalho apresentado no 1º Simpósio Internacional sobre Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, ESTG/IPVC, Viana do Castelo, 1996.

FIALHO, L. L. **Caracterização a Matéria Orgânica em Processo de compostagem por métodos convencionais e espectroscópicos**. Tese (doutorado) Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

FUNDACENTRO. **Compostagem Doméstica de Lixo**. Departamento de Química e Bioquímica, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista - Unesp/Botucatu, São Paulo, 2002.

FUREDY, C. **Reduzindo os Riscos para a Saúde do Uso do Lixo Orgânico Sólido Urbano**. Revista Agricultura Urbana, n.3, março, 2001.

GALVÁN M.; DE VICTORICA J.; ROJAZ, V. N.; **Evaluacion rápida de La viabilidade de los huevos de helmintos con colorantes biológicos**. Anais eletrônico do XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Lima, Peru. 1998.

GRIPPII, S. **Lixo Reciclagem e sua História: guia para as prefeituras brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

HAUG, ROGER TIM. **The practical handbook of compost engineering**. Boca Raton. Lewis Publishers. 1993. [19], 717p.

HEIDEMANN, B. R. **Compostagem acelerada: análise microbiológica do composto**. Departamento de Química e Biologia, CEFET – PR. Curitiba: 2005.

HICKMANN JR, H. L. **Composting: Sometimes a good idea does not sell**. In: The brief history of solid waste management in the United States during the last 50 years. (2004). Disponível em: <[http://www.forester.net/mw\\_0107\\_history.html](http://www.forester.net/mw_0107_history.html)> Acesso em: 10 set. 2011.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 07/09/2011.

IPT, Lixo Municipal: **Manual de Gerenciamento Integrado**. 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

JARDIM, N.S. et al. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995.

JIMENEZ, E.I; GARCIA,V.P. **Evaluation of City Refuse Compost Maturity: A Review.** Biological Wastes,1989. n.o 27, pp. 115-142.

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

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto.** 4.ed. Piracicaba, 2004.

KIEHL, E. J. **Preparo do composto na fazenda.** Casa da Agricultura, Campinas: v.3, n.3, 1981.

KRAUSS, H.; WEBER, A.; APPEL, M.; ENDERS, B.; GRAEVENITZ, A. V.; ISENBERG, H. D.; SCHIEFER, H.G.; SLENCZKA, W.; ZAHNER, H. **Zoonosis. Infectious Diseases Transmissible from Animals to Humans.** ASM Press. American Society for Microbiology, Washington DC., USA. 2003. 3 ed, p. 236-8.

LEITE, L.C. et al. **Endoparasitas em Cães na Cidade de Curitiba – Paraná-Brasil.** Archives of Veterinary Science v. 9, n. 2, p. 95-99, 2004.

LELIS, M. P. N. e PEREIRA NETO, J. T. **A Influência da Umidade na Velocidade de Degradação e no Controle de Impactos Ambientais da Compostagem.** In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 1-10, Rio de Janeiro,1999.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação.** 3 ed. rev. São Paulo: Hemus, 1995.

MALAVOLTA, E. et al. **Micronutrientes, uma visão geral.** In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M. C. **Micronutrientes na Agricultura.** Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p. 1-33.

MARAGNO, E. S. TROMBIN, D. F. VIANA, E. **Uso de serragem no processo de minicompostagem.** Eng. sanit. ambient. 355 Vol.12 - Nº 4 - out/dez 2007, 355-360.

MARÍN, I.; SANZ, J. L.; AMILS, R. **Biotecnología y medioambiente.** Ed. Ephemera, Madri, 2005.

MARQUES, M.; HOGLAND, W. **Processo Descentralizado de Compostagem em Pequena Escala para Resíduos Sólidos Domiciliares em Áreas Urbanas.** In: XXVIII Inter-American Congress of Sanitary and Environmental Engineering. Cancun, Mexico, 2002.

MARTINS, CAMILA MARINELLI; AMARAL, CARLOS HENRIQUE; BORDIGNON, RODRIGO. **Estimativa da população de cães e gatos do município de Pinhais-PR, e respectivas ações de saúde pública.** UFPR, 2008.

MATOS, A. T., VIDIGAL S. M., SEDIYAMA, M. A. N., GARCIA, N. C. P., RIBEIRO, M. F. **Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.2, p.199-203, 1998.

MAZOYER, MARCEL. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea.** São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010. 424p.

MCKINLEY, V.L.; VESTAL, J.R. **Biokinetic analyses of adaptation and succession: microbial activity in composting municipal sewage sludge.** Applied and Environmental Microbiology 47, 1984. p. 933–941.

MONTEIRO, V. E. D. **Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do Aterro da Muribeca.** Recife, 2003. Tese de doutorado-Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

NBR 10.004 - ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos sólidos Classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

NETO P. J. T. e LELIS, M. P. N. **A contaminação biológica na compostagem.** In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 2006.

NOVAES, L. P. **Confinamento de bovinos leiteiros.** Piracicaba: FEALQ, 1985. 178p.

NUNESMAIA, M.F. **Gestion de déchets urbains socialement intégréé.** Tese de Doutorado, UCP/França, 2001. 279p.

OLIVEIRA, FRANCISCO; LIMA, JOSÉ MOREIRA; CAJAZEIRA, JOÃO PAULO. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos.** Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza. 2004.

OLIVEIRA, T. M. N. de; MAGNA, D. J.; SIMM, M. **Gestão de resíduos sólidos urbanos: O desafio do novo milênio.** Revista Saúde e Ambiente / Health and Environment Journal, v. 8, n. 1, jun. 2007. 12-18p.

ORMOND, J. G. P. PAULA, S. R. L. FAVERET, P. ROCHA, L. T. M. **Agricultura Orgânica: Quando o Passado é Futuro.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 15, p. 3-34, mar. 2002.

P. O'LORCAIN. **Prevalence of Toxocara canis ova in public playgrounds in the Dublin area of Ireland.** Journal of Helminthology, 68 , pp 237-241, 1994.

PAES, N.X. et al. **Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Curitiba.** Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Departamento de Limpeza Pública: Curitiba, 2007.

PEREIRA NETO, J. T. **Conceitos Modernos de Compostagem.** Engenharia Sanitária, v.28, n.3, p 104-109. 1989.

PEREIRA NETO, J. T.; LELIS, M.P.N. **Variação da composição gravimétrica e potencial de reintegração ambiental dos resíduos sólidos urbanos por região fisiográfica do Estado de Minas Gerais.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20. Rio de Janeiro, 1999. Anais. p. 1709-1716.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem processo de baixo custo.** Belo Horizonte: UNICEF, 1996.

PEREIRA NETO, J.T., MESQUITA, M.M. **Composting of Urban Solid Wastes: Theory, Operational and Epidemiological Aspects,** Informação Técnica Hidráulica Sanitária, LNEC, Lisboa, 1993.

PREFEITURA DE CURITIBA. Agência de Notícias da Prefeitura de Curitiba. Aterro da Caximba deixa de receber lixo. Disponível em: <http://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/aterro-da-caximba-deixa-de-receber-lixo-na-segunda-feira/20951>. Acesso 09/04/2012.

REIS, M.; BIDONE, F.; GEHLING, G. **Efeitos escala e clima no processo de compostagem em região subtropical.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

SALVARO, E.; BALDIN, S.; COSTA, M.; LORENZI, E.; VIANA, E.; PEREIRA, E. **Avaliação de cinco tipos de minicomposteiras para domicílios do bairro Pinheirinho da cidade de Criciúma/SC.** Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Mestrado em Ciências Ambientais - Núcleo de Pesquisa em Resíduos Sólidos – NRESOL. Com Scientia, Curitiba, PR, v. 3, n. 3, jan./jun. 2007

SANT'ANA FILHO, R. **Aterro sanitário.** In: Técnicas de Tratamento de Lixo Domiciliar Urbano. p.13-43. Belo Horizonte. Curso. Belo Horizonte, ABES, 1992.

SHARMA, V. K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA, G. **Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: a review.** Energy Conversion and Management, Elmsford, v. 38, n. 5, p. 453-478, 1997.

SHELLABARGER, W.C. **Zoo personnel health program recommendations. Infectious diseases committee.** American Association of Zoo Veterinarians, 1994.

SILVA, F. C.; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D. **Recomendações Técnicas para Uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo.** Circula Técnica 3 – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Campinas, SP, 2002.

SIQUEIRA, F. G. **Efeito do Teor de Nitrogênio Inoculantes e Métodos de Compostagem para Cultivo de Agaricus blazei.** Dissertação de Mestrado, UFLA, Lavras, MG, Brasil, 2006.

SOCCOL, V.; PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A. **Metodologia de análise parasitológica em lodo de esgoto e esgoto.** In: ANDREOLI, C.V.; BONNET, B.R.P. (Coord.) Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. Curitiba: SANEPAR, 1998. p.27-35.

SPECIAL DOG. Composição Special Dog Carne. Disponível em: <http://www.specialdog.com/SpecialDog/Web/home/default.aspx>. Acesso 23/04/2012.

TORTORA, G. J., FUNKE, B. R., CASE, C. L. **Microbiologia.** 6 ed. Porto Alegre: Editora ARTMED, 2000. p. 170-171.

TROMBIN, D. F. et al. **A relação C/N dos resíduos sólidos orgânicos do bairro universitário da cidade de Criciúma-SC.** In: XXV ENEGEP. Porto Alegre, RS, Brasil, 29 de Outubro a 01 de Novembro de 2005.

TURNER, C. **The thermal inactivation of Escherichia. coli in straw and pig manure.** Bioresource Technology, Barking, v.84, n.1, p.57-61, 2002.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY EPA/625/R92/013 **Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge.** Environmental Regulations and Technology, July, 2003.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION. **Method 1684 -Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids,** January, 2001.

VALENTE, B.S. et al. **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos.** Arch. Zootec. 58 (R): 59-85. 2009.

VAQUERO, G. E. **Projecto e construção de alojamentos para animais.** Litexa, 1981.

XAVIER, G. A.; **Prevalência de endoparasitos em cães de companhia em Pelotas – RS e risco zoonótico.** Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2006.

ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. **Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos.** In: Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Florianópolis: Prosab/ABES, 2003. Cap. 1, p. 1-18.

ZHANG, Y.; HE, Y. **Co-Composting solid swine manure with pine sawdust as organic substrate.** Bioresource Technology, v. 97, p. 2024-2031, 2006.

ZUCCONI, F. F. M.; BERTOLDI, M. **Biological evaluation of compost maturity Biocycle,** v.22, n.4, p.27-29, 1981.