

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CAMPUS II
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DO PROCESSO DE TRATAMENTO AERÓBIO
CONJUGADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS**

ALINE FLÁVIA NUNES REMÍGIO

CAMPINA GRANDE – PB

2001

ALINE FLÁVIA NUNES REMÍGIO

ESTUDO DO PROCESSO DE TRATAMENTO AERÓBIO CONJUGADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia Civil da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS

SUB-ÁREA: ENGENHARIA SANITÁRIA

ORIENTADORES: Prof^o Valderi Duarte Leite - DSc

Prof^a Beatriz S. O. de Ceballos - DSc

Campina Grande – PB

2001

ALINE FLÁVIA NUNES REMIGIO

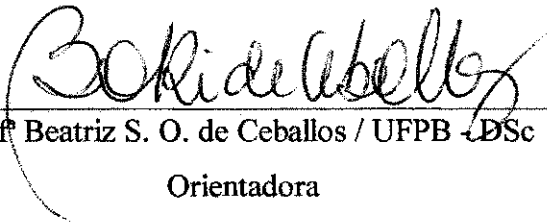
**ESTUDO DO PROCESSO DE TRATAMENTO AERÓBIO
CONJUGADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS**

COMISSÃO EXAMINADORA



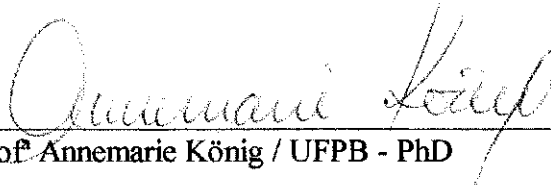
Prof^o Valderi Duarte Leite / UEPB - DSc

Orientador



Prof^a Beatriz S. O. de Ceballos / UFPB - DSc

Orientadora



Prof^a Annemarie König / UFPB - PhD

Examinadora Interna

Prof^o José Fernando Thomé Jucá / UFPE - DSc

Examinador Externo

Campina Grande – PB

2001

DEDICATÓRIA

À minha mãe pelo amor, dedicação e principalmente pelo esforço feito em prol da minha educação.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por poder caminhar firme, dia-a-dia, em busca dos meus ideais.

Aos Professores Beatriz S. O. Ceballos e Valderi Duarte Leite, pela preciosa orientação, incentivo e amizade.

Aos professores da Área de Engenharia Sanitária e Ambiental – AESA – da Universidade Federal da Paraíba, pelos ensinamentos prestados durante o curso.

Ao professor Francisco de Assis dos Santos Silva pela preciosa colaboração na análise estatística dos resultados.

À Profª Edeltrudes pela valiosa contribuição na identificação dos Fungos.

Aos funcionários e bolsistas da AESA, em especial Valmária, Thais e Cristina pela amizade e contribuição para a realização deste trabalho.

A Elidiane Martins e Elisângela Santos pelo companheirismo, lealdade e amizade dispensados no decorrer deste trabalho.

Aos colegas Wilton Silva Lopes, Wanderley do Nascimento, Wellington Regis e Alberto Dantas pela colaboração no decorrer deste trabalho.

Às amigas Paula Passos e Telma Lígia pela amizade, companheirismo e incentivo.

À amiga Claudia Coutinho Nóbrega pelo constante incentivo.

Àos meus pais: Flávio José e Maria Suely, pela vida, amor, carinho e incentivo a mim dispensados.

Aos meus avós: Pedro Siqueira e Antônia Nunes pela minha criação.

À minha tia Salomé Nunes pelo constante apoio e dedicação.

À minha irmã Ísis pela alegria que proporciona à minha vida.

Ao meu padrasto Arivaldo Marques pelo carinho.

Ao meu namorado Petrucio Antunes pelo amor, companheirismo, incentivo, paciência e principalmente pelo ensinamento de respeito à vida.

RESUMO

Neste trabalho, avaliou-se o processo de tratamento aeróbio de resíduos sólidos urbanos inoculados com lodo de estação de tratamento de esgoto sanitário, advindo de uma lagoa de estabilização operante na EXTRABES, localizada no bairro de Catolé, na cidade de Campina Grande (7° 13'11"S, 35° 52'31"W a 550m acima do nível do mar), no Estado da Paraíba. Utilizou-se os percentuais de 5, 10 e 15% (percentagem em peso) de inóculo, constituindo-se o sistema experimental de quatro tratamentos em triplicatas, sendo três leiras testemunha, utilizadas para compostar apenas a fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos. Para a parte experimental, foi adotado o delineamento com arranjo fatorial 4 x 7, com três repetições, com intervalos regulares de 15 dias para coleta e análises físicas e químicas, e com arranjo fatorial de 4 x 4, com três repetições, com intervalos regulares de 30 dias para coleta e exames microbiológicos de todas as leiras constituintes do sistema experimental durante o período de 90 dias. As análises dos resultados mostraram que houve reduções significativas das massas de Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total Kjeldahl e Fósforo Total, onde o tratamento que utilizou 5% de lodo de esgoto sanitário como inóculo apresentou a maior eficiência de transformação das massas de COT (78,7%), NTK (79,7%) e Pt (70,44%). O processo de compostagem apresentou um bom decaimento em todos os tratamentos, sendo coliformes totais e *Escherichia coli* removidos mais rapidamente que estreptococos fecais, tornando estes últimos melhores indicadores de contaminação no composto. A colonização das massas de resíduos por fungos deu-se no final do processo, possivelmente devido à presença de resíduos de mais difícil biodegradação bacteriana como celulose, lignina e hemiceluloses. A maior diversidade fúngica ocorreu no tratamento D (inoculado com 15% lodo), e a menor no tratamento A (100% lixo), indicando que o lodo estimula a diversidade da massa de resíduos em compostagem. A temperatura máxima atingida nas leiras de compostagem foi de 41°C, no início do processo, mas ao longo do período de monitoração esteve, predominantemente, na faixa de 28 a 35°C, o que não permitiu a total sanitização do composto, que ainda apresentou concentrações remanescentes de microrganismos (EF - 10⁴ NMP/g) acima dos níveis aceitáveis para uso no solo.

ABSTRACT

In this work, the process of aerobic treatment of urban solid residues was evaluated. This material was inoculated with waste stabilization pond sludge from the sewage treatment plant called EXTRABES (Campina Grande - 7° 13'11"S, 35° 52'31"W to 550m above sea level - Paraíba State). The percentiles of 5, 10 and 15% (percentage in weight) of sludge were inoculated in an experimental system of four treatments in triplicates with three rows as control, where only the organic fraction of solid urban waste was used. The experimental design adopted was the factorial arrangement of 4 x 7 and three repetitions with sample collection each 15 days for physical and chemical analysis; the factorial arrangement of 4 x 4, with three repetitions and sampling at regular intervals of 30 days where used for microbiological analysis in all the experimental system. This monitoring was carried out during a period of 90 days. The results showed significant reductions of Total Organic Carbon, Total Kjeldahl Nitrogen and Total Phosphorous. The treatment using sludge at 5% presented the best efficiency of mass transformation: TOC (78,7%), TKN (79,7%) and TP (70,44%). Composting process presented a good microbiological decline in all the treatments with total coliforms and *Escherichia coli* removed more quickly than fecal streptococci, making the last a better indicator of compost contamination. The residues colonization by fungi was slowly during the process of composting and highest values appeared at the end of the process, probably due the bacterial decay and the predominance of residues of more difficult biodegradation such as cellulose, lignine and hemiceluloses. The largest fungi diversity occurred in the treatment with sludge at 15%, and the smallest in the treatment without sludge indicating that sludge stimulated the biota diversity of the residues. The maximum temperature was 41°C, in the beginning of the process, but along the monitoring period it varied from 28 to 35°C, what did not allow total sanitation of the compost. Therefore it still presented remaining concentrations of microorganisms (FE - 10⁴ MPN/g) above the acceptable levels for direct use in soil.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE EQUAÇÕES	vi
LISTA DE SIGLAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS	viii
INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	3
CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
1.1. Meio Ambiente x Resíduos Sólidos	4
1.2. Resíduos Sólidos	6
1.2.1. Composição	8
1.2.2. Situação dos resíduos sólidos no Brasil	9
1.2.3. Situação dos resíduos sólidos na Paraíba	10
1.3. Lodo de Esgoto Sanitário	11
1.3.1. Composição do Lodo de Esgoto Sanitário	12
1.4. Gerenciamento dos Resíduos Sólidos	13
1.4.1. Manejo	14
1.4.2. Tratamento e/ou Disposição Final	15
1.4.2.1. Aterro Sanitário	15
1.5. Processos Aeróbios	16
1.6. Compostagem	17
1.6.1. Classificação	18
1.7. Fatores Intervenientes	19
1.7.1. Fatores Abióticos	20
1.7.2. Fatores Bióticos	22
1.8. Compostagem Conjugada	24
1.9. Composto Orgânico	25
CAPÍTULO II – MATERIAL E MÉTODOS	
2.1. Descrição do Sistema Experimental	27
2.2. Resíduos Sólidos Urbanos	28

2.3. Lodo de Esgoto Sanitário	28
2.4. Substrato	29
2.5. Carregamento das Leiras	30
2.6. Monitoramento do Sistema	30
2.6.1. Caracterização Microbiológica	31
2.6.2. Caracterização Física e Química	33
2.7. Término do Experimento	36
2.8. Balanço de Massa	36
2.9. Interpretação Estatística	37
2.9.1. Unidade Experimental	37
2.9.2. Fatores	37
2.9.3. Níveis de um fator	38
2.9.4. Variável Resposta	38
2.9.5. Análise Estatística do Experimento	39
CAPÍTULO III – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	
3.1. Caracterização Física, Química e Microbiológica	40
3.1.1. Fração Orgânica Putrescível dos Resíduos Sólidos Urbanos	40
3.1.2. Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário	41
3.1.3. Substrato	42
3.2. Análise Física e Química do Substrato	43
3.2.1. Temperatura	43
3.2.2. Teor de Umidade	46
3.2.3. Sólidos Totais Voláteis	48
3.2.4. Sólidos Totais Fixos	49
3.2.5. Potencial Hidrogeniônico (pH)	51
3.2.6. Carbono Orgânico Total	52
3.2.7. Nitrogênio Total Kjeldahl	54
3.2.8. Relação Carbono / Nitrogênio	56
3.2.9. Fósforo Total	58
3.2.10. Demanda Química de Oxigênio	59
3.3. Exame Microbiológico do Substrato	61
3.3.1. Coliformes totais (CT)	61
3.3.2. Coliformes fecais (CF)	63

3.3.3. <i>Escherichia coli</i> (EC)	65
3.3.4. Estreptococos fecais (EF)	67
3.3.5. Bactérias Heterótrofas Mesófilas incubadas a 35°C (BHM 35°C)	69
3.3.6. Bactérias Heterótrofas Mesófilas incubadas a 45°C (BHM 45°C)	71
3.3.7. Fungos Totais	73
3.4. Balanço de Massa	77
3.4.1. Balanço de Massa de Carbono Orgânico Total (COT)	77
3.4.2. Balanço de Massa de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	78
3.4.3. Balanço de Massa de Fósforo Total	79
3.5. Eficiência de Remoção de Microorganismos	80
CAPÍTULO IV – CONCLUSÕES	81
CAPÍTULO V - RECOMENDAÇÕES	82
CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	83
ANEXO	
Tabela de Temperatura	89

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1.	Resíduos sólidos e suas vias de contaminação	05
FIGURA 1.2.	Apresentação dos resíduos segundo a origem	07
FIGURA 1.3.	Situação do destino final dos resíduos sólidos no Brasil	09
FIGURA 2.1.	Distribuição das leiras de compostagem no pátio de compostagem	27
FIGURA 2.2.	Visão geral da fração orgânica putrescível dos resíduos triturados	28
FIGURA 2.3.	Visão do lodo no pátio para redução de umidade	29
FIGURA 3.1.	Comportamento da evolução temporal das temperaturas médias das leiras de compostagem e das temperaturas ambientais mínimas e máximas	45
FIGURA 3.2.	Comportamento da evolução temporal do teor de umidade	46
FIGURA 3.3.	Comportamento da evolução temporal dos sólidos totais voláteis nas leiras de compostagem	48
FIGURA 3.4.	Comportamento da evolução temporal dos sólidos totais fixos nas leiras de compostagem	49
FIGURA 3.5.	Comportamento da evolução temporal do pH da massa de resíduo sólido orgânico nas leiras de compostagem	51
FIGURA 3.6.	Comportamento da evolução temporal de carbono orgânico total nas leiras de compostagem	53
FIGURA 3.7.	Comportamento da evolução temporal do Nitrogênio Total Kjeldahl nas leiras de compostagem	55
FIGURA 3.8.	Comportamento da evolução temporal da relação carbono/nitrogênio nas leiras de compostagem	56
FIGURA 3.9.	Comportamento da evolução temporal do fósforo total nas leiras de compostagem	58
FIGURA 3.10.	Comportamento da evolução temporal da demanda química de oxigênio nas leiras de compostagem	60
FIGURA 3.11.	Comportamento da evolução temporal da concentração de Coliformes totais nas leiras de compostagem	61
FIGURA 3.12.	Comportamento da evolução temporal da concentração de	63

	Coliformes fecais nas leiras de compostagem	
FIGURA 3.13.	Comportamento da evolução temporal da concentração de <i>Escherichia coli</i> nas leiras de compostagem	65
FIGURA 3.14.	Evolução temporal das concentrações médias de Streptococos fecais nos resíduos durante o processo de compostagem	67
FIGURA 3.15.	Evolução temporal das concentrações médias de Bactérias Heterótrofas Mesófilas a 35°C nos resíduos durante o processo de compostagem	69
FIGURA 3.16.	Evolução temporal das concentrações médias de Bactérias Heterótrofas Mesófilas a 45°C nos resíduos durante o processo de compostagem	71
FIGURA 3.17.	Evolução temporal das concentrações médias dos Fungos Totais nos resíduos durante o processo de compostagem	73
FIGURA 3.18.	Comportamento da eficiência de transformação de Carbono Orgânico Total	77
FIGURA 3.19.	Comportamento da eficiência de transformação de Nitrogênio Total Kjeldahl	78
FIGURA 3.20.	Comportamento da eficiência de transformação de Fósforo Total e o percentual de resíduos sólidos de esgoto sanitário	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Variação temporal dos valores médios de temperatura das leiras de compostagem e das temperaturas ambientes (mínimas e máximas)	89
TABELA 1.1.	Composição física dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB	11
TABELA 1.2.	Composição química do lodo proveniente de esgoto sanitário	13
TABELA 1.3.	Órgãos responsáveis pelo gerenciamento dos diferentes tipos de lixo	14
TABELA 2.1.	Composição percentual da massa de resíduos sólidos orgânicos nas leiras de compostagem	29
TABELA 2.2.	Parâmetros e Métodos utilizados no monitoramento do processo de compostagem	31
TABELA 2.3.	Tabela de análise de variância (ANOVA) para dois fatores	39
TABELA 3.1.	Resultados da caracterização física, química e microbiológica da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos	40
TABELA 3.2.	Resultados da caracterização física, química e microbiológica do lodo de esgoto sanitário utilizado como inóculo.	41
TABELA 3.3.	Resultados da caracterização física, química e microbiológica do substrato no início do processo de compostagem	42
TABELA 3.4.	Análise de variância do Teor de Umidade	46
TABELA 3.5.	Evolução temporal dos valores médios do percentual do teor de umidade das leiras de compostagem	47
TABELA 3.6.	Análise de variância dos Sólidos Totais Voláteis	48
TABELA 3.7.	Evolução temporal dos valores médios dos sólidos totais voláteis das leiras de compostagem	49
TABELA 3.8.	Análise de variância dos Sólidos Totais Fixos	50
TABELA 3.9.	Evolução temporal média dos Sólidos Totais Fixos das leiras de compostagem	50
TABELA 3.10.	Análise de variância do pH no processo de compostagem	51
TABELA 3.11.	Evolução temporal média do pH das leiras de compostagem	52

TABELA 3.12. Análise de variância do carbono orgânico total no processo de compostagem	53
TABELA 3.13. Evolução temporal média de carbono orgânico total nas leiras de compostagem	54
TABELA 3.14. Análise de variância do nitrogênio total Kjeldahl no processo de compostagem	55
TABELA 3.15. Evolução temporal média do nitrogênio total Kjeldahl das leiras de compostagem	55
TABELA 3.16. Análise de variância da relação carbono/nitrogênio no processo de compostagem	56
TABELA 3.17. Evolução temporal dos valores médios da relação carbono/nitrogênio das leiras de compostagem	57
TABELA 3.18. Análise de variância da concentração de fósforo total no processo de compostagem	58
TABELA 3.19. Evolução temporal dos valores médios do fósforo total das leiras de compostagem	59
TABELA 3.20. Análise de variância da DQO no processo de compostagem	60
TABELA 3.21. Evolução temporal dos valores médios da demanda química de oxigênio das leiras de compostagem	60
TABELA 3.22. Análise de variância da concentração de Coliformes totais no processo de compostagem	61
TABELA 3.23. Evolução temporal dos valores médios dos Coliformes totais no processo de compostagem	62
TABELA 3.24. Análise de variância da concentração de Coliformes fecais no processo de compostagem	63
TABELA 3.25. Evolução temporal dos valores médios dos Coliformes fecais no processo de compostagem	64
TABELA 3.26. Análise de variância da concentração de <i>Escherichia coli</i> no processo de compostagem	65
TABELA 3.27. Evolução temporal dos valores médios de <i>Escherichia coli</i> no processo de compostagem	66
TABELA 3.28. Análise de variância da concentração de Estreptococos fecais no processo de compostagem	68

TABELA 3.29. Evolução temporal dos valores médios dos Estreptococos fecais no processo de compostagem	68
TABELA 3.30. Análise de variância da concentração de Bactéria Heterótrofas Mesófilas 35°C no processo de compostagem	69
TABELA 3.31. Evolução temporal dos valores médios de Bactéria Heterótrofas Mesófilas 35°C no processo de compostagem	70
TABELA 3.32. Análise de variância da concentração de Bactéria Heterótrofas Mesófilas 45°C no processo de compostagem	71
TABELA 3.33. Evolução temporal dos valores médios de Bactéria Heterótrofas Mesófilas 45°C no processo de compostagem	72
TABELA 3.34. Análise de variância da concentração de Fungos Totais no processo de compostagem	73
TABELA 3.35. Evolução temporal dos valores médios de Fungos Totais no processo de compostagem	74
TABELA 3.36. Diversidade de fungos filamentosos e leveduriformes ao longo do processo de compostagem	75
TABELA 3.37. Massa de carbono orgânico total em suas diversas frações	77
TABELA 3.38. Massa de Nitrogênio Total Kjeldahl em suas diversas frações	78
TABELA 3.39. Massa de Fósforo Total em suas diversas frações	79
TABELA 3.40 Eficiência de remoção de microrganismos ao longo do processo de compostagem	80

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 2.1.	Equação de Teor de Umidade	33
EQUAÇÃO 2.2.	Equação de Sólidos Totais Voláteis	34
EQUAÇÃO 2.3.	Equação de Sólidos Totais Fixos	34
EQUAÇÃO 2.4.	Equação de Carbono Orgânico Total	35
EQUAÇÃO 2.5.	Equação de Balanço de Massa	37

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Analysis of Variance
APHA	American Public Health Association
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EMPASA	Empresa Paraibana de Abastecimento de Alimentos e Serviços Agrícolas
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EXTRABES	Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
QMP	Quadrado médio do período
QMR	Quadrado médio do resíduo
QMT	Quadrado médio do tratamento
QMTtotal	Quadrado médio do total
QMTP	Quadrado médio da interação tratamento x período
SQP	Soma de quadrado do período
SQR	Soma de quadrado do resíduo
SQT	Soma de quadrado do tratamento
SQTotal	Soma de quadrado do total
SQTP	Soma do quadrado da interação tratamento x período

m	Metro
m ²	Metro quadrado
ml	Mililitro
mm	Milímetro
N	Nitrogênio
NMP	Número mais provável
nm	Nanômetro
NTK	Nitrogênio Total Kjeldhal
P	Fator período de compostagem
p	Nível do fator período de compostagem
pH	Potencial hidrogeniônico
Pt	Fósforo Total
P ₁	Peso inicial da amostra
P ₂	Peso final da amostra
O ₂	Oxigênio
RSP	Resíduo Sólido Putrescível
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
T	Fator tratamento
t	Nível do fator tratamento
TU	Teor de umidade
UV	Raio ultravioleta
λ	Comprimento de onda

INTRODUÇÃO

O Brasil chega ao século XXI com uma população consumidora estimada em 170 milhões de pessoas, sendo que metade se concentra em 17 regiões metropolitanas. Para as administrações municipais isso implica o desafio de gerir a ocupação e o uso do espaço geográfico e processar milhões de toneladas de lixo e esgotos produzidas diariamente.

No Brasil, o volume de resíduos sólidos gerado é de aproximadamente 120 mil t/dia, o que significa uma média superior a 1kg de lixo/dia por habitante, dos quais 76% são depositados a céu aberto causando vários problemas de ordem ambiental, sanitária e social (CERQUEIRA, 1999).

A produção diária de lodo nas ETE's brasileiras com sistemas aerados representa em peso, 39% dos resíduos sólidos urbanos produzidos por 100.000 habitantes. Estes lodos de esgoto sanitário, geralmente não têm um destino final seguro, sendo depositados muitas vezes a céu aberto em áreas no entorno das ETE's ou descarregados nos corpos d'água receptores, gerando problemas de ordem sanitária e ambiental (FERNANDES & SILVA, 1999). O tratamento e disposição final do lodo de esgotos são processos problemáticos e onerosos que podem chegar a absorver 60% dos orçamentos operacionais para controle de poluição das águas nos países desenvolvidos (BONNET, LARA & DOMASZAK, 1998).

A compostagem é um processo de biodegradação e conseqüente humificação de compostos orgânicos surge no horizonte do saneamento básico como uma metodologia simples e de baixo custo que permite tratar resíduos de várias fontes, tais como: restos vegetais, lixo urbano, lodos de esgoto, esterco de animais, etc, produzindo o composto que é um tipo de adubo orgânico utilizável na agricultura, em parques e jardins (PEREIRA NETO, 1988).

Entre as principais vantagens da utilização da compostagem de resíduos sólidos destacam-se: os rejeitos do processo podem ser lançados nos aterros sanitários sem causar problemas como formação de gases e chorume; o composto pode ser utilizado como adubo orgânico; exige pouca mão-de-obra especializada; reduz o transporte do lixo caso a usina de compostagem esteja localizada adequadamente; a instalação e utilização das usinas de compostagem não causa poluição atmosférica ou hídrica.

Entretanto, existem algumas desvantagens tais como a necessidade de mercado para vender o composto produzido e materiais recicláveis; problemas técnicos com a

cura do composto feita a céu aberto onde as chuvas e ventos podem interferir no processo. Estas dificuldades podem ser contornadas num futuro próximo, se fossem definidas medidas de manejo a nível regional e nacional.

Em virtude do alto teor de matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos, particularmente os brasileiros (50 a 70%) (IPT, 1996; PEREIRA NETO, 1988) e nos lodos de esgoto sanitário, sugere-se o tratamento através da compostagem, que pelo efeito da elevação da temperatura promove a desinfecção do resíduo, tendo como produto final o composto, um insumo de alto valor agrônômico.

Neste contexto, o presente trabalho se insere na busca de alternativas econômicas e tecnicamente viáveis para o tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos e do lodo gerado em estações de tratamento de esgoto sanitário, de modo que possa trazer benefícios ao ser humano e à natureza, na medida que busca a reciclagem dos elementos biodegradáveis. Por, sobretudo, apresenta-se uma busca de soluções dentro do conceito de sustentabilidade dos ecossistemas.

OBJETIVOS

Neste trabalho objetivou-se:

- ❖ Avaliar a eficiência da compostagem aeróbia da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos inoculada com lodo de esgoto sanitário nas proporções de 5, 10 e 15% (percentagem em peso).
- ❖ Estabelecer correlações dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos entre os três tipos de tratamento, utilizando-se os dados advindos das análises e exames realizados durante a monitoração do sistema experimental.

CAPÍTULO I

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. Meio Ambiente x Resíduos Sólidos

Segundo LEITE (1997), meio ambiente é um espaço físico onde em seu interior ocorrem interações de natureza social, política, econômica e cultural além de interações físicas, químicas e biológicas, sendo prioritariamente um espaço vivo dotado de posições políticas e ideológicas.

Os resíduos sólidos constituem um grande ponto de interrogação na civilização atual. Com o desenvolvimento tecnológico, aumentou consideravelmente a quantidade de resíduos sólidos refugados pelo homem, o que corresponde a um aumento dos aglomerados urbanos e uma conseqüente diminuição dos prováveis locais para destinação destes resíduos (SCHALCH, 1991).

Segundo LIMA (1995), o lixo disposto inadequadamente, sem qualquer tratamento, polui o solo, ar e águas alterando suas características físicas, químicas e biológicas, constituindo-se num problema de ordem estética e, mais ainda, numa séria ameaça a saúde pública.

Os grandes centros urbanos, em sua maioria, apresentam graves problemas de disposição final dos resíduos sólidos gerados, uma vez que esses resíduos, procedentes de atividades domésticas, industriais e agrícolas, provocam sérios impactos ambientais.

De acordo com a resolução CONAMA 001/86, é considerado impacto ambiental:

"Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causado por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas, que direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais".

A disposição equivocada dos resíduos sólidos urbanos traz três importantes agressões. A primeira, de ordem ambiental, principalmente pela contaminação do solo e do lençol freático, através da percolação do chorume. Sob o ponto de vista sanitário, permite a proliferação de vetores como ratos e insetos que ocasionam riscos à saúde pública. A última, de ordem social, pela existência de um número significativo de catadores que sobrevivem do lixo (CERQUEIRA, 1999).

Quanto ao aspecto ambiental, os lixões podem causar poluição atmosférica devido à degradação da matéria orgânica, não controlada, emanando biogás, que muitas vezes entra em combustão, além da poluição das águas superficiais e subterrâneas, através do chorume ou sumeiro. Este é o líquido gerado na decomposição da matéria orgânica de forma não controlada, que uma vez percolado no corpo hídrico provoca a elevação da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), tornando assim o ambiente impróprio para a sobrevivência de peixes e organismos aeróbios em geral, assim como para o consumo humano e animal. O chorume também causa a poluição do solo, acarretando a esterilidade deste.

Na Figura 1.1, são apresentadas as possíveis vias de contaminação originadas do destino inadequado dos resíduos sólidos urbanos.

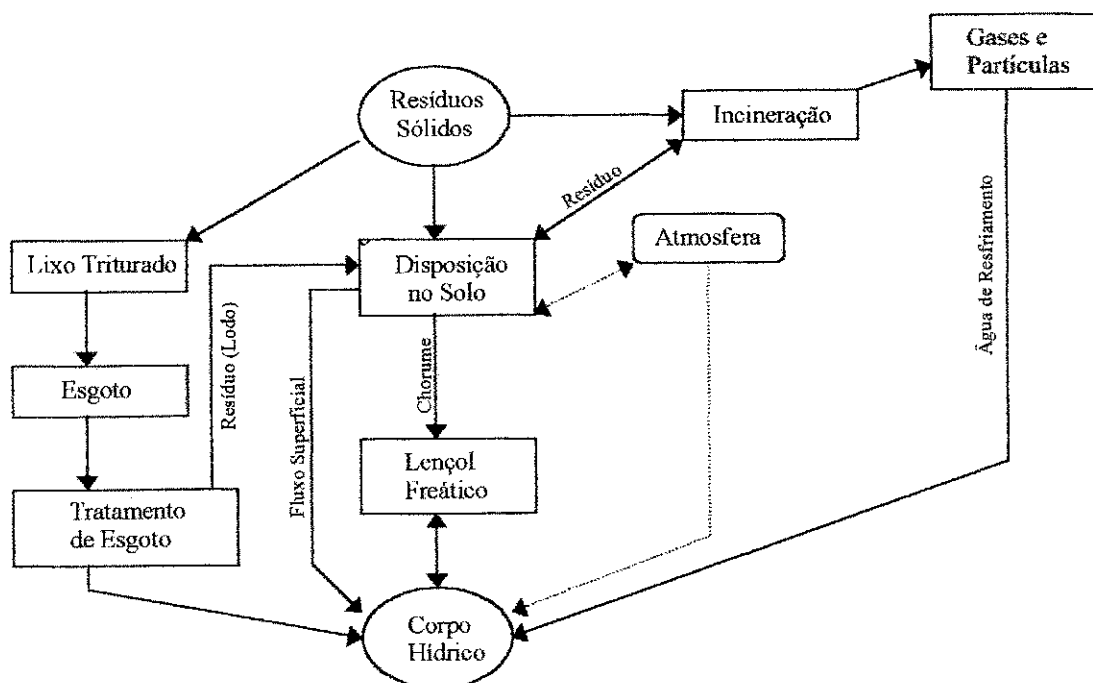


Figura 1.1. Resíduos sólidos e suas vias de contaminação.

Fonte: (ROCHA, A. A, 1980 apud SCHALCH, 1991).

Segundo a Agenda 21(ONU, 1992) cerca de 5,2 milhões de pessoas incluindo 4 milhões de crianças morrem por ano de doenças relacionadas com o lixo. Metade da população urbana nos países em desenvolvimento não tem serviços de despejo de resíduos sólidos. Globalmente, o volume de lixo municipal produzido deve dobrar até o final do século e dobrar novamente até antes do ano 2025.

1.2. Resíduos Sólidos

Segundo a NBR - 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT:

"Resíduos sólidos são resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade, de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também resíduos sólidos 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 corpo d'água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. "

Uma definição mais genérica é: *"O lixo é todo o material resultante das atividades humanas"* (SCHALCH, 1991). Segundo o autor, o lixo é classificado segundo os critérios:

- ❖ de natureza física: secos, molhados;
- ❖ de natureza química: orgânicos, inorgânicos;
- ❖ do local de geração: lixo urbano, lixo rural;
- ❖ a origem dos resíduos sólidos: urbano e rural;
- ❖ do grau de Biodegradabilidade dos Resíduos (BOWEMANN *apud* LIMA, 1995) classifica lixo em:

- a) facilmente degradáveis: matéria orgânica;
- b) moderadamente degradáveis: papel, papelão e outros produtos celulósicos;
- c) dificilmente degradáveis: trapo, couro, borracha e madeira;
- d) não-degradáveis: vidro, metal, plástico, pedras, terra e outros.

A Figura 1.2 expressa os diferentes tipos de resíduos sólidos gerados pelo homem, segundo a origem.

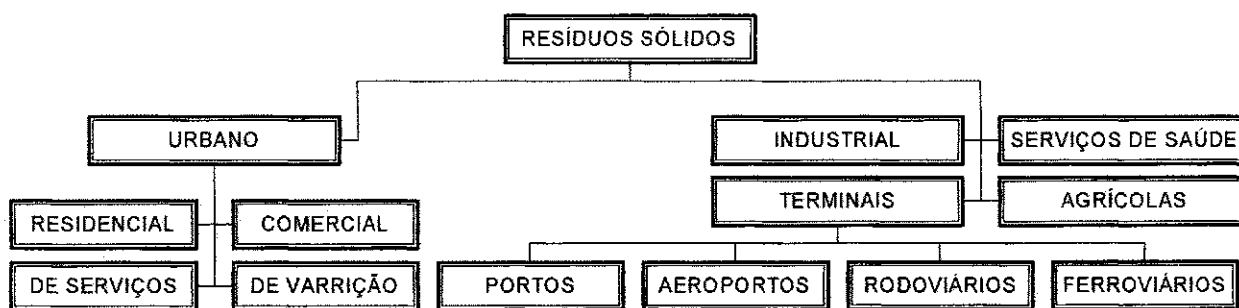


FIGURA 1.2. Apresentação dos resíduos segundo a origem.

Fonte: SCHALCH (1991)

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1996) classifica o lixo segundo suas características, como foi citado por SCHALCH, (1991) anteriormente e ainda pelos riscos potenciais ao meio ambiente em:

Perigosos – são aqueles que apresentam periculosidade, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, ou ainda as seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Os resíduos que apresentam as características citadas acima podem causar:

- a) risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças;
- b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada;

Não-inertes – são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos perigosos ou de resíduos inertes. Apresentam propriedades como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

Inertes – quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme testes de solubilização, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. Como exemplo pode-se citar as rochas, os tijolos, os vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente.

1.2.1. Composição

Quanto a sua constituição, os resíduos sólidos apresentam grande diversidade e se originam das mais variadas atividades humanas em ambientes urbanos e rurais. Constitui essa massa de materiais reunidos, julgada sem utilidade e jogada fora como restos de frutas, legumes e alimentos em geral, plásticos e metais diversos, vidros, papéis (jornais e revistas), embalagens em geral, materiais provenientes de limpeza de vias públicas, praças e jardins (restos de podas, gramas, folhas, galhos de árvores, papéis diversos, restos de cigarros), materiais cerâmicos, ossos, couro, trapos, terra, pedra, material séptico ou contaminado (provenientes de serviços de saúde), animais mortos, restos de carros, restos mobiliários, calça ou metralha de obra, para citar os mais importantes (BIDONE, & POVINELLI, 1999).

As composições física e química dos resíduos sólidos urbanos apresentam-se muito diversificadas, pois estão associadas a fatores tais como: densidade populacional, poder aquisitivo, condições climáticas, hábitos e costumes da população, nível educacional, fatores culturais, grau de industrialização, etc. Na composição física dos resíduos sólidos urbanos, são determinados os principais componentes que formam a massa total dos resíduos, tais como: matéria orgânica putrescível, plásticos, papel e papelão, metais, vidro, trapos, inertes, etc. Na composição físico-química, se determina: sólidos totais voláteis, DQO, nitrogênio total, metais pesados, carbono orgânico total, pH, etc.

No caso de outros tipos de resíduos sólidos ou semi-sólidos, como os lodos gerados em estações de tratamento de águas residuárias, a classificação apresenta-se de dois tipos: lodo primário e lodo secundário.

Grande parte dos resíduos sólidos é resultado de desperdícios praticados em todas as atividades humanas. Assim, por exemplo, a maior parte do lixo das residências é, geralmente, constituída de restos de comida que poderiam ser transformados em alimento para animais ou em adubos; papéis que poderiam ser empregados na fabricação de papelão, de papel grosseiro ou em outros materiais à base de celulose; metais e vidros, os quais poderiam ser fundidos novamente para fabricação de várias utilidades em que não seja necessário um alto grau de pureza (SCHALCH, 1991).

1.2.2. Situação dos resíduos sólidos no Brasil

No Brasil, estima-se que seja gerada uma média de 150.000 toneladas de resíduo sólido urbano por dia e que apenas 65% deste seja coletado, sendo o restante descartado em logradouros públicos, terrenos baldios, encostas e cursos d'água ou permanecendo junto a habitações (LELIS, 1998; PEREIRA NETO, 1998). Segundo os dados do IBGE (1996), 88% dos resíduos sólidos coletados no país são despejados a céu aberto ou em áreas alagadas, sem que haja nenhum tratamento prévio. Apenas 10% do lixo coletado é disposto em aterros e somente 2% do total coletado é tratado em usinas de reciclagem e compostagem.

Na Figura 1.3 apresenta-se a distribuição quantitativa referente à destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.

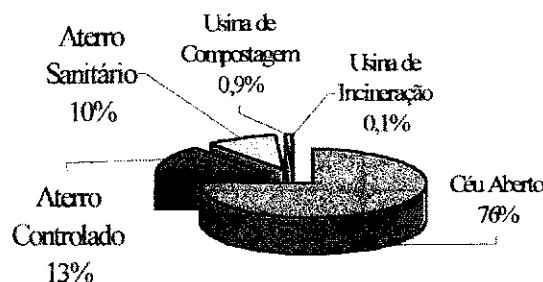


FIGURA 1.3. Situação do destino final dos resíduos sólidos no Brasil. Fonte: (IPT, 1996).

Grande parte do lixo urbano gerado não é coletada, permanecendo junto às habitações ou sendo descartada em logradouros públicos, terrenos baldios, encostas e cursos d'água.

No Brasil, a quantidade de matéria orgânica presente no lixo, geralmente, é bem superior à soma dos demais componentes do lixo (50 a 70%), o que permite reaproveitá-la através da compostagem. Outros resíduos também passíveis de reciclagem são os produzidos pelas feiras livres em geral, que constituem uma grande biomassa orgânica com predominância ou exclusividade de origem vegetal. Assim, verdadeiras montanhas de lixo vegetal se acumulam nas feiras, cujo destino termina sendo os lixões e com isso contaminando solo, ar e águas superficiais.

O Nordeste do Brasil apresenta uma situação de gravidade, pois apenas 1% dos resíduos sólidos urbanos produzidos tem disposição adequada. Observa-se, com isto, a falta de uma política de implantação de programas de melhoria da qualidade de vida e de saneamento básico da população (LEITE, V. D. e LOPES, W. S., 1998).

1.2.3. Situação dos resíduos sólidos na Paraíba

No Estado da Paraíba, observa-se que não há sistemas de tratamento e/ou disposição final para os resíduos sólidos urbanos ou qualquer outro tipo de resíduo sólido, em quase a totalidade das cidades. A cidade de João Pessoa, a capital da Paraíba, também está incluída nessa problemática, sendo a cidade mais populosa do Estado, com cerca de 600.000 hab. Os resíduos sólidos do município de João Pessoa vêm sendo dispostos, há 38 anos, no Lixão do Roger, o qual tem uma área de 17 ha. A cidade de Campina Grande, a segunda maior do Estado, com área territorial urbana de 75 km² e população estimada em 360 mil habitantes depositam os resíduos sólidos urbanos coletados em um lixão localizado a 15 km do centro da cidade.

No lixão são lançados os resíduos domiciliares, comerciais, industriais, públicos, hospitalares, sem nenhum ordenamento. A disposição dos resíduos sólidos a céu aberto é bastante antiga, entretanto, é uma prática condenada sob o ponto de vista ambiental, sanitário, econômico e social.

Na Tabela 1.1 mostra-se a composição física dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB.

TABELA 1.1 - Composição física dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB

Constituinte	Percentual
Matéria Orgânica Putrescível	56,70
Plásticos	15,52
Papel e Papelão	13,62
Vidro	1,14
Borracha	1,04
Metais	1,51
Ossos	0,95
Inertes (pedra, madeira, trapos).	1,31

Fonte: Leite e Lopes (1998)

Observa-se forte predominância do material orgânico, o qual sugere ser este um resíduo sólido apropriado para a compostagem.

1.3. Lodo de Esgoto Sanitário

Denomina-se lodo ao material obtido nas estações de tratamento de esgotos a partir do resíduo líquido urbano que provém de áreas domiciliares e industriais, sendo constituído por compostos inorgânicos, compostos orgânicos conduzidos pelo esgoto, microrganismos e sub-produtos da atividade dos microrganismos.

O lodo de esgoto é um resíduo sólido de composição variável, rico em matéria orgânica, que é separada da fase líquida nos processos de tratamento através da decantação ou da flotação (FERNANDES & SILVA, 1999). Os lodos urbanos são gerados como produtos do tratamento de esgotos sanitários ou industriais. (LEITE, 1998).

De maneira geral, os lodos dos esgotos são classificados em dois tipos:

- ❖ lodo primário: proveniente da sedimentação primária de materiais contidos nos esgotos sanitários que ficam retidos nos decantadores primários;

- ❖ lodo secundário: proveniente da degradação biológica da matéria orgânica presente no esgoto sanitário.

1.3.1. Composição

Os lodos primários geralmente possuem alta concentração de sólidos, variando em média de 2 a 6% em base seca. Os lodos secundários são mais difíceis de serem secados, e contém de 1 a 2% de sólidos em base seca e 98 a 99% de água (KELLOG, 1989).

O lodo, em seus vários tipos, apresenta características físicas e químicas diferentes e, caso sejam compostados, estas características terão grande influência no nível da atividade microbiológica do processo. A influência das características do lodo na compostagem deve-se essencialmente ao seu teor de matéria orgânica.

O lodo proveniente do tratamento primário geralmente contém uma concentração mais elevada de coliformes e organismos patogênicos entre eles vírus, bactérias e helmintos, que o lodo do tratamento secundário; entretanto a compostagem corretamente conduzida destrói os ovos, as larvas e os microrganismos patogênicos existentes no lodo de esgoto. Constatando-se que a temperatura mortal para a maioria dos organismos é geralmente obtida durante o processo de fermentação.

Os organismos patogênicos que normalmente estão presentes no esgoto sanitário podem ser divididos em quatro grupos (FERNANDES & SILVA, 1999):

- ❖ vírus;
- ❖ bactérias;
- ❖ helmintos;
- ❖ fungos.

A densidade dos patógenos presentes no lodo é variável, pois está ligada às características da comunidade geradora dos esgotos e ao tipo de tratamento a que o lodo foi submetido. Em geral, o lodo proveniente de esgoto sanitário, em suas diversas formas, apresenta composição química mais ou menos variável conforme mostrado na Tabela 1.2.

TABELA 1.2 - Composição química do lodo proveniente de esgoto sanitário.

Elemento	Base Seca (%)		
	Sólidos Frescos	Lodo Ativado	Lodo Digerido
Nitrogênio Total	4,50	6,20	2,25
Fósforo(P ₂ O ₅)	2,25	2,50	1,50
Potássio(K ₂ O)	0,50	0,75	0,50
Sílica(SiO ₂)	13,80	8,50	27,60
Ferro(Fe ₂ O ₃)	3,20	7,20	6,00
Alumínio(Al ₂ O ₃)	2,10	3,20	4,30
Cálcio(CaO)	2,70	1,70	5,70
Magnésio(MgO)	0,60	1,40	1,00
Manganês(MnO)	0,02	0,03	0,04
Sódio(Na ₂ O)	0,80	1,00	1,50
Cobre(CuO)	0,02	0,05	0,05
Bário(BaO)	0,05	0,06	0,10
Zinco(ZnO)	0,01	0,03	0,04
Chumbo(PbO)	0,10	0,20	0,20
Níquel(NiO)	-	0,005	-
Cobalto(CoO)	0,0002	0,0002	-
Enxofre(SO ₃)	1,20	2,90	2,50
Cloreto(Cl)	0,50	0,50	0,50
Cromo(Cr ₂ O ₃)	-	0,20	-
Boro(B ₂ O ₃)	-	0,0115	-
Iodo(I)	-	0,001	-
Arsênio	-	0,0013	-

Fonte: (W.P.C.F. Manual de Prática nº 2, 1971 *apud* LEITE, 1997).

1.4. Gerenciamento dos Resíduos Sólidos

O IPT (1996) define gerenciamento como o conjunto de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma administração municipal desenvolve, baseado em critérios sanitários, ambientais e econômicos para coletar, tratar e dispor o lixo de uma cidade. Portanto, gerenciar os resíduos sólidos de forma integrada significa tomar medidas adequadas de manejo, tratamento e disposição final dos mesmos.

1.4.1. Manejo:

O gerenciamento dos resíduos sólidos gerados pelo homem é de sua responsabilidade. Um planejamento eficiente e eficaz possibilitará um sistema de limpeza urbana adequado às necessidades locais e conseqüentemente minimizará os atuais e futuros danos à qualidade de vida dos cidadãos, como por exemplo, existência de focos de lixo pelas ruas, em terrenos baldios, nas margens e nos leitos dos cursos d'água; malefícios do ponto de vista sanitário, como a proliferação de transmissores de doenças; liberação de toxinas a partir de queima indevida do lixo; do ponto de vista econômico, a ineficiência no gerenciamento do lixo traz a não utilização de áreas potencialmente aproveitadas, quando utilizadas para vazadouros de lixo além de gastos com limpeza de rios, de galerias de águas pluviais; reflexos negativos ao turismo da região, etc.

O manejo do lixo é de responsabilidade da fonte geradora, seja ela o domicílio, o comércio, o aeroporto, assim como a coleta interna o acondicionamento e o armazenamento do mesmo, e deve facilitar uma coleta posterior feita pela administração municipal.

Tabela 1.3 – Órgãos responsáveis pelo gerenciamento dos diferentes tipos de lixo.

Tipo de Lixo	Responsável
Domiciliar	Prefeitura
Comercial	Prefeitura
Público	Prefeitura
Serviços de Saúde	Gerador (hospitais)
Industrial	Gerador (indústrias)
Agrícola	Gerador
Construção Civil	Gerador

Fonte: IPT (1996)

Segundo SCHALCH (1991) são três as formas de se coletar o lixo urbano:

- ❖ coleta regular: é realizada pela municipalidade e corresponde à remoção de lixo domiciliar, comercial e indústrias de pequeno porte;

- ❖ coletas especiais: são resíduos de varredura pública, resíduos hospitalares, restos de cemitérios, animais mortos, folhagens, móveis, entulhos e outros;
- ❖ coleta realizada pelo próprio produtor: indústrias, obras de engenharia, parques e outros. Estes devem ser responsáveis pela sua remoção.

Segundo IPT (1996), a forma de acondicionamento do lixo depende da:

- ❖ quantidade: pequenos ou grandes volumes;
- ❖ composição: lixo orgânico ou inorgânico;
- ❖ movimentação: tipo e frequência de coleta.

As características e a quantidade dos resíduos, a localização do domicílio, o horário e a frequência da coleta podem variar a forma de acondicionamento.

1.4.2. Tratamento e/ou Disposição Final

Tratamento é um processo que tem por objetivo fundamental a diminuição dos inconvenientes sanitários ao homem e ao meio ambiente. As principais formas de tratamento dos resíduos sólidos são descritas a seguir.

1.4.2.1. Aterro Sanitário

A NBR-8419 da Associação Brasileira de Normas Técnicas define Aterro Sanitário como sendo:

“Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma

camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário”.

Segundo SCHALCH (1991), os aterros sanitários apresentam as seguintes vantagens:

- ❖ aceitam qualquer tipo de resíduos sólidos menos hospitalar e radioativos;
- ❖ utilizam na sua execução e operação, equipamentos normalmente utilizados em serviços de terraplenagem;
- ❖ recuperam áreas topograficamente inutilizadas;
- ❖ controlam a proliferação de vetores, tais como ratos e artrópodes;
- ❖ possibilitam também a disposição de lodos, provenientes de estações de tratamento de esgoto, ou de tanques sépticos.

E desvantagens:

- ❖ poderá ser necessário o transporte a longa distância;
- ❖ produção de águas residuárias, principalmente devido à infiltração de águas de chuvas no aterro;
- ❖ disponibilidade de material de cobertura em quantidade limitada;
- ❖ possibilidade de poluição do lençol freático;
- ❖ produção de ruídos e poeiras durante a execução do aterro.

1.5. Processos Aeróbios

O processo de decomposição aeróbia por microrganismos leva à formação de produtos finais oxigenados tais como dióxido de carbono, água, sulfatos, etc. Geralmente estes compostos são considerados estáveis e relativamente inofensivos, não havendo nenhuma característica negativa associada a este processo. A decomposição aeróbia, como qualquer processo biológico, também produz odores não agressivos, do tipo adocicado, como terra vegetal (PENIDO, 1999).

A decomposição aeróbia, devido à ausência de maus odores e de maiores incômodos e ao seu menor custo, é a mais usada no tratamento de resíduos, não só para a

produção de composto orgânico como também para reduzir (cerca de 50%) o peso e o volume dos resíduos a serem depositados em aterros sanitários (PENIDO, 1999).

1.6. Compostagem

Segundo BIDONE, & POVINELLI, (1999), a compostagem é um processo biológico aeróbio e controlado de transformação de resíduos orgânicos em resíduos estabilizados, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem. É normalmente realizada em pátios nos quais o material é disposto em montes de forma cônica, conhecidos como pilhas de compostagem, ou montes de forma prismática com seção similares a triangular, denominados leiras de compostagem.

A decomposição ou estabilização da matéria orgânica pela ação biológica, tem tido lugar na natureza, desde o aparecimento das primeiras formas de vida. Recentemente, o homem tem tentado seu controle, e utilizado diretamente o processo, para disposição sanitária e recirculação do material orgânico residual. Dois estágios podem ser identificados nesse processo: o primeiro é denominado digestão, e corresponde à fase inicial da fermentação, na qual o material alcança o chamado estado de bioestabilização, onde a decomposição ainda não se completou, porém, quando bem caracterizada, permite que se use o composto como adubo, sem risco de causar danos às plantas; o segundo estágio, mais longo, é o da maturação, no qual a massa em fermentação atinge a humificação, estado em que o adubo apresenta as melhores condições, de agente condicionador do solo. O seu produto final, o composto, é definido como sendo um adubo preparador com restos animais e/ou vegetais. Esses resíduos, em seu estado natural, não têm, praticamente, nenhum valor agrícola; no entanto, após passarem pelo processo de compostagem, tornam-se um excelente adubo orgânico.

São diversos os materiais do lixo que podem ser compostados. Entre eles, os resíduos de feiras livres em geral. Estes constituem uma grande biomassa orgânica com predominância ou exclusividade de origem vegetal, que poderia servir para alimentação animal após tratamento apropriado. O mesmo consiste na lavagem e fervura dos resíduos antes de serem fornecidos ao animal, o qual encarece esse tipo de alimentação e afasta aos pequenos produtores rurais. Assim, verdadeiras montanhas de lixo vegetal se acumulam nas

feiras, cujo destino termina provocando a contaminação do solo, ar e águas superficiais. Entretanto, quando utilizado no processo de compostagem fornece um produto que aporta nutrientes e melhorias aos solos e as culturas.

Na compostagem, o processo de transformação da matéria orgânica, passa pôr dois estágios:

Estágio da Digestão – é a fase inicial de fermentação, na qual o material alcança o estado de bioestabilização, através das reações bioquímicas de oxidação mais intensas (FINSTEIN, 1980; PEREIRA NETO, 1987). Nesta fase, os principais parâmetros (taxa de aeração, teor de umidade e temperatura) intervenientes nos processos de compostagem, são mantidos sob controle, para obtenção de alta taxa de degradação de matéria orgânica (PEREIRA NETO 1987 *apud* NÓBREGA, 1991).

Estágio de Maturação – é a segunda fase do processo de compostagem, onde ocorre a humificação dos intermediários mais estáveis e a redução dos organismos patogênicos remanescentes, melhorando, em ambos os aspectos, a qualidade do produto final (GOLUEKE, 1977).

A maturação ou cura, como é também denominada, é uma fase do processo de compostagem caracterizada pela degradação bioquímica de substâncias mais complexas, onde, nas reações, há maior participação dos fungos e actinomicetos, que promovem a humificação destas substâncias (PEREIRA NETO, 1993).

1.6.1. Classificação:

A classificação da compostagem segundo KIEHL, (1985) baseia-se em quatro diferentes fatores que são:

❖ Quanto à aeração o processo pode ser:

a) Aeróbio - caracteriza-se pela presença de ar no interior da massa. As temperaturas são elevadas e ocorrem desprendimentos de CO₂ e vapor d'água. A matéria orgânica é rapidamente decomposta;

b) Anaeróbio – caracteriza-se pela baixa temperatura de fermentação, pela ausência do ar atmosférico e pelos gases que se desprendem (principalmente o metano e o gás sulfídrico). Apresentando decomposição, mais lenta, comparativamente à aeróbia;

c) Misto – são os métodos que incluem, dentro do seu processo os outros dois métodos anteriormente descritos.

❖ Quanto à temperatura em que o processo se desenvolve:

a) Criófila – ocorrem geralmente em meios anaeróbios, onde as temperaturas são baixas e próximas ou menores que a ambiente;

b) Mesófila – a faixa de temperatura neste tipo de compostagem situa-se em 40 e 55° C;

c) Termófila – a temperatura é maior que 55° C, podendo ultrapassar os 70° C se existirem condições de contorno especiais que favoreçam o processo e se a atividade microbiológica for muito intensa.

❖ Quanto ao ambiente onde se processa a compostagem, este se pode dividir em dois tipos:

a) Aberto – são os conhecidos pátios de compostagem, onde o processo ocorre a céu aberto;

b) Fechado – a compostagem ocorre em equipamentos especiais: silos, cilindros, torres e células de fermentação.

❖ Quanto ao tipo de processamento:

a) Estático – é a compostagem realizada em pátios de compostagem, onde as leiras são revolvidas apenas periodicamente;

b) Dinâmico – quando a massa é fermentada em aparelhos que são dotados de revolvimento contínuo.

1.7. Fatores Intervenientes

Sendo a compostagem um processo exclusivamente biológico, todos os fatores que influenciam, direta ou indiretamente no metabolismo microbiano, afetam o processo.

Do ponto de vista do processo em si, as condições ideais significam produzir um composto de boa qualidade em pequeno intervalo de tempo. Este resultado apenas pode ser obtido quando todos os parâmetros que afetam o processo estiverem trabalhando sob um nível ótimo de controle (REZENDE & PEREIRA NETO, 1993).

1.7.1. Fatores Abióticos

A composição química de um ambiente, a distribuição de gases, a porosidade, a temperatura, a umidade, etc, atuam como fatores limitantes para a sobrevivência das diversas populações de um ecossistema, que uma vez interagindo entre si podem funcionar como inibidores da sobrevivência para certos organismos e estimuladores para outros.

Os principais fatores abióticos, na compostagem são:

a) **Temperatura:** a temperatura atingida na leira de compostagem é uma conseqüência de sua atividade microbiana, sendo um importante fator, uma vez que indica o equilíbrio biológico e reflete a eficiência do processo de compostagem, garantindo assim a qualidade sanitária do composto.

Segundo KIEHL (1998) os microrganismos possuem metabolismo exotérmico, realizando assim a decomposição da matéria orgânica, gerando calor e elevando a temperatura da leira, graças às propriedades isolantes da massa em compostagem.

As faixas recomendadas para a realização da compostagem são mesófila (45°C a 55°C) e termófila (acima de 55°C). No entanto, temperaturas acima de 65°C são desaconselháveis, visto que se mantidas por longos períodos, eliminam os microrganismos responsáveis pela bioestabilização do material bruto.

Para PEREIRA NETO (1987), a compostagem moderna está mais associada ao desenvolvimento de temperaturas termófilas, controladas em torno de 55°C, que trazem uma série de vantagens tais como:

- ❖ desenvolvimento de uma população microbiana diversificada;
- ❖ aumento da taxa de degradação da matéria orgânica;
- ❖ eliminação de sementes de ervas daninhas, ovos de parasitas, etc.

Apesar das divergências verificadas na literatura específica sobre a faixa de temperatura ótima para se processar a compostagem, pode-se estabelecer com segurança que esta é realizada entre 23 e 70° C (LIMA, 1995).

b) **Nutrientes:** fração orgânica do lixo urbano é uma ótima fonte de proteínas, minerais, aminoácidos, vitaminas e de micro e macro-nutrientes para a compostagem (PEREIRA NETO, 1989). Dentre os vários nutrientes necessários ao crescimento dos

microrganismos durante a compostagem, os principais são o carbono e o nitrogênio e a relação entre esses dois elementos é de grande importância para o controle do processo.

Os principais nutrientes necessários ao crescimento dos microrganismos, durante a compostagem, são o carbono e o nitrogênio, sendo uma parte do carbono perdida em forma de gás carbônico (CO₂) e outra está presente no material celular em maior quantidade do que o nitrogênio (OBENG & WRIGHT, 1987; PEREIRA NETO, 1989).

Ao aplicar-se no solo um composto com relação C/N alta, pode-se produzir deficiências que chegam a matar as plantas. Quando a relação C/N é baixa ocorre o caso oposto, havendo elevada perda de Nitrogênio na forma amoniacal, principalmente durante o processo de revolvimento do material para oxigenação e controle de temperatura (BIDONE & POVINELLI, 1999). Segundo LIMA, (1995) é recomendado o uso de lodo de esgoto rico em nitrogênio, para corrigir a relação C/N.

c) **Aeração:** na compostagem aeróbia a oxigenação da leira é fundamental para o bom desenvolvimento do processo, tornando-o mais rápido e eficiente, uma vez que os microrganismos aeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica necessitam de oxigênio suficiente para o metabolismo.

A aeração é o principal mecanismo capaz de evitar os altos valores de temperatura durante o processo, aumentar a velocidade de oxidação da matéria orgânica e diminuir a emissão de odores (PEREIRA NETO, 1989).

Nos processos de compostagem anaeróbia, a presença de oxigênio torna-se inibitória e letal para os microrganismos estritamente anaeróbios.

Durante a compostagem, as leiras devem ser revolvidas no mínimo três vezes por semana (KUTER, 1995). Esta operação tem o objetivo de aerar a massa de resíduos em compostagem, aumentar a porosidade do meio, que sofre uma compactação natural devido ao peso próprio, homogeneizar a mistura, expor as camadas externas às temperaturas mais elevadas do interior da leira, melhorando a eficiência de desinfecção e diminuir o teor de umidade do composto (FERNANDES & SILVA, 1999).

d) **Umidade:** a decomposição da matéria orgânica depende, sobretudo, da umidade, para garantir a atividade microbiológica. Uma vez que a própria estrutura dos microrganismos consiste de, aproximadamente, 90% de água. Tanto a produção de novas

células como a dissolução de todo nutriente necessário ao metabolismo celular requer a presença de água (PEREIRA NETO, 1989).

Na compostagem a faixa de umidade recomendável é de 40 a 60 %, sendo o valor ideal 55%. Teores de umidade abaixo de 40 % retardam o processo, uma vez que inibe a atividade biológica e umidade acima de 60 % torna o meio anaeróbico. Se a umidade do substrato a ser compostado estiver abaixo de 40%, a decomposição será aeróbia, mas lenta, predominando a ação dos fungos, pois as bactérias estarão pouco ativas (KIEHL, 1998).

e) **pH:** a compostagem aeróbia provoca a elevação do pH. No início do processo, o material produzido pode tornar-se mais ácido, devido à formação de ácidos minerais; estes logo desaparecem, dando lugar aos ácidos orgânicos, que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino. Assim, independente do uso de corretivos, a compostagem conduz à formação de matéria orgânica húmica com relação alcalina (BIDONE & POVINELLI, 1999).

O pH ótimo para o crescimento dos microrganismos durante o processo de compostagem, situa-se entre 5,5 e 8,0. As bactérias preferem o meio próximo ao neutro (6,5 a 7,5) e os fungos se desenvolvem melhor entre 5,5 e 8,0 (BIDONE & POVINELLI, 1999).

f) **Preparo do Substrato:** no preparo do material a ser compostado deve-se levar em consideração vários fatores como tamanho das partículas, cujas dimensões ideais deverão estar entre 1cm e 5cm, governando o movimento de líquidos e gases na leira; a configuração geométrica da leira é importante porque através dela se busca a melhor distribuição de oxigênio e temperaturas que resultam na maior concentração de calor possível para o bom desenvolvimento do processo. A prática recomenda que as pilhas ou leiras de compostagem devem ter de 3 a 4m de largura, 1,5 a 2m de altura e comprimento indeterminado (LIMA, 1995); a homogeneização do substrato também é um fato muito importante no processo de compostagem.

1.7.2.Fatores Bióticos

O processo de compostagem dá-se pelo trabalho dos microrganismos que participam do processo e é influenciado por todos os fatores que afetam a atividade dos mesmos.

Sabe-se que os principais microrganismos responsáveis pelo processo de degradação da matéria orgânica na compostagem são bactérias, fungos e actinomicetos aeróbios e/ou anaeróbios facultativos que se sucedem em suas fases mesofílica e termofílica durante a degradação ativa e a maturação (PEREIRA NETO, 1989).

As bactérias desempenham seu principal papel na fase termofílica, decompondo açúcares, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil digestão. No entanto, perpassam praticamente todo o processo, especialmente as mesófilas, que persistem ao lado das termófilas, estas ativas, quando do incremento da temperatura da faixa mesófila para termófila. A função das bactérias pode ser resumida nas seguintes atividades: decompor a matéria orgânica seja ela animal ou vegetal; aumentar a disponibilidade de nutrientes; agregar partículas no solo e fixar o nitrogênio (BIDONE & POVINELLI, 1999).

Os fungos são organismos filamentosos, cujos micélios são de comprimentos maiores que as bactérias, heterotróficas. Desenvolvem em faixas baixas de pH e também em altas (2 e 9). Não predominam na acidez por competição, mas pela falta de concorrência (ausência de actinomicetos) (BIDONE & POVINELLI, 1999).

De modo geral, os fungos ocupam as áreas mais periféricas das leiras, caracterizadas pela menor temperatura e umidade. Ainda podem produzir antibióticos que funcionam como mecanismos competitivos auxiliares na eliminação de outros microrganismos atuando, principalmente na fase da maturação, sobre os patógenos (BOLLEN, 1984; STROM et al, 1985).

Os actinomicetos são bactérias de morfologia intermediária entre as bactérias e os fungos, apenas maiores que as bactérias tradicionais. Sua atuação pode ser afetada pelo pH, não se desenvolvendo em condições de pH baixo. São mais sensíveis à temperatura, destaca-se somente no final do processo, de resfriamento da leira, e na maturação, quando recolonizam a massa. A participação de actinomicetos já no final da fase de degradação ativa é devida ainda à baixa taxa metabólica desses microrganismos responsáveis por sua menor eficiência em competir por alimento com bactérias e fungos, que nesta fase já entraram em decaimento (NAKASAKI et al, 1985).

Os microrganismos patogênicos e parasitas, são adaptados ao ambiente específico do corpo de um hospedeiro (SMITH, 1980). No ambiente da leira, além de serem microrganismos exógenos, as condições que são determinadas no meio seleciona com mais

rigor o tipo de microrganismo que será capaz de decrescer e multiplicar-se nesse local (microrganismos aeróbios, termofílicos). Além disso, existe ainda a produção de antibióticos por outros microrganismos e a própria competição por alimento, que torna longo o processo de sobrevivência de patógenos durante o período de compostagem nas suas fases ativa e de maturação.

1.8. Compostagem Conjugada

Segundo (POLPRASERT, 1989) a compostagem não é aplicada apenas para a fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos e rurais, mas também para os semi-sólidos tais como lodo e esterco animal.

A compostagem conjugada consiste da compostagem da mistura de produtos de diferentes origens e composição, tais como os resíduos vegetais das feiras com esgotos domésticos, ou lodos resultantes dos tratamentos desses esgotos. Surgiu da necessidade de resolver o problema de volumes cada vez maiores de resíduos sólidos urbanos e quantidades crescentes de lodo acumulado, objetivando melhorar o ambiente urbano e aumentar a qualidade e produtividade dos solos. Apresenta a vantagem de aumentar e diversificar o inóculo microbiano que irá ser responsável pela biodegradação e simultaneamente estabilizar dois tipos de resíduos.

Essa técnica é utilizada em alguns países, visando resolver o problema de dois resíduos simultaneamente. A mistura deve ser feita de modo a garantir níveis de umidade, relação C/N e aeração adequados. No entanto, além dos problemas técnicos, existe ainda a dificuldade de conciliar esse tratamento simultâneo, uma vez que, geralmente, o tratamento de esgoto doméstico, existe apenas em grandes cidades e é operado pelo Governo Estadual, enquanto o lixo é de responsabilidade da esfera municipal (IPT, 1996).

A compostagem do lodo de esgotos requer cuidado operacional específico, de forma a conseguir um produto final estabilizado e seguro do ponto de vista bacteriológico (EPSTEIN, 1978 & PEREIRA NETO, 1987).

O grau de estabilização do lodo é um fator importante para sua disposição final em especial para a compostagem, influenciando na atividade microbiológica durante o

processo. Normalmente a estabilização ocorre na própria estação de tratamento de esgotos, através de processos biológicos aeróbios ou anaeróbios (FERNANDES & SILVA, 1999).

Quando usado como insumo agrícola o lodo passa a ser fonte de matéria orgânica, micro e macro-nutrientes para o solo, conferindo-lhe maior capacidade de retenção de água, maior resistência à erosão, com diminuição do uso de fertilizantes minerais e possivelmente propiciando maior resistência das plantas aos fitopatógenos (FERNANDES & SILVA, 1999).

Lodos bem estabilizados (50 a 60% de sólidos fixos) podem não conter os nutrientes indispensáveis aos microrganismos. A consequência disso é que as misturas de resíduos em processo de compostagem podem apresentar temperaturas baixas, mesmo sendo observados os parâmetros físicos e químicos ideais para o processo de compostagem (FERNANDES & SILVA, 1999).

A presença de metais pesados nos lodos de esgoto, tem sido uma grande preocupação com relação a seu uso agrícola. Entretanto, com relação a este aspecto estudos neste sentido concluíram através dos estudos, que durante a compostagem, na humificação da matéria orgânica, ocorre o fenômeno de quelação de elementos metálicos na fração húmica do composto, ou seja, os metais ficam quimicamente retidos na estrutura dos compostos húmicos (STENTIFORD & PEREIRA NETO, 1993).

1.9. Composto Orgânico

O composto orgânico, produto final resultante do processo de compostagem é o conjunto de substâncias derivadas dos resíduos orgânicos, isto é, uma mistura de compostos complexos, de grande estabilidade química, de alto peso molecular, de coloração marrom escuro, cuja estrutura possui alta qualidade de anéis benzênicos condensados ou ligados por oxigênio, com um grande número de carboxilas e oxidrilas fenólicas nas superfícies (SIQUEIRA & PRADO, 1986).

A legislação brasileira exige que o composto a ser comercializado tenha características que condizem com as de um fertilizante orgânico bioestabilizado: pH superior a 6,0 e relação carbono/nitrogênio (C/N) inferior a 18/1. As especificações para compostos orgânicos da Portaria nº 1 da Associação Brasileira de Normas Técnicas

(ABNT), admitem um mínimo de 1,0% do nitrogênio total e tolera 0,9% de nitrogênio total nos compostos orgânicos.

O composto imaturo empregado como adubo pode interferir ou na germinação das sementes ou por toxicidade com excesso de amônia, se o material contiver mais nitrogênio do que os microrganismos necessitam para decompor o resíduo (KIEHL, 1998).

CAPÍTULO II

MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição do Sistema Experimental

O processo de tratamento aeróbio da mistura de resíduos sólidos e lodo de esgoto sanitário realizou-se em um pátio de compostagem instalado nas dependências da EXTRABES (Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgoto Sanitário), na cidade de Campina Grande (70° 13' 11" S, 350° 52' 31" W a 550m acima do nível do mar), no estado da Paraíba.

O pátio de compostagem foi construído de madeira e plástico, com 4,0 m de largura por 6,0 m de comprimento, totalizando uma área de 24,0 m². Nesta área foram instaladas 12 unidades de compostagem tipo “caixão neozelandês” de plástico com 60 cm de comprimento, 45 cm de largura e 35 cm de altura, perfazendo um volume de 94,5 litros.

Na figura 2.1. apresenta-se a distribuição das leiras de compostagem na parte interna do pátio de compostagem.



FIGURA 2.1 – Distribuição das leiras de compostagem no pátio de compostagem.

2.2. Resíduos Sólidos Urbanos

A fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos utilizada neste trabalho foi coletada na EMPASA (Empresa Paraibana de Abastecimento de Alimentos e Produtos

Agrícolas S.A.), localizada na cidade de Campina Grande, PB.

O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos de 50kg de capacidade unitária e transportados para o pátio de compostagem, onde se efetuou a trituração e o controle da umidade. A trituração realizou-se em triturador de resíduos orgânicos marca “TRAPP-TR 2000”. Para reduzir a umidade, o resíduo foi secado naturalmente na parte externa do pátio de compostagem. Periodicamente foram feitas avaliações de umidade até atingir o valor desejado (de 60 a 70%).

Alcançada a umidade desejada, foi realizada a caracterização física e química da massa da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos, de acordo com o APHA (1995) e KIEHL (1985), a caracterização microbiológica seguiu APHA (1998).

Na figura 2.2. apresenta-se o aspecto geral da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos após a trituração.



FIGURA 2.2 – Visão Geral da fração orgânica putrescível dos resíduos triturados.

2.3. Lodo de Esgoto Sanitário

O lodo de esgoto foi proveniente de lagoas de estabilização facultativa em escala piloto, pertencente ao conjunto de unidades experimentais instalado na EXTRABES, onde é pesquisado o tratamento de esgoto doméstico advindo da rede de esgotamento sanitário da cidade de Campina Grande (PB).

Após a coleta, o lodo foi secado ao ar livre, até atingir a umidade desejada (em torno de 70%), depois acondicionado e transportado para o pátio de compostagem. Em

seguida, foi realizada sua caracterização física, química e microbiológica seguindo os métodos estabelecidos.

Na Figura 2.3 são apresentados os aspectos gerais do lodo de esgoto no pátio para secagem.



FIGURA 2.3 – Visão do lodo no pátio para redução de umidade.

2.4. Substrato

O substrato para compostagem foi resultado da mistura da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos mais o lodo de esgotos domésticos. O trabalho experimental foi realizado em triplicata, trabalhando-se com três proporções de lodo de esgoto (5, 10 e 15%) misturado a fração orgânica putrescível (95, 90 e 85%), conforme apresentado na Tabela 2.1. Um conjunto de três leiras de Resíduo Sólido Putrescível (RSP) sem mistura de lodo foi usado como testemunha absoluta.

TABELA 2.1 – Composição percentual da massa de resíduos sólidos orgânicos nas leiras de compostagem.

SÉRIE DE LEIRAS	FRAÇÃO ORGÂNICA PUTRESCÍVEL	LODO DE ESGOTO SANITÁRIO
	(%)	(%)
A ₁ [*]	100	0
A ₂ [*]	100	0
A ₃ [*]	100	0
B ₁	95	5
B ₂	95	5
B ₃	95	5
C ₁	90	10
C ₂	90	10
C ₃	90	10
D ₁	85	15
D ₂	85	15
D ₃	85	15

*- Testemunha Absoluta.

Para preparar o substrato, levou-se em consideração prioritariamente, a quantificação e a homogeneização das massas. Em seguida, realizou-se a coleta de amostras para a determinação das características físicas e químicas do substrato, aplicando-se os métodos recomendados por APHA (1995) e KIEHL (1985).

2.5. Carregamento das Leiras

O carregamento das leiras foi realizado após a caracterização dos parâmetros físicos e químicos e microbiológicos do substrato (RSP + Lodo). Cada leira da respectiva série recebeu em média 10kg de substrato.

2.6. Monitoramento do Sistema

O monitoramento foi realizado no período de 27 de Outubro de 2000 a 24 de Janeiro de 2001. A caracterização física e química foi realizada quinzenalmente e a microbiológica mensalmente, utilizando-se da análise dos seguintes parâmetros:

a) Temperatura das Leiras (T°C)

O monitoramento diário da temperatura das leiras de compostagem foi feito com termômetro de haste de mercúrio (Incontel:10-60°C) , sempre no mesmo horário, às 11:00 h.

b) Aeração das Leiras

O ciclo de aeração realizou-se a partir do 3º dia de montagem das leiras, e prosseguiu obedecendo à alternância de três a seis dias, em função das condições de umidade e temperatura desenvolvidas durante a compostagem. A aeração foi manual, com a devida homogeneização.

c) Acompanhamento do processo de bioestabilização do substrato

O acompanhamento do processo de bioestabilização do substrato e da fração orgânica putrescível foi iniciado em 27 de Outubro de 2000, com frequência quinzenal. Os parâmetros monitorados e os métodos utilizados estão descritos na Tabela 2.2.

TABELA 2.2 – Parâmetros e Métodos utilizados no monitoramento do processo de compostagem.

Parâmetro	Método
pH	Potenciométrico (APIIA, 1995)
Teor de Umidade	Gravimétrico (APHA, 1995)
Sólidos Totais Voláteis	Gravimétrico (APIIA, 1995)
Sólidos Totais Fixos	Gravimétrico (APHA, 1995)
Demanda Química de Oxigênio	Refluxo de Dicromato (APHA, 1995)
Nitrogênio Total Kjeldahl	Micro Kjeldahl (APHA, 1995)
Fósforo Total	Espectrofotométrico (APIIA, 1995)

Aspectos sanitários e microbiológicos do processo de bioestabilização foram avaliados mensalmente, a partir do início do experimento em 27 de Outubro de 2000, com a realização das seguintes análises:

- ❖ quantificação de coliformes totais (CT), coliformes fecais (CF), estreptococos fecais (EF), *Escherichia coli* (*E. coli*), Bactérias Heterótrofas Mesófilas (BHM);
- ❖ quantificação e identificação de Fungos Filamentosos e Leveduriformes.

2.6.1. Caracterização Microbiológica do Substrato

Montadas as leiras híbridas de resíduos sólidos orgânicos, a avaliação sanitária realizou-se nos resíduos sólidos urbanos e no lodo de esgoto sanitário separadamente antes da mistura, e no substrato, através dos seguintes microrganismos.

a) Coliformes totais e fecais

Foram quantificados através da técnica de tubos múltiplos (NMP). Para isso fez-se a diluição prévia das amostras: 25g do material homogeneizado recebeu 225ml de líquido de diluição. Esta mistura representava a diluição 10^{-1} , e a partir dela se realizaram as seguintes diluições seriadas decimais 10^{-2} , 10^{-3} até 10^{-6} .

Na técnica de tubos múltiplos utilizou-se Caldo Lactosado (DIFCO) na fase presuntiva incubado à $37^{\circ}\text{C} - 24/48$ h e Caldo Verde Brilhante BÍlis 2% (DIFCO) a 37°C , na fase confirmativa de coliformes totais. O Caldo E.C – MUG (DIFCO) à $44,5^{\circ}\text{C} - 24$ h foi usado para o teste confirmativo de coliformes fecais e *Escherichia coli*. As técnicas seguiram as recomendações APHA (1998). A leitura do EC-MUG foi feita sob luz UV ($\lambda = 366$ nm), permitindo-se assim quantificar *Escherichia coli*.

b) Streptococos fecais

Foram quantificados através da técnica de Membrana Filtrante, utilizando o meio m-Enterococcus Agar (DIFCO) com incubação a $37^{\circ}\text{C} - 48$ h (APHA, 1995). Foram feitas diluições desde 10^{-1} até 10^{-6} . Para quantificação final foram escolhidas as placas de Petri contendo entre 15 e 80 colônias. Após a contagem das colônias foi realizado o cálculo para a quantificação dos estreptococos fecais, tomando-se como massa referencial 1g de amostra.

c) Bactérias Heterótrofas Mesófilas

Fez-se através da técnica “Pour Plate”, utilizando-se alíquotas entre 0,1 a 1,0 ml da suspensão mistura/líquido de diluição. Esta técnica permite quantificar as bactérias heterótrofas com capacidade para crescer no meio escolhido. Neste trabalho usou-se o meio de cultura Muller & Hinton 10% (DIFCO). Para todos os microrganismos, foram avaliadas duas temperaturas de incubação: 35°C e 45°C , durante o período de 48 horas.

d) Fungos Totais

Para a quantificação de fungos totais utilizou-se a técnica “Spread Plate”, analisando-se alíquotas entre 0.1 a 1ml das diluições. Esta técnica permite quantificar os fungos com capacidade para crescer no meio escolhido. Neste trabalho usou-se o meio de cultura Agar Sabouraud (OXOID) adicionado de Cloranfenicol. Após a incubação em temperatura ambiente durante 5 a 10 dias os fungos foram identificados e quantificados.

2.6.2. Caracterização Física e Química do Substrato

As análises físicas e químicas foram realizadas quinzenalmente determinando-se os seguintes parâmetros:

a) Teor de Umidade

A metodologia e os equipamentos utilizados para a avaliação do teor de umidade do composto, são descritos a seguir, sendo efetuadas três repetições, e obtenção da média aritmética:

- I. pesar aproximadamente 25g da amostra *in natura* e acondicionada em cápsula de porcelana ;
- II. colocar em estufa a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 24 hs;
- III. retirar as amostras, colocar em dessecador por aproximadamente 15 minutos para o completo resfriamento;
- IV. pesar novamente a amostra.

O teor de umidade foi obtido a partir da seguinte equação:

$$\text{Teor de Umidade (\%)} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad \text{Equação 2.1}$$

onde: P_1 : peso inicial da amostra

P_2 : peso final da amostra

b) Teor de Sólidos Totais Voláteis

Para a determinação do teor de sólidos voláteis do composto foi utilizada a metodologia descrita em (APHA et al, 1995):

- I. triturar e peneirar, em malha de 18mm, a amostra no laboratório (amostra *in natura* seca em estufa por 24h);
- II. pesar em cadinho de porcelana aproximadamente 2g desse material, acondicionado em cadinho de porcelana;
- III. colocar em mufla mantida à $500 \pm 5^\circ\text{C}$, onde permanece nesta temperatura por 2h, para completa calcinação;
- IV. retirar os cadinhos e colocar em um dessecador, por aproximadamente 40 minutos até resfriamento;
- V. pesar novamente.

O teor de sólidos voláteis foi obtido a partir da média aritmética de três repetições, fazendo-se a seguinte relação:

$$\text{Teor de Sólidos Totais Voláteis(\%)} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad \text{Equação 2.2}$$

onde: P_1 : peso inicial da amostra

P_2 : peso final da amostra

c) Teor de Sólidos Totais Fixos

Os sólidos totais (100% da amostra) correspondem a soma dos sólidos totais voláteis (STV) e dos sólidos totais fixos (STF). Portanto, o teor de sólidos fixos foi determinado a partir dos valores dos sólidos totais e dos voláteis previamente obtido, através da seguinte expressão.

$$\text{STF} = 100\% - \text{STV}. \quad \text{Equação 2.3}$$

d) Carbono Orgânico Total

Para determinar o teor de carbono orgânico total (COT) do composto, foi utilizada a expressão proposta por GOLUEKE (1997). Nesta expressão, a concentração de COT foi estimada da seguinte relação:

$$\text{COT} = \text{STV}/1,8$$

Equação 2.4

onde: STV: teor de sólidos totais voláteis

1,8: fator de correlação constante

e) Potencial Hidrogeniônico

Para a determinação do pH foi utilizada a metodologia descrita a seguir:

- I. pesar, um béquer 10 g da amostra in natura recém preparada;
- II. adicionar 250 ml de água destilada;
- III. com o auxílio de um bastão de vidro, agitar manualmente a mistura por 3min;
- IV. deixar em repouso por aproximadamente 5 minutos;
- V. filtrar a solução em material de porosidade adequada;
- VI. determinar o pH da solução filtrada.

f) Demanda Química de Oxigênio

A DQO foi feita, com preparação prévia da amostra, seguida do emprego do método de refluxo com dicromato de potássio (APHA, 1995).

g) Nitrogênio Total Kjeldahl

Determinou-se o nitrogênio total em aparelho “Tecnal TE 036/1” por digestão úmida, em presença de ácido sulfúrico concentrado e solução digestora, pelo método clássico de Kjeldahl, segundo descrito por OHLWEILER (1981).

h) Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)

A relação Carbono/Nitrogênio foi determinada com base nos resultados obtidos dos percentuais de carbono orgânico total e o nitrogênio total Kjeldahl (KIEHL, 1985).

2.7. Término do Experimento

O experimento foi concluído em 24 de Janeiro de 2001 com o descarregamento das leiras, totalizando um período operacional de 90 dias. Os critérios adotados para o desmonte do sistema experimental foram:

- ❖ teor de Carbono Orgânico Total;
- ❖ eficiência de Transformação;
- ❖ odor, cor e tato.

Os critérios utilizados para avaliação do processo de bioestabilização do composto são recomendados por KIEHL (1985), LEITE (1997) e KIEHL (1998).

O material bioestabilizado foi acondicionado em sacos plásticos, para posterior peneiramento e aplicação no solo em trabalhos futuros.

2.8. Balanço de Massa

O balanço de massa foi realizado para determinar a eficiência de transformação em cada leira de codisposição em termos de aplicação, transformação e acumulação da massa do substrato (LEITE, 1997).

Calculou-se o balanço de massa através da Equação 2.5, para os parâmetros: Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total Kjeldahl e Fósforo Total.

$$\text{Massa}_{\text{Aplicada}} - \text{Massa}_{\text{Acumulada}} = \text{Massa}_{\text{Transformada}}$$

Equação 2.5

2.9. Interpretação Estatística

O planejamento estatístico é o procedimento de planejar um experimento de forma a otimizar os custos e o tempo de coleta de dados apropriados. Em estudos experimentais dois aspectos são fundamentais: o planejamento do experimento e a análise estatística dos dados nele obtidos.

Neste trabalho procurou-se obter o maior número de informações, para tanto, foram definidos os seguintes pontos.

- ❖ unidade experimental;
- ❖ fatores;
- ❖ níveis de um fator;
- ❖ variável resposta;
- ❖ análise estatística dos dados.

2.9.1.- Unidade Experimental

A unidade experimental é a unidade básica para a qual será feita a medida de resposta. Neste trabalho a unidade experimental será denominada leiras de compostagem.

2.9.2. Fatores

Os fatores são tipos distintos de condições que são manipuladas nas unidades experimentais, ou seja, são as variáveis cuja influência sobre a variável resposta está sendo estudada no experimento. Neste trabalho os fatores estudados foram: percentagem de resíduos sólidos de esgotos sanitários (lodo) (T) e período de compostagem (P).

2.9.3. Níveis de um Fator

Os níveis de um fator são os diferentes modos da presença do fator no experimento. Neste trabalho os níveis dos fatores foram:

a) Níveis do Fator Percentagem de Lodo de Esgotos Sanitários (T)

Foram avaliados quatro níveis de percentagem de lodo de esgotos sanitários sobre a massa total do substrato.

- ❖ 0% de lodo de esgotos sanitários pela letra A;
- ❖ 5% de lodo de esgotos sanitários pela letra B;
- ❖ 10% de lodo de esgotos sanitários pela letra C;
- ❖ 15 % de lodo de esgotos sanitários pela letra D.

b) Níveis do Fator Período de Compostagem (P)

Foram avaliados 7 níveis do período de compostagem para as análises físicas e químicas e 4 níveis do período para as análises microbiológicas.

P₀ – Início da compostagem

P₁₅ – 15 dias de compostagem

P₃₀ – 30 dias de compostagem

P₄₅ – 45 dias de compostagem

P₆₀ – 60 dias de compostagem.

P₇₅ – 75 dias de compostagem.

P₉₀ – 90 dias de compostagem.

2.9.4. Variável Resposta

Denomina-se variável resposta ao resultado de interesse registrado após a realização do ensaio.

Na compostagem de resíduos sólidos orgânicos com lodos de esgoto sanitário, as variáveis respostas foram:

- ❖ **Análises Físicas e Químicas:** Teor de Umidade, Potencial Hidrogeniônico, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos Totais Fixos, Carbono Orgânico Total, Demanda Química de Oxigênio, Nitrogênio Total Kjeldahl, Fósforo Total, Ralação Carbono Nitrogênio.
- ❖ **Análises Microbiológicas:** coliformes totais, coliformes fecais, *Escherichia coli*, estreptococos fecais, Bactérias Heterótrofas Mesófilas (35°C e 45°C) e Fungos Totais.

2.9.5. Análise Estatística do Experimento

Os dados das variáveis respostas, referentes à compostagem de resíduos sólidos orgânicos e lodos de esgoto sanitário, foram analisados utilizando-se o planejamento fatorial 4 x 7, com três repetições para as análises físicas e químicas e o planejamento fatorial 4 x 4, com três repetições para as análises microbiológicas. Utilizou-se, para as análises dos dados, o programa computacional ASSISTAT (SILVA, 1996). Para efetuar a análise de variância dos parâmetros microbiológicos, foi feita a transformação dos dados em valores logarítmicos.

A análise de variância do experimento obedeceu ao esquema básico mostrado na Tabela 2.3.

TABELA 2.3 – Tabela de análise de variância (ANOVA) para dois fatores.

Fontes de Variação	Graus de Liberdade (GL)	Soma de Quadrado (SQ)	Quadrado Médio (QM)	F
Fator % Lodo T	T-1	SQ _{Tratamento}	QM _{Tratamento}	QMT/QMR
Fator Período P	P-1	SQ _{Período}	QM _{Período}	QMP/QMR
Interação TP	(t-1)(p-1)	SQ _{TratamentoxPeríodo}	QM _{TratamentoxPeríodo}	QMTP/QMR
Resíduo	tp(n-1)	SQ _{Resíduo}	QM _{Resíduo}	
Total	tpn-1	SQ _{Total}		

GL. – Grau de Liberdade; SQ - Soma de Quadrado; QM – Quadrado Médio; F – Teste F; T – Percentual de Lodo; P – Período; N – Número de Amostras.

Os dados foram submetidos ao Teste F e o Teste de Tukey para determinar quais médias são estatisticamente diferentes ao nível de 1 e 5% de probabilidade.

CAPÍTULO III

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1. Caracterização Física, Química e Microbiológica dos Resíduos Utilizados

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os dados experimentais referentes ao processo de compostagem aeróbia conjugada de resíduos sólidos orgânicos.

A apresentação e discussão dos resultados obedecem a seguinte seqüência:

- ❖ Caracterização física, química e microbiológica da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos e do lodo de esgoto sanitário;
- ❖ Evolução temporal dos parâmetros analisados;
- ❖ Análise de variância dos dados experimentais;
- ❖ Determinação da eficiência de bioestabilização da massa dos resíduos sólidos orgânicos.

3.1.1. Fração Orgânica Putrescível dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os resultados da caracterização dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos são apresentados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 – Resultados da caracterização física, química e microbiológica da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos.

PARÂMETROS	MAGNITUDE
Teor de Umidade (%)	67,33
Sólidos Totais Voláteis (%)	78,94
Sólidos Totais Fixos (%)	21,06
Carbono Orgânico Total (%)	43,85
NTK (%)	3,65
DQO (%)	19,30
Pt (%)	0,30
pH	6,72
C/N	12,04
CT (NMP/g)	10 ⁹
CF (NMP/g)	10 ⁷
EF (NMP/g)	10 ⁸
<i>E. coli</i> (NMP/g)	10 ⁶
BHM _{35°C} (NMP/g)	10 ⁷
BHM _{45°C} (NMP/g)	10 ⁶
FT (unidades/g)	10 ²

Analisando os dados da Tabela 3.1 constata-se que o percentual de Sólidos Totais Voláteis presente na fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos, foi de 78,94% (percentagem em peso). Isto significa dizer que de 1kg de resíduos sólidos orgânicos coletados na EMPASA, 789,4g corresponde à massa de Sólidos Totais Voláteis em base seca. Quanto a Demanda Química de Oxigênio, identificou-se o percentual de 19,30%, significando dizer que, da massa de 1kg de resíduos sólidos apenas 193g corresponde à massa de DQO, isto também em base seca.

A fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos estudados neste trabalho apresentou boa concentração de microrganismos o que pode torná-lo apto ao processo de compostagem sem necessidade de inóculo. Os valores das concentrações destes microrganismos estão apresentados na Tabela 3.1.

3.1.2. Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário.

Os resultados da caracterização física, química e microbiológica do lodo de esgoto sanitário utilizado neste trabalho são apresentados na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 – Resultados da caracterização física, química e microbiológica do lodo de esgoto sanitário utilizado como inóculo.

PARÂMETROS	MAGNITUDE
Teor de Umidade (%)	76,08
Sólidos Totais Voláteis (%)	48,32
Sólidos Totais Fixos (%)	51,68
Carbono Orgânico Total (%)	26,48
NTK (%)	2,40
DQO (%)	19,30
Pt (%)	0,18
PH	7,50
C/N	12,54
CT (NMP/g)	10 ⁸
CF (NMP/g)	10 ⁷
EF (NMP/g)	10 ⁶
<i>E. coli</i> (NMP/g)	10 ⁵
BHM 35°C (NMP/g)	10 ²
BHM 45°C (NMP/g)	10 ²
FT (unidades/g)	10 ³

Analisando os dados da Tabela 3.2 constata-se que o percentual de Sólidos Totais Voláteis presente no lodo, foi de 48,32% (percentagem em peso), ou seja, que de 1kg de lodo coletado, 483,2g corresponde à massa de Sólidos Totais Voláteis em base seca. Quanto a Demanda Química de Oxigênio, identificou-se o percentual de 19,30%,

significando dizer que, da massa de 1kg de lodo apenas 193g corresponde à massa de DQO, isto também em base seca.

O lodo utilizado como inóculo neste trabalho apresentou concentração típica de microrganismos indicando que é apto para o processo de compostagem, embora a concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas apresentou-se baixa.

3.1.3. Substrato

Na Tabela 3.3 apresenta-se o resultado da caracterização física, química e microbiológica do substrato no início do processo de compostagem (P₀).

TABELA 3.3 – Resultados da Caracterização física, química e microbiológica do substrato no início do processo de compostagem.

PARÂMETROS	MAGNITUDE			
	Tratamento A (0%)	Tratamento B (5%)	Tratamento C (10%)	Tratamento D (15%)
Teor de Umidade (%)	67,33	73,45	71,61	74,63
Sólidos Totais Voláteis (%)	78,94	80,81	78,77	70,38
Sólidos Totais Fixos (%)	21,06	19,19	21,23	28,28
Carbono Orgânico Total (%)	43,85	44,89	43,76	39,10
NTK (%)	3,65	3,83	3,31	3,44
DQO (%)	19,30	17,43	18,77	20,20
Pt (%)	0,30	0,26	0,24	0,28
pH	6,72	7,12	7,12	7,23
C/N	12,04	11,76	13,56	11,40
CT (NMP/g)	10 ⁹	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸
CF (NMP/g)	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁸	10 ⁸
EF (NMP/g)	10 ⁸	10 ⁹	10 ⁹	10 ⁹
<i>E. coli</i> (NMP/g)	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁷
BHM 35°C (NMP/g)	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷	10 ⁷
BHM 45°C (NMP/g)	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁷
FT (unidades/g)	10 ²	10 ²	10 ²	10 ²

Analisando os dados da Tabela 3.3 constata-se que o percentual de Sólidos Totais Voláteis, foi de 78,94; 80,81; 78,77 e 70,38% nos tratamentos A, B, C e D respectivamente (percentagem em peso). Quanto a Demanda Química de Oxigênio, identificou-se os percentuais de 19,30% para o Tratamento A, 17,43% para o tratamento B, 18,77% para o Tratamento C e 20,20% para o Tratamento D.

A massa de resíduos sólidos orgânicos estudada apresentou boa concentração de microrganismos, o que favorece o processo de compostagem.

3.2. Análise Física e Química do Substrato

3.2.1. Temperatura

Na monitoração do sistema experimental foram realizadas medições diárias da temperatura ambiente e da temperatura em cada leira de compostagem, cujos resultados são apresentados na Tabela 1 do ANEXO I. Na Figura 3.1 apresenta-se a evolução temporal das temperaturas ambiente máxima e mínima, das temperaturas médias dos diferentes tratamentos.

Analisando o comportamento da Figura 3.1, constata-se que a temperatura das leiras de compostagem ao longo do período de monitoração esteve, predominantemente, na faixa de 28 a 35°C, ficando abaixo da temperatura recomendada por PEREIRA NETO (1989) para a faixa termofílica, entre 45 a 65°C. Esse valor é recomendado para uma melhor eliminação dos organismos patogênicos presentes na massa dos resíduos sólidos urbanos.

Segundo ZWIETERING et al (1991) *apud* MILLER (1996), a temperatura é o fator mais importante a ser controlado durante a compostagem, devido ao seu efeito nas taxas de metabolismo e na estrutura da população microbiana. Para algumas populações microbianas individuais a taxa de crescimento aumenta rapidamente com a temperatura, porém declina aceleradamente após atingir a temperatura ótima.

Caso a temperatura da massa de compostagem esteja muito abaixo de 20°C, a atividade microbiana diminui, podendo ocorrer durante um período prolongado. Se a temperatura exceder 20°C, a atividade microbiana aumenta, dobrando, geralmente, as taxas de atividade enzimática a cada aumento de 10°C na temperatura (ATLAS & BARTHA, 1981 *apud* MILLER, 1996).

De maneira geral, a temperatura termofílica no processo de compostagem aeróbia, é alcançada nos três primeiros dias de operação, uma vez que na fase ativa do processo aeróbio há liberação de grande quantidade de energia, PEREIRA NETO (1989).

As necessidades durante a compostagem são amplamente relacionadas na literatura, especialmente em termos de requerimento de temperatura. Todavia parece haver muito pouco consenso sobre o melhor regime de operação, o que se torna considerável devido aos conflitos sobre as necessidades do processo. No entanto,

STENTIFORD, PEREIRA NETO & MARA (1996) resumem concisamente as taxas de temperatura de acordo com o objetivo do processo de compostagem da seguinte maneira:

- ❖ sanitização > 55°C;
- ❖ máxima biodegradação 45 - 55°C;
- ❖ máxima diversidade microbiana 35 - 40°C.

No caso deste trabalho, a temperatura máxima atingida na fase ativa do processo de compostagem foi de 41°C, podendo estar associada a fatores como:

- ❖ a escala da leira utilizada no experimento, que foi de 10kg, constituindo-se em uma quantidade pequena para ocorrer considerável aumento de temperatura;
- ❖ localização do pátio de compostagem, em ambiente com elevada corrente de ar;
- ❖ retardamento para montagem das leiras com o objetivo de reduzir a umidade dos resíduos sólidos orgânicos utilizados na constituição das leiras;
- ❖ presença de palhas de milho e de feijão no substrato, as quais apresentavam granulometria acima da média recomendada (KIEHL, 1985);
- ❖ baixa relação Carbono/Nitrogênio, segundo PEREIRA NETO, 1998. Uma vez que a literatura é unânime ao recomendar a relação C/N inicial de 30/1 para obtenção de melhor eficiência na compostagem.

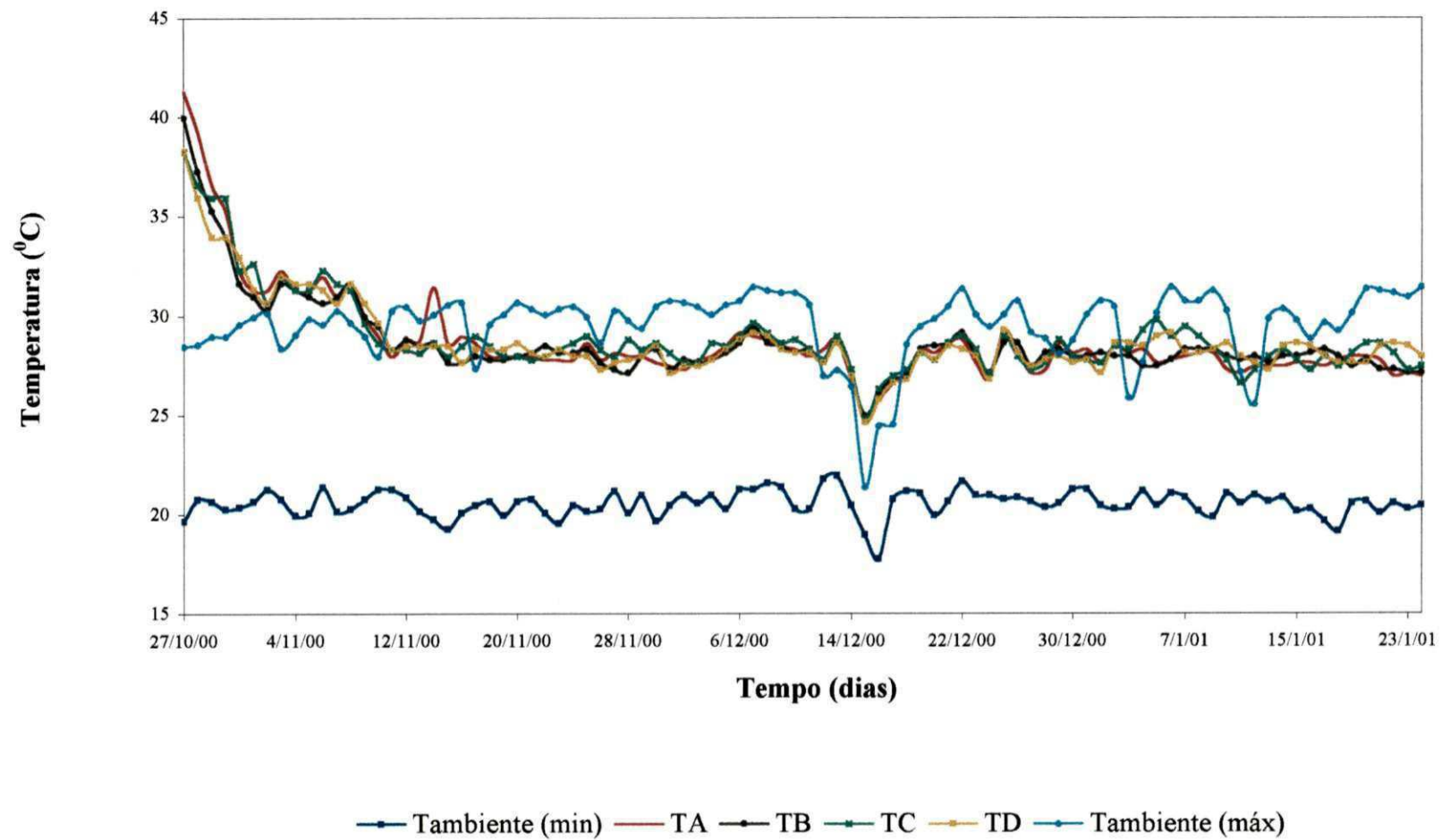


FIGURA 3.4 – Comportamento da evolução temporal das temperaturas médias das leiras de compostagem e das temperaturas ambientes (mínimas e máximas).

3.2.2. Teor de Umidade

Na Figura 3.2 mostra-se o comportamento das evoluções temporais do teor de umidade durante o período de monitoração do sistema experimental.

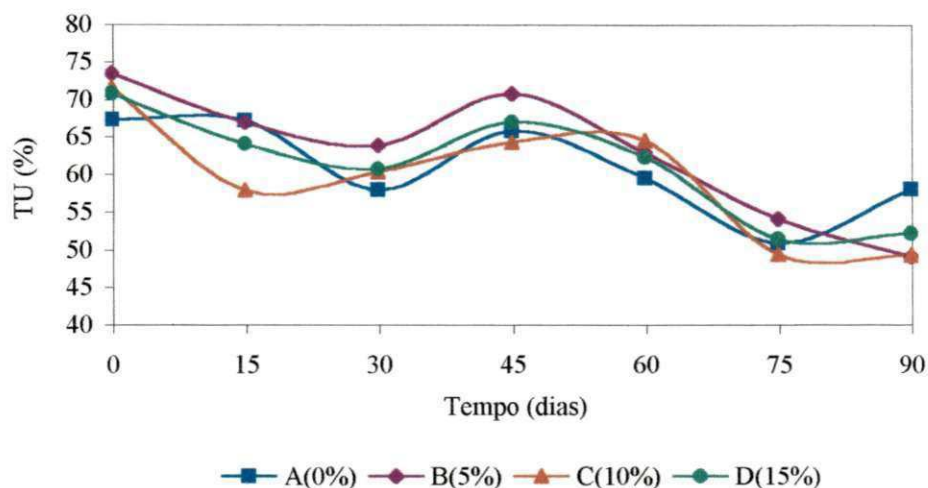


FIGURA 3.2 – Comportamento da evolução temporal dos valores médios do teor de umidade nas leiras de compostagem.

Analisando a Figura 3.2, percebe-se que as leiras apresentaram variações significativas do teor de umidade nos quatro tratamentos analisados.

O resultado da análise de variância do teor de umidade é mostrado na Tabela 3.4.

TABELA 3.4 – Análise de variância do Teor de Umidade

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	6	3327,68750	554,61456	15,4779 **
Tratamento (T)	3	370,66071	123,55357	3,4481 *
Interação (PxT)	18	889,08929	49,39385	1,3785 ns
Resíduo	56	2006,62500	35,83259	
Total	83	6594,06250		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 9,61

Os resultados apresentam efeitos significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, para o fator período de compostagem e 5% de probabilidade para o fator tratamento. Para a interação entre os fatores tratamento e período o teste

mostrou-se não-significativo, ou seja, as médias não diferem estatisticamente mostrando-se iguais pelo Teste F.

Na Tabela 3.5 apresentam-se os valores médios para o teor de umidade do substrato submetido a diferentes tratamentos e períodos de compostagem.

TABELA 3.5 – Evolução temporal dos valores médios do percentual do teor de umidade das leiras de compostagem.

TRATAMENTO (%)	VALORES MÉDIOS (%)
A-0	61,0 ab
B-5	63,0 ab
C-10	59,7 b
D-15	65,2a
PERÍODO (dias)	VALORES MÉDIOS (%)
P ₀	71,7 a
P ₁₅	62,2 b
P ₃₀	63,2 b
P ₄₅	67,6 ab
P ₆₀	63,9 b
P ₇₅	52,6 c
P ₉₀	54,3 c

As médias seguidas pela mesma letra dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Observando os dados da Tabela 3.5, para o fator tratamento observa-se que houve diferença estatística entre eles, o que mostra que as médias dos tratamentos A, B, C e D foram diferentes durante o período de monitoração do sistema experimental.

Salienta-se que a massa de resíduos sólidos orgânicos “*in natura*” utilizada para carregamento das leiras apresentava em média teor de umidade de 67,3%, valor este bem acima dos teoricamente recomendado por PEREIRA NETO (1998), que é de aproximadamente 60%.

Em relação ao fator período, os valores médios do percentual de umidade das leiras de compostagem diferiram estatisticamente. Observa-se na Tabela 3.5, que nos primeiros 30 dias (P₃₀) do processo houve redução do teor de umidade, assegurada pela constante aeração realizada e a elevada temperatura ambiente.

Ao longo do período de monitoração ocorreu redução significativa do teor de umidade, podendo ser constatado aos 75 dias, quando a massa de resíduos sólidos orgânicos em processo de bioestabilização, apresentava em média 51,5% de umidade.

3.2.3. Sólidos Totais Voláteis

Na Figura 3.3 representa-se o comportamento da evolução temporal dos sólidos totais voláteis nas leiras de compostagem.

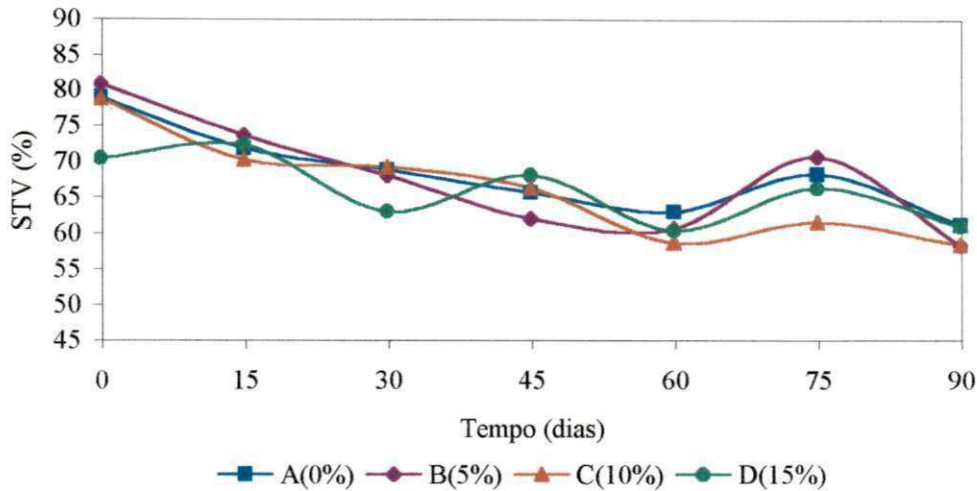


FIGURA 3.3 – Comportamento da evolução temporal dos valores médios dos sólidos totais voláteis nas leiras de compostagem.

Os resultados da análise de variância dos Sólidos Totais Voláteis são apresentados na Tabela 3.6.

TABELA 3.6 – Análise de variância dos Sólidos Totais Voláteis

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	6	2673,89575	445,64929	22,0266 **
Tratamento (T)	3	81,21726	27,07242	1,3381 ns
Interação (PxT)	18	452,28281	25,12682	1,2419 ns
Resíduo	56	1133,01038	20,23233	
Total	83	4340,40625		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 6,70

Os resultados apresentaram efeito significativo, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F, apenas para o fator período de compostagem. Para o fator tratamento e a interação período x tratamento o Teste F mostrou-se não significativo.

A Tabela 3.7 apresenta os valores médios do teor de sólidos totais voláteis dos resíduos submetidos a diferentes tratamentos e períodos de compostagem.

TABELA 3.7 – Evolução temporal dos valores médios do percentual dos sólidos totais voláteis das leiras de compostagem

TRATAMENTO (%)	VALORES MÉDIOS (%)
A-0	68,3 a
B-5	67,8 a
C-10	66,2 a
D-15	66,0 a
PERÍODO (dias)	VALORES MÉDIOS (%)
P ₀	77,2 a
P ₁₅	72,0 ab
P ₃₀	67,3 bc
P ₄₅	65,6 cd
P ₆₀	60,8 d
P ₇₅	66,8 bc
P ₉₀	59,8 d

As médias seguidas pela mesma letra dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Analisando a Tabela 3.7, pode-se constatar que o percentual de Sólidos Totais Voláteis não variou significativamente em relação aos tratamentos aplicados. Quanto ao período de monitoração, observa-se variações bastante significativas do percentual de Sólidos Totais Voláteis. No caso específico deste trabalho em que o percentual de STV na massa “*in natura*” para a fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos urbanos situava-se em torno de 78,9%, a redução média da massa de STV ao longo do período de monitoração foi de 22,5%.

3.2.4. Sólidos Totais Fixos

A Figura 3.4 representa o comportamento da evolução temporal dos Sólidos Totais Fixos nas leiras de compostagem.

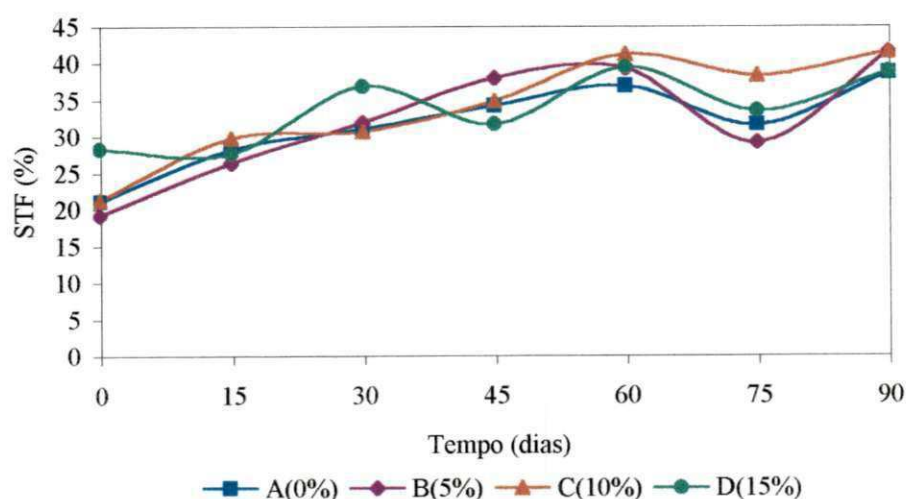


FIGURA 3.4 – Comportamento da evolução temporal dos valores médios de sólidos totais fixos nas leiras de compostagem

A análise de variância dos sólidos totais fixos é mostrada na Tabela 3.8.

TABELA 3.8 – Análise de variância dos valores médios dos Sólidos Totais Fixos

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	6	2772,89844	462,14975	23,9834 **
Tratamento (T)	3	80,09338	26,69779	1,3855 ns
Interação (PxT)	18	401,43787	22,30210	1,1574 ns
Resíduo	56	1079,09375	19,26953	
Total	83	4333,52344		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 13,32

Na Tabela 3.9 apresentam-se os resultados da análise de variância e os respectivos valores médios dos STF para os diferentes tipos de tratamento e os períodos de compostagem.

TABELA 3.9 – Evolução temporal média dos Sólidos Totais Fixos das leiras de compostagem

TRATAMENTO (%)	VALORES MÉDIOS (%)
A-0	31,7a
B-5	32,2a
C-10	34,0a
D-15	33,8a
PERÍODO (dias)	VALORES MÉDIOS (%)
P ₀	22,4d
P ₁₅	28,0c
P ₃₀	32,7bc
P ₄₅	34,8ab
P ₆₀	39,3a
P ₇₅	33,2bc
P ₉₀	40,2a

As médias seguidas pela mesma letra dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Analisando os dados da Tabela 3.9, observa-se que os valores médios da concentração de Sólidos Totais Fixos nos tratamentos não apresentaram diferenças significativas, ou seja, os tratamentos A, B, C, e D tiveram em média a mesma concentração de sólidos totais fixos. Em relação ao período de compostagem, observou-se que as médias da concentração de sólidos totais fixos apresentaram diferenças significativas pelo Teste de Tukey. No início do processo (P₀), a concentração de sólidos totais fixos apresentou-se reduzida, indicando a baixa quantidade de sólidos de origem inorgânica, o que pode ser comprovado pela maior quantidade de matéria

orgânica putrescível presente na massa de resíduos sólidos orgânicos das leiras de compostagem.

3.2.5. Potencial Hidrogeniônico (pH)

A Figura 3.5 apresenta o comportamento da evolução temporal do pH da massa de resíduos sólidos orgânicos nas leiras de compostagem durante os 90 dias de monitoramento do sistema experimental.

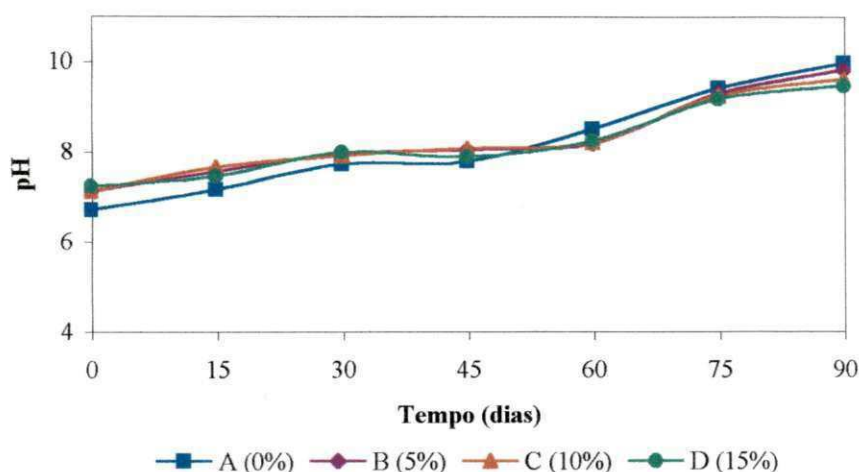


FIGURA 3.5 – Comportamento da evolução temporal do pH da massa de resíduo sólido orgânico nas leiras de compostagem.

A análise de variância do pH no processo de compostagem é mostrada no Tabela 3.10.

TABELA 3.10 – Análise de variância do pH no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	6	67,23861	11,20644	463,7636 **
Tratamento (T)	3	0,13881	0,04627	1,9148 ns
Interação (PxT)	18	1,77134	0,09841	4,0725 **
Resíduo	56	1,35319	0,02416	
Total	83	70,50195		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 1,88

Os resultados apresentados na Tabela 3.10 apresentaram efeitos significativos ao nível de 1% de probabilidade tanto para o fator período de compostagem, quanto

para a interação período x tratamento pelo Teste F, enquanto para o mesmo teste os tratamentos não apresentaram nível de significância.

A Tabela 3.11 apresenta os valores médios do potencial hidrogeniônico dos resíduos submetidos a diferentes tratamentos durante o período de compostagem.

TABELA 3.11 – Evolução temporal média do pH das leiras de compostagem

PERÍODO (dias)	TRATAMENTOS (%)			
	A-0	B-5	C-10	D-15
P₀	6,7 fB	7,1 eA	7,1 dA	7,2 cA
P₁₅	7,2 eB	7,6 dA	7,7 cA	7,5 cAB
P₃₀	7,7 dA	7,9 cA	7,9 bcA	8,0 bA
P₄₅	7,8 dA	8,1 cA	8,1 bA	7,9 bA
P₆₀	8,5 cA	8,2 cA	8,2 bA	8,3 bA
P₇₅	9,4 bA	9,3 bA	9,3 aA	9,2 aA
P₉₀	9,9 aA	9,8 aAB	9,6 aBC	9,5 aC

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula na coluna dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Analisando os dados da Tabela 3.11, observa-se que no início do processo (P₀) o valor médio do pH no tratamento A diferiu estatisticamente dos tratamentos B, C e D, enquanto que no término do processo (P₉₀), o tratamento D apresentou menor valor de pH, quando comparado com os demais tipos de tratamentos.

Em relação aos tratamentos, os dados da Tabela 3.11, mostram que houve diferenças significativas nos três tratamentos realizados. Observa-se que há aumento do pH na massa em processo de bioestabilização nas leiras de compostagem para os quatro tratamentos. Os valores médios obtidos de 9,9; 9,8; 9,6 e 9,5 para os tratamentos A, B, C e D respectivamente. no final do processo (P₉₀), estão dentro da faixa de pH moderadamente alcalino citado por PEREIRA NETO (1989), em se tratando de composto orgânico originário de resíduos sólidos orgânicos inoculado com lodo de esgoto.

3.2.6. Carbono Orgânico Total

A Figura 3.6 apresenta o comportamento da evolução temporal do Carbono Orgânico Total na massa de resíduos sólidos orgânicos das leiras de compostagem.

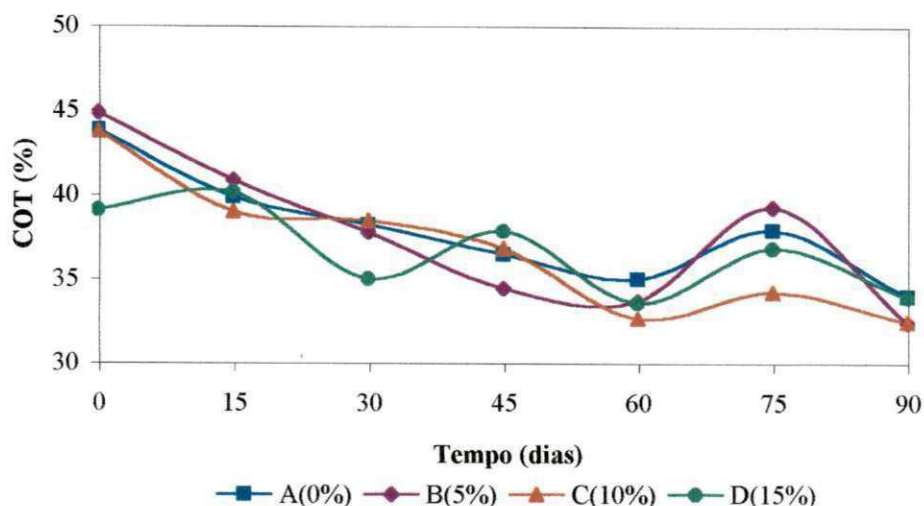


FIGURA 3.6 – Comportamento da evolução temporal dos valores médios de carbono orgânico total nas leiras de compostagem

O comportamento da Figura 3.6 mostra que houve redução da concentração de carbono orgânico total no material orgânico presente nas leiras de compostagem ao longo do período de estabilização da matéria orgânica.

A análise de variância dos resultados do percentual de carbono orgânico total é mostrada na Tabela 3.12.

TABELA 3.12 – Análise de variância do carbono orgânico total no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	6	825,62500	137,60417	22,0475 **
Tratamento (T)	3	25,11161	8,37054	1,3412 ns
Interação (PxT)	18	139,53423	7,75190	1,2420 ns
Resíduo	56	349,51041	6,24126	
Total	83	1339,78125		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 6,70

Os resultados da na Tabela 3.12 evidenciam efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F, apenas para o fator período de compostagem. Para o fator tratamento e a interação tratamento x período, o Teste F apresentou-se não significativo.

Na Tabela 3.13 apresentam-se os valores médios do teor de carbono orgânico total nos resíduos submetidos a diferentes tratamentos e períodos de compostagem.

TABELA 3.13 – Evolução temporal média de carbono orgânico total das leiras de compostagem

TRATAMENTO (%)	VALORES MÉDIOS (%)
A-0	37,9a
B-5	37,7a
C-10	36,8a
D-15	36,7a
PERÍODO (dias)	VALORES MÉDIOS (%)
P ₀	42,9a
P ₁₅	40,0ab
P ₃₀	37,4bc
P ₄₅	36,4cd
P ₆₀	33,8de
P ₇₅	37,1bc
P ₉₀	33,2e

As médias seguidas pela mesma letra dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Analisando os dados da Tabela 3.13, verifica-se que não houve diferença significativa entre as médias dos teores de carbono orgânico total, para os tratamentos A, B, C e D. O percentual de lodo de esgotos inoculado não influenciou a composição quantitativa do substrato em relação ao carbono orgânico total.

Em relação ao período de compostagem observa-se que os valores médios de carbono orgânico total decrescem ao longo do período experimental. A redução de COT foi em média de 22,6%. Os valores médios de carbono orgânico total apresentaram diferenças significativas, ou seja, o período de compostagem influenciou na redução da concentração de carbono orgânico total.

3.2.7. Nitrogênio Total Kjeldahl

A Figura 3.7 apresenta o comportamento da evolução temporal do nitrogênio total Kjeldahl nas leiras de compostagem.

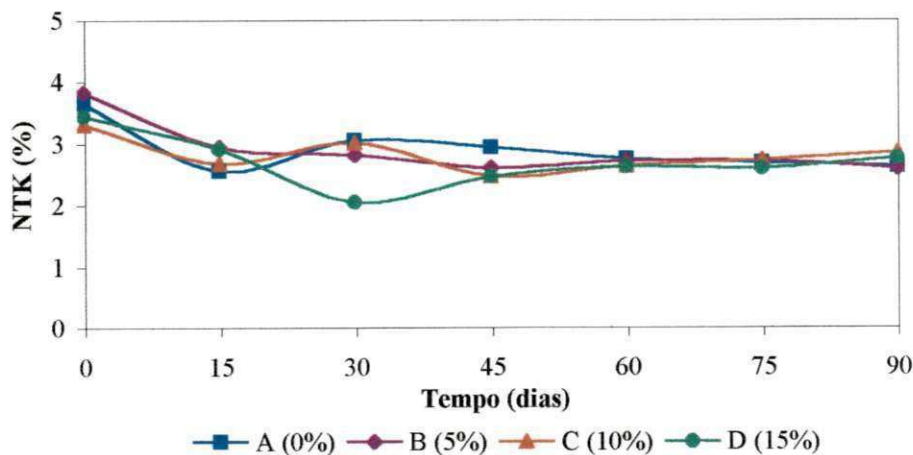


FIGURA 3.7 – Comportamento da evolução temporal do Nitrogênio Total Kjeldahl nas leiras de compostagem

O comportamento da Figura 3.7 mostra que não ocorreram significativas oscilações do teor de NTK nos resíduos em processo de bioestabilização. Apenas o tratamento D apresenta uma queda significativa nos 30 primeiros dias do processo, com relação aos demais tratamentos.

A análise de variância dos resultados de NTK é apresentada na Tabela 3.14.

TABELA 3.14 – Análise de variância do nitrogênio total Kjeldahl no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	6	7,55210	1,25868	15,8364 **
Tratamento (T)	3	0,54273	0,18091	2,2761 ns
Interação (PxT)	18	2,83292	0,15738	1,9802 *
Resíduo	56	4,45091	0,07948	
Total	83	15,37866		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 9,97

Os resultados mostrados na Tabela 3.14 apresentaram efeitos significativos ao nível de 1% de probabilidade para o fator período pelo Teste F, para o fator tratamento o Teste F não apresentou significância. A interação entre os fatores tratamento x período de compostagem apresentou-se significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

Na Tabela 3.15 apresentam-se os valores médios para o teor de NTK dos resíduos submetidos a diferentes tratamentos durante o período de compostagem.

TABELA 3.15 – Evolução temporal média do nitrogênio total Kjeldahl das leiras de compostagem

PERÍODO (dias)	TRATAMENTOS (%)			
	A-0	B-5	C-10	D-15
P₀	3,6 aA	3,8 aA	3,3 aA	3,4 aA
P₁₅	2,6 bA	2,9 bA	2,7 abA	2,9 abA
P₃₀	3,0 abA	2,8 bA	3,0 abA	2,0 cB
P₄₅	2,9 abA	2,6 bA	2,5 bA	2,5 bcA
P₆₀	2,8 ba	2,7 bA	2,6 abA	2,6 bcA
P₇₅	2,7 bA	2,7 bA	2,7 abA	2,6 bcA
P₉₀	2,6 bA	2,6 bA	2,9 abA	2,8 abA

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Os dados apresentados na Tabela 3.15 mostram que os tratamentos A, B, C e D não tiveram significativa redução do teor de NTK, apesar de ter ocorrido redução significativa no tratamento D nos 30 primeiros dias. Constatou-se que o teor de NTK dos tratamentos C e D não apresentou diferença estatística significativa ao nível de 5%

de probabilidade no final do processo (P₉₀). O que não pode ser dito sobre os tratamentos C e D em relação a testemunha A.

3.2.8. Relação Carbono/Nitrogênio

A Figura 3.8 representa o comportamento da evolução temporal da relação carbono/nitrogênio na massa de resíduo em processo de bioestabilização.

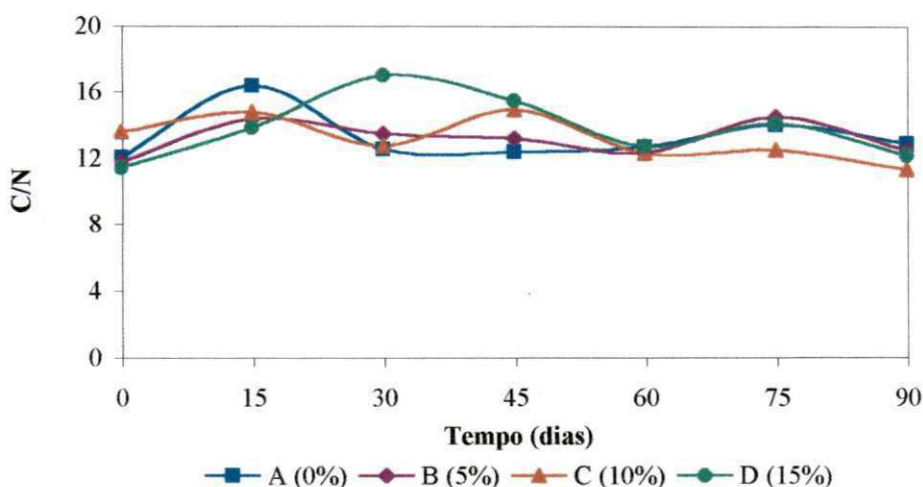


FIGURA 3.8 – Comportamento da evolução temporal da relação carbono nitrogênio nas leiras de compostagem

A análise de variância dos resultados obtidos para a relação carbono/nitrogênio é mostrada na Tabela 3.16.

TABELA 3.16 – Análise de variância da relação carbono/nitrogênio no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	6	77,03125	12,83854	4,5089 **
Tratamento (T)	3	6,34096	2,11365	0,7423 ns
Interação (PxT)	18	82,23717	4,56873	1,6045 ns
Resíduo	56	159,45410	2,84739	
Total	83	325,06348		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 12,61

Os resultados da Tabela 3.16 apresentaram efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade apenas para o fator período de compostagem, para o fator tratamento e a interação tratamento x período não houve significância pelo Teste F.

A Tabela 3.17 apresenta os valores médios para a relação carbono/nitrogênio nos resíduos submetidos a diferentes tratamentos e períodos de compostagem.

TABELA 3.17 – Evolução temporal dos valores médios da relação carbono/nitrogênio das leiras de compostagem

TRATAMENTO (%)	VALORES MÉDIOS (%)
A-0	13,3 a
B-5	13,2 a
C-10	13,2 a
D-15	13,8 a
PERÍODO (dias)	VALORES MÉDIOS (%)
P ₀	12,2 b
P ₁₅	14,8 a
P ₃₀	14,0 ab
P ₄₅	14,0 ab
P ₆₀	12,5 b
P ₇₅	13,8 ab
P ₉₀	12,3 b

As médias seguidas pela mesma letra dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Os dados da Tabela 3.17 mostram que não houve diferença estatística entre os tratamentos, ou seja, o percentual de lodo utilizado como inoculo não influenciou na relação carbono/nitrogênio do processo de bioestabilização.

Com relação ao período de compostagem, observa-se que as médias da relação C/N, apresentaram diferenças significativas pelo Teste Tukey. No início do processo (P₀) a relação C/N estava em torno de 12/1, o que é considerada uma relação bastante baixa a ser utilizada no processo de bioestabilização aeróbia de resíduos sólidos orgânicos. A baixa relação C/N na massa de resíduos sólidos orgânicos utilizada neste trabalho é justificada pelo percentual de NTK presente nos resíduos orgânicos vegetais e do lodo de esgoto sanitário utilizados na preparação do substrato. No final do processo (P₉₀) a relação C/N (12/1) apresentou-se dentro da faixa recomendada por PEREIRA NETO (1987) para composto orgânico, que é de 10/1 a 15/1.

3.2.9. Fósforo Total

A Figura 3.9 representa o comportamento da evolução temporal do fósforo total nas leiras de compostagem.

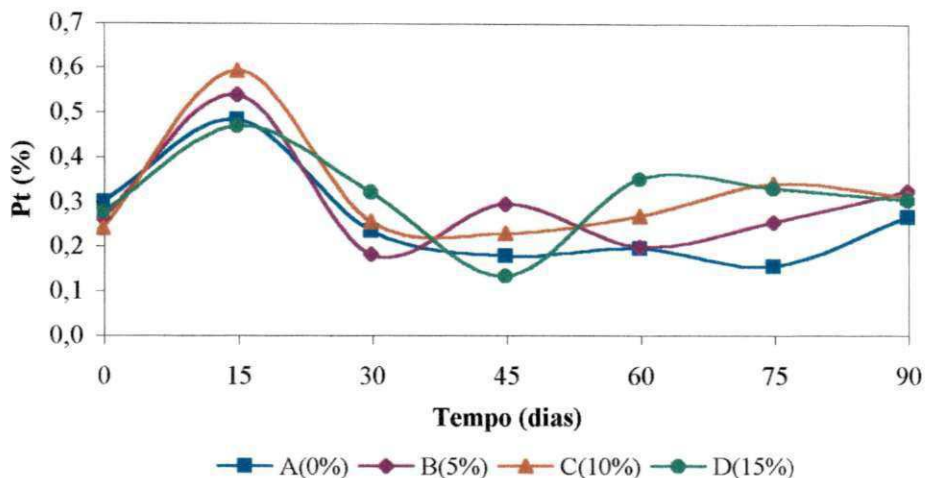


FIGURA 3.9 – Comportamento da evolução temporal do fósforo total nas leiras de compostagem

Dentre os parâmetros (variáveis respostas) analisados neste trabalho o fósforo total foi o que apresentou maiores oscilações ao longo do período de bioestabilização da matéria orgânica, conforme mostrado na Figura 3.9.

A análise de variância dos resultados do fósforo total é apresentada na Tabela 3.18.

TABELA 3.18 – Análise de variância da concentração de fósforo total no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	6	0,76074	0,12679	34,3233 **
Tratamento (T)	3	0,04603	0,01534	4,1533 *
Interação (PxT)	18	0,18409	0,01023	2,7686 **
Resíduo	56	0,20686	0,00369	
Total	83	1,19772		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 20,42

Os resultados da análise de variância do fósforo total apresentaram efeito significativo ao nível de 5% para o fator tratamento pelo Teste F, para o fator período de compostagem e a interação período x tratamento o Teste F apresentou-se significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A Tabela 3.19 apresenta os valores médios para a concentração de fósforo total dos resíduos submetidos a diferentes tratamentos e períodos de compostagem.

TABELA 3.19– Evolução temporal dos valores médios do fósforo total das leiras de compostagem

PERÍODO (dias)	TRATAMENTOS (%)			
	A-0	B-5	C-10	D-15
P ₀	0,30 bA	0,26 bA	0,24 bA	0,28 bcA
P ₁₅	0,48 aA	0,54 aA	0,59 aA	0,47 Aa
P ₃₀	0,23 bAB	0,18 bB	0,25 bAB	0,32 abA
P ₄₅	0,18 bAB	0,29 bA	0,23 bAB	0,13 cB
P ₆₀	0,20 bB	0,20 bB	0,27 bAB	0,35 abA
P ₇₅	0,15 bB	0,26 bAB	0,34 bA	0,33 abA
P ₉₀	0,27 bA	0,33 bA	0,31 bA	0,31 bA

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula na coluna dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

A análise dos dados da Tabela 3.19 demonstra que houve diferenças significativas para a interação tratamento x período de compostagem. Em relação aos tratamentos utilizados, o que apresentou maior concentração de fósforo total no composto foi o tratamento B (5% de lodo de esgoto sanitário), seguido pelos tratamentos C (10%) e D (15%).

Em relação ao período de compostagem observa-se que houve aumento da concentração de fósforo total nos tratamentos B, C e D.

3.2.10. Demanda Química de Oxigênio

A Figura 3.10 representa o comportamento da evolução temporal da demanda química de oxigênio nas leiras de compostagem.

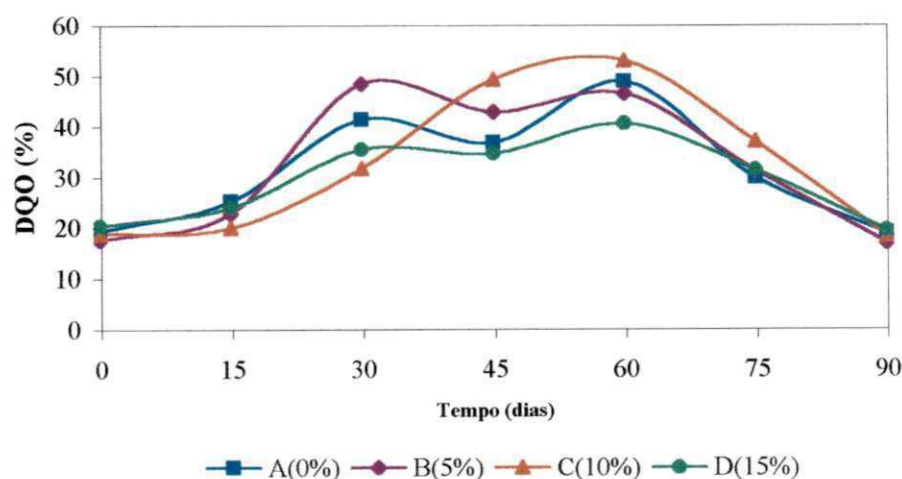


FIGURA 3.10 – Comportamento da evolução temporal da demanda química de oxigênio nas leiras de compostagem

A análise de variância dos resultados obtidos para a DQO é apresentada na Tabela 3.20.

TABELA 3.20 – Análise de variância da DQO no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	6	9613,33105	1602,22180	47,5873 **
Tratamento (T)	3	132,44531	44,14844	1,3112 ns
Interação (PxT)	18	1140,40857	63,35603	1,8817 *
Resíduo	56	1885,47131	33,66913	
Total	83	12771,65625		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 18,4

Os resultados da DQO apresentaram efeito significativo ao nível de 1% para o período de compostagem pelo Teste F e ao nível de 5% de probabilidade para a interação tratamento x período. Enquanto que o tratamento não se mostrou significativo pelo teste F.

A Tabela 3.21 apresenta os valores médios para a concentração de DQO nos resíduos submetidos a diferentes tratamentos durante o período de compostagem.

TABELA 3.21 – Evolução temporal dos valores médios da demanda química de oxigênio das leiras de compostagem

PERÍODO (dias)	TRATAMENTOS (%)			
	A-0	B-5	C-10	D-15
P ₀	19,3 dA	17,4 cA	18,8 dA	20,2 cdA
P ₁₅	25,2 cdA	22,7 cA	19,8 dA	23,9 bcdA
P ₃₀	41,4 abAB	48,4 aA	31,7 cdB	35,5 abB
P ₄₅	36,8 abcAB	42,9 abAB	49,3 abA	34,7 abcB
P ₆₀	48,9 aA	46,5 aA	53,1 aA	40,6 aA
P ₇₅	29,9 bcdA	31,4 bcA	37,1 bcA	31,4 abcdA
P ₉₀	18,9 dA	17,0 cA	18,4 dA	19,48 dA

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula na coluna dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

A Tabela 3.21 mostra as interações entre o tratamento e o período de compostagem. Observa-se que há variação da concentração de DQO nos tratamentos A, B, C e D ao longo do período de compostagem. Houve diferença estatística significativa durante o processo de bioestabilização entre tratamento e período para DQO, como mostra a concentração de DQO no período P₃₀ onde o tratamento B apresentou maior DQO seguido pelos tratamentos A, D e C.

3.3. Exames Microbiológicos do Substrato

3.3.1. Coliformes totais (CT)

A Figura 3.11 representa o comportamento da evolução temporal da concentração de coliformes totais nas leiras de compostagem.

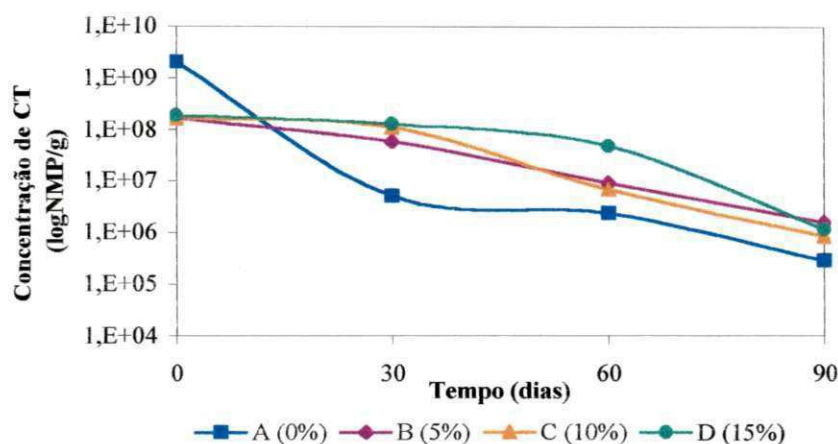


FIGURA 3.11 – Comportamento da evolução temporal da concentração de coliformes totais nas leiras de compostagem

A Figura 3.11 mostra que houve redução da concentração de coliformes totais nas leiras submetidas ao processo de compostagem ao longo do período experimental de 10^9 a 10^5 (NMP/g) no tratamento A, de 10^8 a 10^5 (NMP/g) nos tratamentos B, C e D.

A análise de variância dos resultados da concentração de coliformes totais está apresentada na Tabela 3.22.

TABELA 3.22 – Análise de variância da concentração de coliformes totais no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	3	55,39592	18,46531	40,2879 **
Tratamento (T)	3	2,22925	0,74308	1,6213 ns
Interação (PxT)	9	9,68742	1,07638	2,3485 *
Resíduo	32	14,66667	0,45833	
Total	47	81,97925		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 9,87

Os resultados apresentados na Tabela 3.22 mostram efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F para o fator período de compostagem e efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade para a interação período x tratamento. Para o fator tratamento o Teste F mostrou-se não significativo.

Na Tabela 3.23, apresenta-se os valores médios para a concentração de coliformes totais dos resíduos submetidos a diferentes tratamentos e durante os períodos d compostagem.

TABELA 3.23 – Evolução temporal dos valores médios dos coliformes totais no processo de compostagem

PERÍODO (dias)	TRATAMENTOS (%)			
	A-0	B-5	C-10	D-15
P ₀	9,0 aA	8,0 aA	8,0 aA	8,0 aA
P ₃₀	6,3 bB	7,3 aAB	8,0 aA	7,7 aAB
P ₆₀	5,7 bB	6,7 abAB	6,3 bAB	7,3 aA
P ₉₀	5,0 bA	5,7 bA	5,3 bA	5,3 bA

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula na coluna dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

A análise dos dados da Tabela 3.23 mostra que houve diferenças significativas para a interação tratamento x período de compostagem. Em relação ao período observa-se que houve relativa diminuição da concentração de coliformes totais nos quatro tratamentos analisados. Em relação aos tratamentos o que apresentou maior diminuição da concentração de coliformes totais foi o tratamento A, seguido dos tratamentos B, C e D.

O período de compostagem influenciou no decréscimo da concentração de coliformes totais nos tratamentos analisados, apesar dos valores médios no final do processo (P₉₀), não diferirem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey.

3.3.2. Coliformes fecais (CF)

A Figura 3.12 representa o comportamento da evolução temporal da concentração de coliformes fecais nas leiras de compostagem.

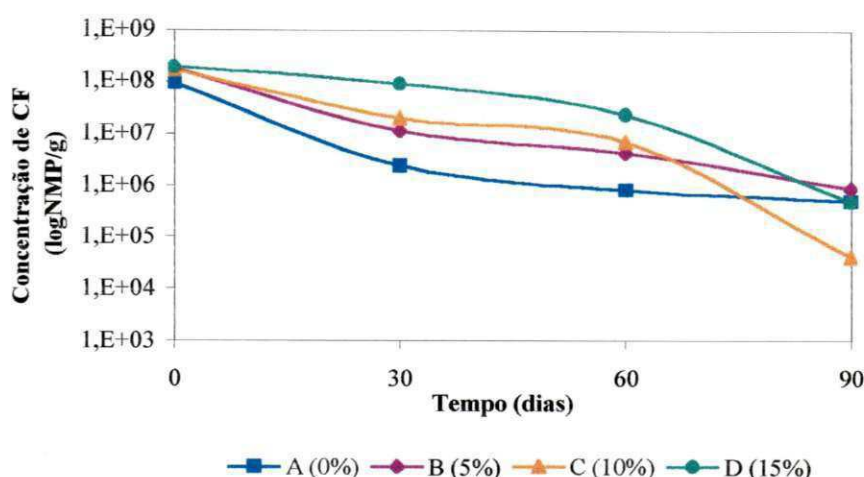


FIGURA 3.12 – Comportamento da evolução temporal da concentração de coliformes fecais nas leiras de compostagem

A Figura 3.12 mostra que houve decréscimo na concentração de coliformes fecais nas leiras submetidas ao processo de compostagem ao longo do período de bioestabilização. O tratamento A apresentou um decaimento de 10^7 para 10^5 (NMP/g), nos tratamentos B e D os coliformes fecais decaíram de 10^8 para 10^5 (NMP/g), já o tratamento C foi responsável pelo maior decaimento de coliformes fecais, cuja concentração inicial foi de 10^8 e a final 10^4 (NMP/g). Embora a eficiência de remoção de coliformes totais tenha sido alta, superior a 99%, constata-se ainda uma elevada densidade remanescente destes microorganismos no final do processo de bioestabilização, podendo indicar perigo potencial na utilização do produto final, o composto, uma vez que PEREIRA NETO (1988) recomenda uma densidade de coliformes fecais no composto maturado inferior a 10^2 (NMP/g).

A análise de variância dos resultados da concentração de coliformes fecais está apresentada na Tabela 3.24.

TABELA 3.24 – Análise de variância da concentração de coliformes fecais no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	3	46,06250	15,35417	25,4138 **
Tratamento (T)	3	4,56250	1,52083	2,5172 ns
Interação (PxT)	9	5,85417	0,65046	1,0766 ns
Resíduo	32	19,33333	0,60417	
Total	47	75,81250		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 11,8

Os resultados apresentados na Tabela 3.24 mostram que houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F apenas para o fator período de compostagem. Para o fator tratamento e a interação período x tratamento o Teste F apresentou-se não significativo.

A Tabela 3.25 apresenta o valor médio da concentração de coliformes fecais presentes nos resíduos submetidos a diferentes tratamentos e períodos de compostagem.

TABELA 3.25 – Evolução temporal dos valores médios dos coliformes fecais no processo de compostagem

TRATAMENTO (%)	VALORES MÉDIOS (%)
A-0	6,2 a
B-5	6,7 a
C-10	6,4 a
D-15	7,0 a
PERÍODO (dias)	VALORES MÉDIOS (%)
P ₀	7,9 a
P ₃₀	6,8 b
P ₆₀	6,4 b
P ₉₀	5,2 c

As médias seguidas pela mesma letra dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Analisando os dados da Tabela 3.25, verifica-se que não houve diferença significativa para os valores médios da concentração de coliformes fecais para os tratamentos A, B, C e D.

Em relação ao período de compostagem observa-se que os valores médios da concentração de coliformes fecais apresentaram diferença estatística significativa, decrescendo ao longo do processo de compostagem de 10^8 para 10^5 (NMP/g), o que não representa a sanitização do composto. As baixas temperaturas atingidas nas leiras de compostagem não permitiram a redução da concentração de coliformes fecais para 10^2 (NMP/g), no composto como recomenda PEREIRA NETO (1988).

MERCEDES (1993) em seu trabalho de contribuição ao estudo da eliminação de organismos patogênicos na compostagem de lixo urbano, obteve maior decaimento dos coliformes fecais, que no início do processo apresentava 10^9 (NMP/g) decaindo para 10^4 no final do processo de compostagem.

3.3.3. *Escherichia coli* (EC)

Dentre os parâmetros microbiológicos analisados neste trabalho, a concentração de *Escherichia coli* foi o que apresentou maior decaimento ao longo do período de bioestabilização, conforme mostrado na Figura 3.13.

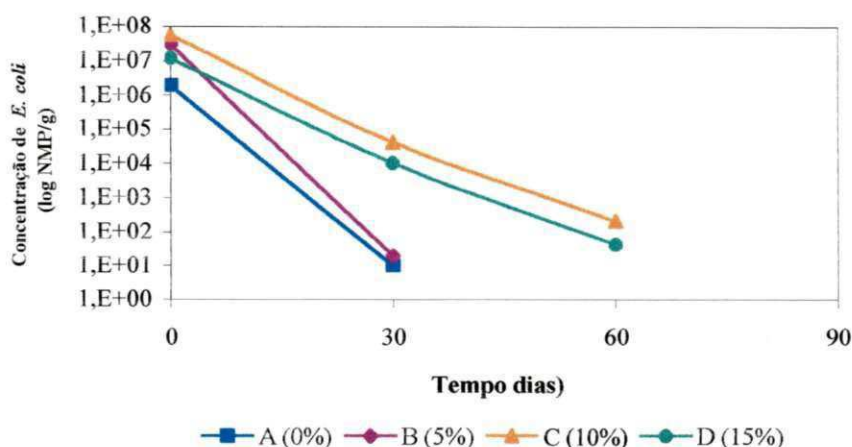


FIGURA 3.13 – Comportamento da evolução temporal da concentração de *Escherichia coli* nas leiras de compostagem

O comportamento da Figura 3.13 mostra que houve redução quase total da concentração de *Escherichia coli* nos resíduos submetidos ao processo de bioestabilização durante o período experimental. O que mostra a baixa resistência destes microrganismos ao processo de bioestabilização, uma vez que não foi atingida a faixa ideal de temperatura para a fase termofílica (55 a 60°C) recomendada por PEREIRA NETO (1989).

A análise de variância dos resultados da concentração de *Escherichia coli* esta apresentada na Tabela 3.26.

TABELA 3.26 – Análise de variância da concentração de *Escherichia coli* no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	3	352,22916	117,40972	187,8556 **
Tratamento (T)	3	20,89582	6,96527	11,1444 **
Interação (PxT)	9	18,35418	2,03935	3,2630 **
Resíduo	32	20,00000	0,62500	
Total	47	411,47916		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 32,9

Analisando os resultados dos valores estatísticos apresentados na Tabela 3.26, constata-se que ocorreu variação significativa ao nível de 1% para o período, tratamento e respectiva interação entre período e tratamento pelo Teste F.

A Tabela 3.27 apresenta os valores médios para a concentração de *Escherichia coli* nos resíduos submetidos ao processo de compostagem durante o período experimental.

TABELA 3.27 – Evolução temporal dos valores médios de *Escherichia coli* no processo de compostagem

PERÍODO (dias)	TRATAMENTOS (%)			
	A-0	B-5	C-10	D-15
P ₀	6,0 aA	7,0 aA	7,7 aA	6,7 aA
P ₃₀	0,0 bB	1,0 bB	4,3 bA	3,3 bA
P ₆₀	0,0 bA	0,0 bA	1,7 cA	0,0 cA
P ₉₀	0,0 bA	0,0 bA	0,0 cA	0,0 cA

As médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas linhas e minúscula na coluna dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

A análise dos dados da Tabela 3.27 mostra que houve diferenças significativas para a interação período x tratamento. Em relação ao período de compostagem observa-se que houve quase total redução da concentração de *Escherichia coli* nos quatro tratamentos A, B, C e D. Em relação aos tratamentos observa-se que os tratamentos A, B e D logo nos primeiros 30 dias (P₃₀) já não apresentavam *Escherichia coli*. O tratamento C removeu totalmente a *Escherichia coli* apenas nos primeiros 60 dias do processo de compostagem.

PEREIRA NETO (1988) em seu trabalho monitoramento da eliminação de organismos patogênicos durante a compostagem do lixo urbano e lodo de esgoto pelo sistema de pilhas estáticas aeradas, encontrou redução da densidade de *Escherichia coli* de 10⁷ para valores menores que 10² (NMP/g). Essa eficiência de remoção de *E. coli* no final do processo pode ser mostrada pelas elevadas temperaturas atingidas nas leiras estudadas por PEREIRA NETO (1988). No presente trabalho foi atingido níveis inferiores, embora com temperaturas mais baixas.

3.3.4. Estreptococos fecais (EF)

A Figura 3.14 mostra a evolução temporal da concentração de estreptococos fecais nas leiras de compostagem ao longo do processo de bioestabilização.

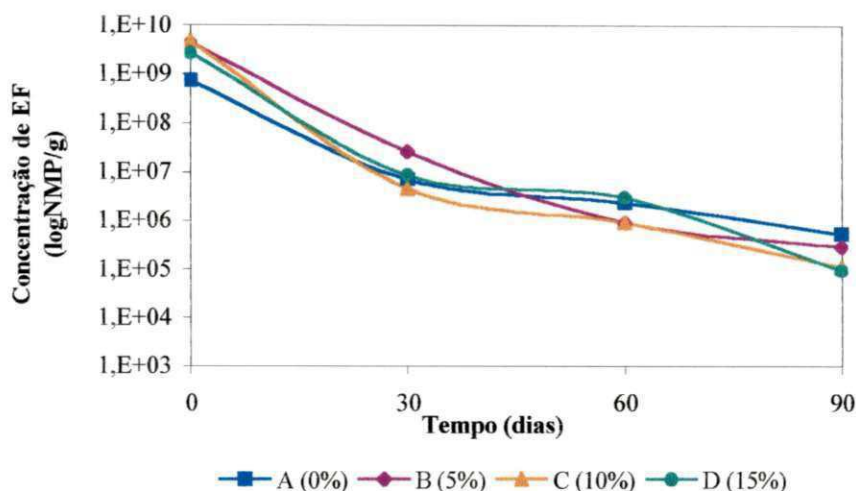


FIGURA 3.14 – Evolução temporal das concentrações médias de estreptococos fecais nos resíduos durante o processo de compostagem.

Analisando a Figura 3.14 observa-se que houve um acentuado decaimento da concentração de estreptococos fecais apresentando eficiência de remoção superior a 99% ao longo do processo de compostagem em todos os tratamentos utilizados. Resultados semelhantes de redução de estreptococos fecais foram encontrados por MERCEDES (1993) e PEREIRA NETO, STENTIFORD & MARA (1987), cujas remoções foram também superiores a 99%.

Analisando comparativamente o comportamento da evolução temporal de coliformes totais, fecais, *Escherichia coli* e estreptococos fecais, constata-se que todos apresentaram um bom decréscimo ao longo do período de bioestabilização. No entanto, observa-se que o decaimento dos estreptococos fecais foi mais acentuado, embora mais lento, o que comprova a maior resistência destes microrganismos às condições apresentadas nas leiras de compostagem, podendo estes ser determinados como melhores indicadores de contaminação na massa de resíduos compostada.

A análise de variância dos resultados das concentrações de estreptococos fecais está apresentada na Tabela 3.28.

TABELA 3.28 – Análise de variância da concentração de estreptococos fecais no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	3	115,16666	38,38889	131,6190 **
Tratamento (T)	3	0,83333	0,27778	0,9524 ns
Interação (PxT)	9	4,66667	0,51852	1,7778 ns
Resíduo	32	9,33333	0,29167	
Total	47	130,00000		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 8,3

Os resultados da análise de variância apresentaram efeito significativo ao nível de 1% pelo Teste F apenas para o fator período de compostagem. O fator tratamento e a interação período tratamento apresentaram-se não significativos pelo Teste F.

Na Tabela 3.29, apresenta-se os valores médios para a concentração de estreptococos fecais dos resíduos submetidos a diferentes tratamentos e períodos de compostagem.

TABELA 3.29 – Evolução temporal dos valores médios dos estreptococos fecais no processo de compostagem.

TRATAMENTO (%)	VALORES MÉDIOS (%)
A-0	6,4 a
B-5	6,7 a
C-10	6,3 a
D-15	6,6 a
PERÍODO (dias)	VALORES MÉDIOS (%)
P ₀	9,0 a
P ₃₀	6,5 b
P ₆₀	5,6 c
P ₉₀	4,9 d

As médias seguidas pela mesma letra dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Analisando os dados da Tabela 3.29, verifica-se que não houve diferença significativa para as médias da concentração de estreptococos fecais, para os tratamentos A, B, C e D, ou seja, o percentual de lodo inoculado em cada tratamento não influenciou no decaimento deste microrganismo, pois a densidade de estreptococos fecais presentes na fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos foi de 10^8 (NMP/g), enquanto que no lodo foi de 10^6 (NMP/g), mostrando que a contaminação do substrato deve-se ao resíduo sólido urbano.

Em relação ao período de compostagem observa-se que os valores médios da concentração de estreptococos fecais apresentaram diferença estatística, decrescendo ao longo do período experimental.

3.3.5. Bactérias Heterótrofas Mesófilas incubadas a 35°C (BHM35°C).

A Figura 3.15 mostra a evolução temporal da concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas incubadas a temperatura de 35°C nas leiras de compostagem ao longo do processo de bioestabilização.

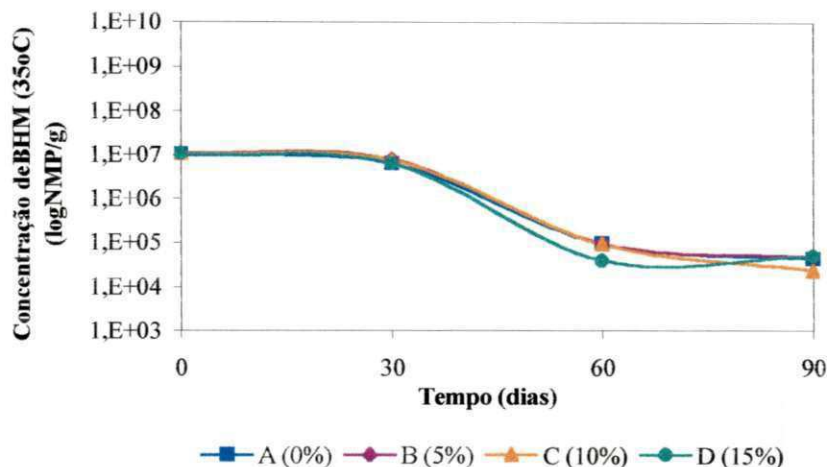


FIGURA 3.15 – Evolução temporal das concentrações médias de Bactérias Heterótrofas Mesófilas 35°C nos resíduos durante o processo de compostagem.

A Figura 3.15 mostra que houve decaimento das Bactérias Heterótrofas Mesófilas 35°C ao longo do processo de compostagem. No entanto, percebe-se que o decaimento mais acentuado ocorreu a partir de 30 dias do início do processo.

A análise de variância dos resultados da concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas 35°C está apresentada na Tabela 3.30.

TABELA 3.30 – Análise de variância da concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas 35°C no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	3	88,89579	29,63193	67,7301 **
Tratamento (T)	3	0,72913	0,24304	0,5555 ns
Interação (PxT)	9	3,85421	0,42825	0,9788 ns
Resíduo	32	14,00000	0,43750	
Total	47	107,47913		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 12,54

Os resultados da análise de variância apresentaram efeito significativo ao nível de 1% pelo Teste F apenas para o fator período de compostagem. O fator tratamento e a interação período tratamento apresentaram-se não significativos pelo Teste F.

Na Tabela 3.31, apresentam-se os valores médios para a concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas 35°C dos resíduos submetidos a diferentes tratamentos e períodos de compostagem.

TABELA 3.31 – Evolução temporal dos valores médios da concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas 35°C no processo de compostagem

TRATAMENTO (%)	VALORES MÉDIOS (%)
A-0	5,3 a
B-5	5,4 a
C-10	5,1 a
D-15	5,2 a
PERÍODO (dias)	VALORES MÉDIOS (%)
P ₀	7,0 a
P ₃₀	6,2 b
P ₆₀	4,2 c
P ₉₀	3,7 c

As médias seguidas pela mesma letra dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Analisando os dados da Tabela 3.31, verifica-se que não houve diferença significativa para as médias das concentrações de Bactérias Heterótrofas Mesófilas 35°C para os tratamentos utilizados neste trabalho, o que afirma que não há influência do percentual de lodo inoculado no decaimento destes microrganismos.

Em relação ao período observa-se que os valores médios da concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas (35°C) apresentaram diferença estatística, decrescendo mais acentuadamente a partir dos 30 dias de compostagem, uma vez que a temperatura média das leiras estudadas neste trabalho esteve em torno de 30°C não oferecendo condições de um melhor desenvolvimento destes microrganismos na massa de resíduo em compostagem.

3.3.6. Bactérias Heterótrofas Mesófilas incubadas a 45°C (BHM 45°C)

A Figura 3.16 mostra a evolução temporal da concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas incubadas a temperatura de 45°C nas leiras de compostagem ao longo do processo de bioestabilização.

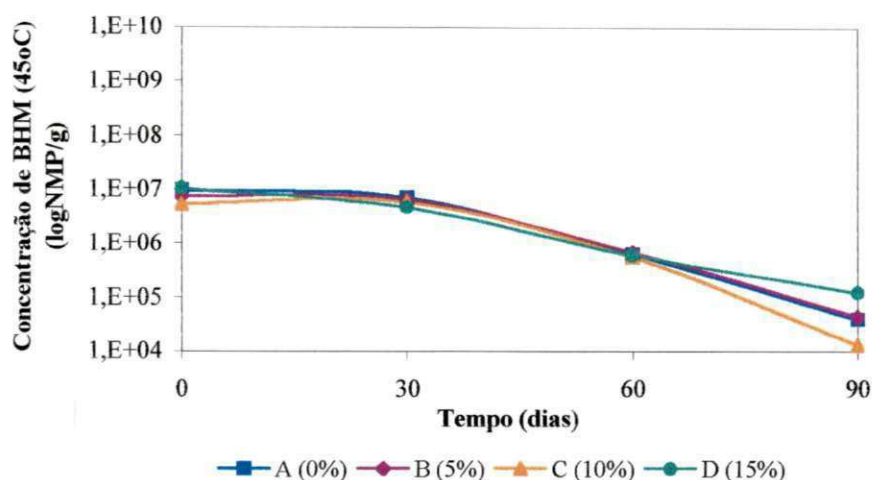


FIGURA 3.16 – Evolução temporal das concentrações médias de Bactérias Heterótrofas Mesófilas 45°C nos resíduos durante o processo de compostagem.

A Figura 3.16 mostra que houve decaimento das Bactérias Heterótrofas Mesófilas 45°C ao longo do processo de compostagem. No entanto, percebe-se que o decaimento mais acentuado ocorreu a partir de 60 dias do início do processo.

A análise de variância dos resultados da concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas 45°C está apresentada na Tabela 3.32.

Os resultados da análise de variância apresentaram efeito significativo ao nível de 1% pelo Teste F apenas para o fator período de compostagem. O fator tratamento e a interação período tratamento apresentaram-se não significativos pelo Teste F.

TABELA 3.32 – Análise de variância da concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas (45°C) no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	3	45,08329	15,02776	28,8533 **
Tratamento (T)	3	1,74996	0,58332	1,1200 ns
Interação (PxT)	9	2,41671	0,26852	0,5156 ns
Resíduo	32	16,66667	0,52083	
Total	47	65,91663		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 13,63

TABELA 3.32 – Análise de variância da concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas (45°C) no processo de compostagem.

QUADRO DE ANÁLISE				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Período (P)	3	45,08329	15,02776	28,8533 **
Tratamento (T)	3	1,74996	0,58332	1,1200 ns
Interação (PxT)	9	2,41671	0,26852	0,5156 ns
Resíduo	32	16,66667	0,52083	
Total	47	65,91663		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

CV% = 13,63

Na Tabela 3.33, apresentam-se os valores médios para a concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas (45°C) dos resíduos submetidos a diferentes tratamentos e períodos de compostagem.

TABELA 3.33 – Evolução temporal dos valores médios da concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas (45°C) no processo de compostagem

TRATAMENTO (%)	VALORES MÉDIOS (%)
A-0	5,4 a
B-5	5,2 a
C-10	5,0 a
D-15	5,5 a
PERÍODO (dias)	VALORES MÉDIOS (%)
P ₀	6,2 a
P ₃₀	6,1 a
P ₆₀	5,0 b
P ₉₀	3,8 c

As médias seguidas pela mesma letra dentro de cada fator, não diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

Analisando os dados da Tabela 3.33, verifica-se que não houve diferença significativa para as médias das concentrações de Bactérias Heterótrofas Mesófilas (45°C) para os tratamentos utilizados neste trabalho, o que afirma que não há influência do percentual de lodo inoculado no decaimento destes microrganismos.

Em relação ao período observa-se que os valores médios da concentração de Bactérias Heterótrofas Mesófilas (45°C) apresentaram diferença estatística, decrescendo mais acentuadamente a partir dos 60 dias de compostagem, por se tratar de microrganismos mais resistentes às variações de temperatura, além de que a partir dos 60 dias do início da compostagem começa um aumento da densidade de fungos na massa de resíduos em processo de bioestabilização, podendo até inibir o desenvolvimento destas Bactérias.

3.3.7. Fungos Totais

A Figura 3.17 mostra a evolução temporal da concentração dos Fungos Totais nas leiras de compostagem ao longo do processo de bioestabilização.

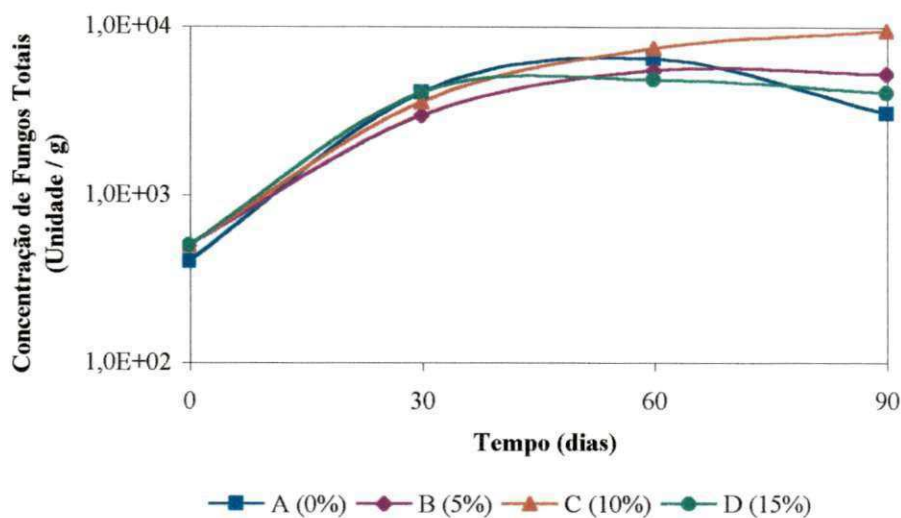


FIGURA 3.17 – Evolução temporal das concentrações médias dos Fungos Totais nos resíduos durante o processo de compostagem.

A Figura 3.17 mostra que houve acréscimo na concentração de Fungos Totais ao longo do processo de compostagem, o que segundo PEREIRA NETO (1989) comprova o fato de os fungos povoarem a massa em compostagem na fase final do processo. No entanto, percebe-se que houve um decaimento nas leiras A e D a partir de 60 dias do início do processo, podendo ser percebido através da presença de Bactéria Heterótrofa Mesófilas ainda neste período, o que pode gerar um processo de competição.

A análise de variância dos resultados da concentração de Fungos Totais está apresentada na Tabela 3.34.

Os resultados da análise de variância indicaram um efeito significativo ao nível de 1% pelo Teste F apenas para o fator tratamento. O fator período e a interação período x tratamento apresentaram-se não significativos pelo Teste F.

A diversidade de fungos esteve representada por 13 variedades, sendo 12 de fungos filamentosos e 1 de fungo leveduriforme (*Candida krusei*). A maior diversidade ocorreu no Tratamento D, com maior concentração de lodo. No Tratamento A, constituído apenas da fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos observou-se a menor diversidade, o que indica que o lodo estimula a maior diversidade na massa de resíduos em compostagem.

Houve predominância do gênero *Aspergillus* com 3 espécies (*A niger*, *A flavus* e *A teneus*). A espécie mais freqüente foi *Aspergillus niger*, que é um fungo cosmopolita, presente em todas as amostras de todos os tratamentos, seguido do segundo mais freqüente, *Aspergillus flavus* que também é cosmopolita e ubiqüitário.

Os fungos aumentaram bastante nas leiras em compostagem após 60 dias do início do processo, indicando que havia condições apropriadas para o crescimento e o desenvolvimento destes microorganismos.

A maioria dos fungos encontrada neste trabalho é típica de ambientes poluídos. Segundo CEBALLOS (1995) pode-se fazer associação de diferentes gêneros de bolores e leveduras com poluição, expressa como concentração de indicadores fecais, de matéria orgânica ou de nutrientes inorgânicos.

O aumento da colonização fungica a partir de 60 dias do início do processo de bioestabilização indicaria que a colonização das leiras ocorre entre o fim da fase ativa e o início da fase de maturação. Na última fase do processo, durante e após a maturação da leira, a maior biodiversidade de fungos pode estar associada também à presença de resíduos de mais difícil biodegradação bacteriana, como celulose, lignina, hemiceluloses, etc. Muitos destes fungos podem produzir substâncias com propriedades antibióticas que dificultam a recolonização das leiras ou do composto por bactérias especialmente patogênicas.

Entretanto, são escassos os estudos de quantificação e de diversidade de fungos em leiras de compostagem sendo difícil encontrar referências bibliográficas a respeito. Identificações mais acuradas poderiam ser feitas na fase inicial do isolamento e estudo de novas espécies e/ou de suas atividades enzimáticas de valor biotecnológico.

3.4. Balanço de Massa

3.4.1. Balanço de Massa de Carbono Orgânico Total (COT)

Na Tabela 3.37 apresenta-se os valores das diversas frações de massa de Carbono Orgânico Total advindos da aplicação do Balanço de Massa

TABELA 3.37 – Massa de carbono orgânico total em suas diversas frações.

Tratamento	Massa Aplicada (g)	Massa Acumulada (g)	Massa Transformada (g)	Eficiência de Transformação (%)
A (0%)	1429,3	413,0	1016,3	71,4
B (5%)	1192,0	249,3	942,6	78,7
C (10%)	1237,0	407,6	829,3	66,9
D (15%)	989,0	289,6	699,3	69,5

Analisando os dados da Tabela 3.37, constatou-se que o percentual de lodo de esgoto sanitário utilizado como inóculo, não influenciou a eficiência de transformação de massa de COT aplicada. Possivelmente este fato pode ser explicado pela disponibilidade de Carbono e nutrientes presentes na fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos vegetais advindos da EMPASA, além de apresentarem também uma significativa densidade de microrganismos, não quantitativamente muito diferente do que apresentou o lodo de esgoto sanitário.

A Figura 3.18 apresenta a eficiência de transformação da concentração de COT nas leiras de compostagem, em função da percentagem em peso do inóculo utilizado na preparação do substrato.

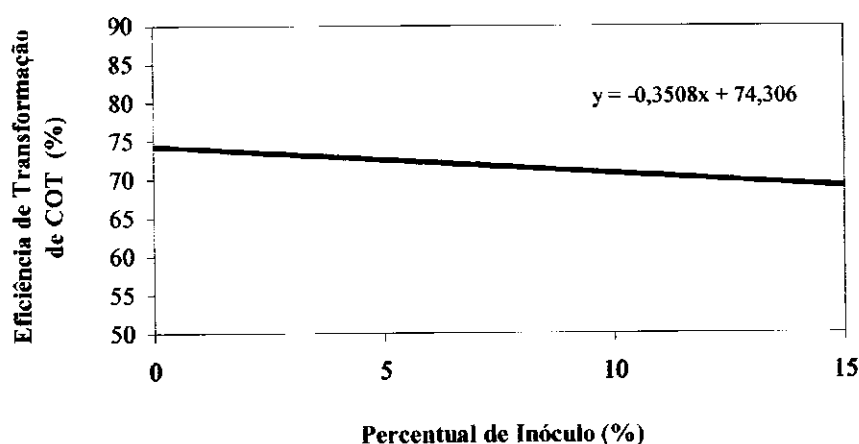


FIGURA 3.18 – Comportamento da eficiência de transformação da massa de Carbono Orgânico Total em função do percentual de lodo inoculado.

3.4.2. Balanço de Massa de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)

A Tabela 3.38 apresenta os dados correspondentes a cada fração de massa de Nitrogênio Total Kjeldahl.

TABELA 3.38 – Massa de Nitrogênio Total Kjeldahl em suas diversas frações.

Tratamento	Massa Aplicada (g)	Massa Acumulada (g)	Massa Transformada (g)	Eficiência de Transformação (%)
A (0%)	119,00	32,33	86,67	73,38
B (5%)	101,67	20,00	81,67	79,70
C (10%)	93,00	35,67	57,33	60,86
D (15%)	86,67	24,00	62,67	71,15

Verifica-se na Tabela 3.38 que durante o processo de compostagem a massa de NTK da leira A (testemunha absoluta) e do substrato (B, C e D) sofreu transformação no decorrer do período experimental. Observa-se também, que o percentual em peso do lodo inoculado à fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos influenciou na eficiência de transformação de NTK. A qual variou de 60,86 a 79,70%, sendo a leira com 5% de lodo (B) responsável pela eficiência de transformação mais representativa.

A Figura 3.19 representa o comportamento da eficiência de transformação de NTK, em função da percentagem em peso de lodo utilizado como inóculo.

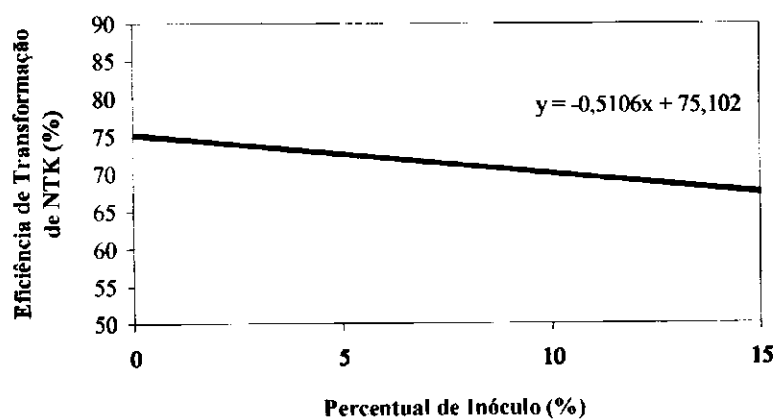


FIGURA 3.19 – Comportamento da eficiência de transformação da massa de Nitrogênio Total Kjeldahl em função do percentual de lodo inoculado.

3.4.3. Balanço de Massa de Fósforo Total

A Tabela 3.39 apresenta os dados correspondentes a cada fração de massa de fósforo total.

TABELA 3.39 – Massa de Fósforo Total em suas diversas frações.

Tratamento	Massa Aplicada (g)	Massa Acumulada (g)	Massa Transformada (g)	Eficiência de Transformação (%)
A (0%)	8,67	3,00	5,67	63,11
B (5%)	8,67	2,33	6,34	70,44
C (10%)	9,00	4,00	5,00	55,44
D (15%)	8,00	2,33	5,67	65,13

Analisando os dados da Tabela 3.39 observa-se que durante o período de bioestabilização, a concentração de fósforo sofreu significativa transformação. Sendo que o tratamento B (5%) apresentou maior eficiência de transformação.

A Figura 3.20 mostra o comportamento da eficiência de transformação da concentração de fósforo total e o percentual de lodo utilizado como inoculo nos tratamentos A, B, C e D.

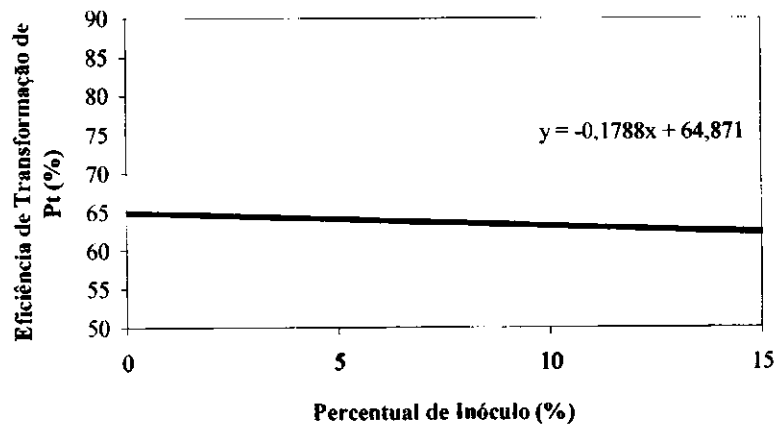


FIGURA 3.20 – Comportamento da eficiência de transformação de Fósforo Total em função do percentual de lodo inoculado.

3.5. Eficiência de Remoção de Microrganismos

A Tabela 3.40 apresenta a eficiência de remoção dos microrganismos, cujos valores foram obtidos entre cada coleta e entre o início e o final do processo de compostagem.

TABELA 3.40 – Eficiência de remoção de microrganismos ao longo do processo de compostagem

TRATAMENTO	PARÂMETRO			
	COLIFORMES TOTAIS (CT)			
	1/2 (%)	2/3 (%)	3/4 (%)	1/4 (%)
A	99,90	0,00	90,00	99,99
B	90,00	90,00	0,00	99,00
C	0,00	99,00	90,00	99,90
D	0,00	90,00	90,00	99,00
	COLIFORMES FECAIS (CF)			
	1/2 (%)	2/3 (%)	3/4 (%)	1/4 (%)
	A	90,00	90,00	0,00
B	90,00	90,00	90,00	99,90
C	90,00	90,00	99,00	99,99
D	90,00	0,00	99,00	99,90
	ESTREPTOCOCOS FECAIS (EF)			
	1/2 (%)	2/3 (%)	3/4 (%)	1/4 (%)
	A	99,00	0,00	90,00
B	99,00	99,00	0,00	99,99
C	99,90	90,00	0,00	99,99
D	99,90	0,00	99,00	100,00
	ESCHERICHIA COLI (EC)			
	1/2 (%)	2/3 (%)	3/4 (%)	1/4 (%)
	A	100,00	0,00	0,00
B	100,00	100,00	0,00	100,00
C	99,90	99,00	100,00	100,00
D	99,99	99,00	100,00	100,00
	BACTÉRIAS HETERÓTROFAS MESÓFILAS 35°C (BHM)			
	1/2 (%)	2/3 (%)	3/4 (%)	1/4 (%)
	A	90,00	99,00	0,00
B	90,00	99,00	0,00	99,90
C	90,00	99,00	0,00	99,90
D	90,00	90,00	0,00	99,90
	BACTÉRIAS HETERÓTROFAS MESÓFILAS 45°C (BHM)			
	1/2 (%)	2/3 (%)	3/4 (%)	1/4 (%)
	A	0,00	90,00	90,00
B	0,00	90,00	90,00	99,00
C	0,00	90,00	90,00	99,00
D	90,00	90,00	0,00	99,00

1/2- intervalo entre a 1ª e a 2ª coleta; 2/3- intervalo entre a 2ª e a 3ª coleta; 3/4- intervalo entre a 3ª e a 4ª coleta; 1/4- intervalo entre a 1ª e a 4ª coleta.

CAPÍTULO IV

CONCLUSÕES

- ❖ a compostagem de resíduos sólidos urbanos combinado com lodo de esgoto sanitário, em leiras na escala de 10kg, mostrou eficiência na bioestabilização da matéria orgânica.
- ❖ a presença de materiais com elevado teor de lignina, na fração orgânica putrescível dos resíduos sólidos, a pequena quantidade de massa utilizada e o elevado teor de umidade foram fatores que podem ter influenciado nos níveis relativamente baixos da temperatura alcançados nas leiras de compostagem.
- ❖ dentre os parâmetros físicos e químicos analisados houve efeito significativo para a interação período de compostagem e percentagem de lodo de esgoto, nos seguintes: pH, Nitrogênio Total Kjeldahl, Fósforo Total e Demanda Química de Oxigênio.
- ❖ ficou constatado que nos quatro tratamentos houve eficiência de transformação das massas de Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Total Kjeldahl e Fósforo Total.
- ❖ no processo de compostagem utilizando 5% (percentagem em peso) de lodo de esgoto sanitário houve a maior eficiência de transformação das massas de COT, NTK e Pt.
- ❖ dentre os parâmetros microbiológicos analisados houve efeito significativo para a interação período de compostagem e percentagem de lodo de esgoto apenas para coliformes totais e *Escherichia coli*.
- ❖ o percentual de lodo inoculado não influenciou no decaimento bacteriano, uma vez que a eficiência de remoção de microrganismos foi alta e muito semelhante em todos os tratamentos utilizados.
- ❖ os tratamentos apresentaram uma concentração residual de microrganismos elevada (superior a 10^2 NMP/g) no final do processo, o que pode ter sido causado pelos baixos valores de temperatura atingidos nas leiras em compostagem.

CAPÍTULO V

RECOMENDAÇÕES

As principais recomendações obtidas após a análise de resultados deste trabalho são as seguintes:

- ❖ Aplicar em maior escala a codisposição de resíduos sólidos urbanos e resíduos sólidos de esgoto sanitário, objetivando elevar os valores de temperatura atingidos nas leiras em compostagem e conseqüentemente uma melhor sanitização do composto.
- ❖ Avaliar o decaimento de coliformes totais, fecais, *Escherichia coli* e estreptococos fecais, para definir o melhor indicador de contaminação fecal no composto orgânico.
- ❖ Acompanhar o desenvolvimento de fungos durante o processo de compostagem, buscando informações sobre quantidade e diversidade dos mesmos e de uma provável função indicadora da fase do processo.

CAPÍTULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR - 10.004-
Resíduos Sólidos - Classificação. São Paulo, 63p., 1987.

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR - 8419-
**Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos-
Procedimento**. Rio de Janeiro, 13p., 1984.

APHA – AWWA – WPCF – **Standard Methods for the Examination of Water and
Wastewater**. American Public Health 19^a Edition, Washington D.C, 1995.

APHA – AWWA – WPCF – **Standard Methods for the Examination of Water and
Wastewater**. American Public Health 20^a Edition, Washington D.C, 1998.

BIDONE, F. R. A & POVINELLI, J. – **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São
Carlos: EESC/USP, 120p, 1999.

BOLLEN, G. J. – **The Fate of Plant Pathogen During Composting of Crop
Residues**. Seminar on Composting Agricultural and Other Wastes. Oxford, 11p,
1984.

BONNET, B. R. P. ; LARA, de A. I. & DOMASZAK, S. C. – **Companhia de
Saneamento do Paraná – Manual de Métodos para Análises Microbiológicas e
Parasitológicas em Reciclagem Agrícola de Lodo de Esgoto – SANEPAR, 80p.,
1998.**

CEBALLOS, B. S. de – **Utilização de Indicadores Microbiológicos na Tipologia de
Ecossistemas Aquáticos do Trópico Semi-Árido**. Tese (Doutorado).
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP, 192p, 1995.

CERQUEIRA, L. – **A Ousadia de Integrar Governo, Técnica e Sociedade**. Rev. Saneamento Ambiental , nº 67, p 24-32, 1999.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Legislação de Conservação da Natureza**, 4ªedição. São Paulo, FBCN/CESP, 1996.

EPSTEIN, E. – **Technical Aspects of Composting for a Desinfection Process: An Overview**. Energy Res. Comp. Inc. Cambridge, MA, 1978.

FERNANDES, F. & SILVA, da M. C. P. – **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos** – PROSAB, 84p, 1999.

FINSTEIN, M. S. – **Composting Microbial Ecosystem: Implications for Desing and Control**. Biocycle, vol 21(4), pp. 25-27, 1980.

GOLUEKE, C. G. – **Biological Processing: Composting and Hydrolisis Solid Waste Management**. V. N. Reinholds Company, pp. 197-225, 1977.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS/CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**, São Paulo, 278 p., 1996.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário Estatístico do Brasil**, Brasília, 1996.

KELLOG, S. R. – **Sludge Management Changing times**. Pollution Engineering, v. 21, nº. 12, 1989.

KIEHL, E. J. – **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres Ltda, 161p., 1985.

KIEHL, E. J. – **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do composto**. Piracicaba: Ed. E. J. Kiehl, 171p. , 1998.

- KUTER, G. A – **Biosolids Composting**. Water Environmental Federation, Alexandria, VA, 187p. , 1995.
- LELIS, M.P.N. – **Reintegração Ambiental de Resíduos Sólidos e Urbanos**, Revista Ação Ambiental, ano I, nº1,p32, Agosto/Setembro, 1998.
- LEITE, V. D. – **Processo de Tratamento Anaeróbio de Resíduos Sólidos Urbanos Inoculados com lodo de Esgoto Industrial**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos – SP, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 1997.
- LEITE, V. D. e LOPES, W. S. – **Estudos de Impactos ambientais causados pelo Lixão da Cidade de Campina Grande (PB)**. Relatório do PIBIC/CNPQ/UEPB,1998.
- LEITE, V. D. – **Origem e Composição dos Resíduos Sólidos**. Curso: Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.Brochura, 55p, 1998.
- LIMA, L. M. – **LIXO - Tratamento e Biorremediação**. 3ªedição. Editora Hemus, São Paulo, 265p. , 1995.
- MERCEDES, S. S. P. – **Contribuição ao Estudo da Eliminação de Organismos Patogênicos na Compostagem de Lixo Urbano**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 1993.
- MILLER, F. C. – **Composting of Municipal Solid Waste and its Components – Microbiology of Solid Waste**. Edited by Anna C. Palmisano and Morton A. Barlaz, p 115-154, 1996.
- NAKASAKI, K.; SASAKI, M. ; SHODA, M. & KUBOTA, H. – **Changes in Microbial Numbers During Termofilic Composting of Sewage Sludge with Reference to CO₂ Evaluation Rate**. Applied and Environmental Microbiology, 49 (1), p 37-41, 1985.

NÓBREGA, C. C. – **Estudo e Avaliação de um método híbrido de aeração forçada para compostagem em leiras**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 1991.

OBENG, L. A & WRIGHT, W. F. – **The Co-Composting of Domestic Solid and Human Wastes**. World Bank Technical, vol. 57, 101p., 1987.

OHLWEILER, O A – **Química Analítica Quantitativa**. 3ª ed. Rio de Janeiro: LTC. 1981. p. 98-99.

PEREIRA NETO, J. T. – **On the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Using Aerated Static Pile Composting – A Low Cost Tecnology Approach**. Tese de PhD. Leeds University, Inglaterra, 376p. , 1987.

PEREIRA NETO, J. T. – **Monitoramento da Eliminação de Organismos Patogênicos durante a Compostagem do Lixo Urbano e Lodo de Esgoto pelo Sistema de Pilhas Estáticas Aeradas**. Revista de Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro – Brasil, vol. 27, p. 148-152. , 1988.

PEREIRA NETO, J. T. – **Conceitos modernos de Compostagem**. Trabalho publicado na Revista Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro – Brasil, vol. 28, p 104-109. , 1989.

PEREIRA NETO, J. T. – **Maturação de Compostos Orgânicos**. Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal/RN- Brasil, 1993.

PEREIRA NETO, J. T. – **Lixo Urbano no Brasil: Descaso, Poluição Irreversível e Mortalidade Infantil**. Revista Ação Ambiental, Ano I, nº 1, 1998.

POLPRASERT, C. – **Organic Waste Recycling**. Thailand: Asian Institute of Technology, p. 63-103, 1989.

- REZENDE, A. A. P. & PEREIRA NETO, J. T. – **Estudo e Avaliação da Eficiência de uma Usina Dano de Compostagem: processo de produção do composto.** Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal/RN-Brasil, 1993.
- SCHALCH, V. – **Curso: Resíduos Sólidos. Operação, Manutenção e Gerenciamento.** Brochura. Maceió/AL-Brasil, 227p., 1991.
- SILVA, F.de A. S. - **The ASSISTAT Software: statistical assistance,** In: Internacional Conference on Computers in Agricultural Engineers, p. 294-298. , 1996.
- SMITH, A. L. - **Fundamentos de Microbiologia 8ª ed.,** The C. V. Mosby Company, S. Louis, Trad. Eduardo A. Esquerre e J. A. Ferrer, Ediciones de universidad de navarra. Colecion Ciências médicas, Pamplona, 914p, 1980.
- STENTIFORD, E. I. & PEREIRA NETO, J. T. – **Compostagem de Lodo de Esgotos: Uma Alternativa para Países Industrializados.** Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal/RN- Brasil, 1993.
- STENTIFORD, E. I.; PEREIRA NETO, J. T. & MARA, D. D. – **Low Cost Composting.** Research Monograph nº 4. University of Leeds, 50p. , 1996.
- STROM, P. F. – **Identification of Termophilic Bactéria in Solid Waste Composting.** Applied and Environmental Microbiology, 50 (4): 906-913.

ANEXO I

TABELA 1 – Variação temporal média dos dados de temperatura das leiras de compostagem e das temperaturas mínimas e máximas ambiente.

DATA	TEMPERATURA (°C)					
	T _{ambiente (min)}	T _A	T _B	T _C	T _D	T _{ambiente (max)}
27/10/00	19,7	41	40	38	38	28,5
28/10/00	20,8	39	37	37	36	28,6
29/10/00	20,7	37	35	36	34	29,0
30/10/00	20,3	35	34	36	34	29,0
31/10/00	20,4	32	32	32	33	29,6
01/11/00	20,7	31	31	33	31	30,0
02/11/00	21,3	31	30	31	31	30,2
03/11/00	20,8	32	32	32	32	28,4
04/11/00	20,0	31	31	31	32	29,1
05/11/00	20,1	31	31	31	32	29,9
06/11/00	21,4	32	31	32	31	29,6
07/11/00	20,2	31	31	32	31	30,3
08/11/00	20,3	32	32	31	32	29,7
09/11/00	20,8	30	30	30	31	29,0
10/11/00	21,3	29	30	29	30	28,0
11/11/00	21,3	28	28	28	28	30,3
12/11/00	20,9	29	29	28	29	30,5
13/11/00	20,2	29	29	28	29	29,8
14/11/00	19,8	32	29	29	29	30,1
15/11/00	19,3	29	28	28	29	30,6
16/11/00	20,1	29	28	29	28	30,7
17/11/00	20,5	29	28	29	28	27,4
18/11/00	20,7	28	28	29	28	29,6
19/11/00	20,0	28	28	28	28	30,1
20/11/00	20,7	28	28	28	29	30,7
21/11/00	20,8	28	28	28	28	30,4
22/11/00	20,1	28	29	28	28	30,1
23/11/00	19,6	28	28	28	28	30,4
24/11/00	20,5	28	28	29	28	30,5
25/11/00	20,2	29	28	29	28	30,0
26/11/00	20,3	28	28	28	27	28,7
27/11/00	21,2	28	27	28	28	30,3
28/11/00	20,1	28	27	29	28	29,8
29/11/00	21,0	28	28	28	28	29,4
30/11/00	19,7	28	28	29	29	30,5
01/12/00	20,5	28	27	28	27	30,8
02/12/00	21,0	27	28	28	28	30,7
03/12/00	20,6	28	28	28	28	30,5
04/12/00	21,0	28	28	29	28	30,1
05/12/00	20,3	29	28	29	28	30,6
06/12/00	21,3	29	29	29	29	30,8

Continuação

DATA	TEMPERATURA (°C)					
	T _{ambiente (min)}	T _A	T _B	T _C	T _D	T _{ambiente (max)}
07/12/00	21,3	29	30	30	29	31,5
08/12/00	21,6	29	29	29	29	31,3
09/12/00	21,4	29	29	29	28	31,2
10/12/00	20,3	28	28	29	28	31,2
11/12/00	20,3	28	28	28	28	30,6
12/12/00	21,8	28	28	28	28	27,0
13/12/00	22,0	29	29	29	29	27,3
14/12/00	20,5	27	27	27	27	26,5
15/12/00	19,0	25	25	25	25	21,4
16/12/00	17,8	26	26	26	26	24,5
17/12/00	20,8	27	27	27	27	24,6
18/12/00	21,2	27	27	27	27	28,6
19/12/00	21,1	28	28	28	28	29,5
20/12/00	20,0	28	29	28	28	29,9
21/12/00	20,7	29	29	29	29	30,5
22/12/00	21,7	29	29	29	28	31,4
23/12/00	21,0	28	28	28	28	30,1
24/12/00	21,0	27	27	27	27	29,5
25/12/00	20,8	29	29	29	29	30,1
26/12/00	20,9	28	29	28	28	30,8
27/12/00	20,7	27	28	27	28	29,2
28/12/00	20,4	27	28	28	28	28,9
29/12/00	20,6	29	28	29	28	28,1
30/12/00	21,3	28	28	28	28	28,8
31/12/00	21,3	28	28	28	28	30,1
01/01/01	20,5	28	28	28	27	30,8
02/01/01	20,3	29	28	29	29	30,5
03/01/01	20,4	28	28	28	29	25,9
04/01/01	21,2	28	28	29	29	27,7
05/01/01	20,5	28	28	30	29	30,2
06/01/01	21,1	28	28	29	29	31,5
07/01/01	20,9	28	28	30	28	30,8
08/01/01	20,2	28	28	29	28	30,8
09/01/01	19,9	28	28	28	28	31,3
10/01/01	21,1	27	28	28	29	30,3
11/01/01	20,6	27	28	27	28	27,2
12/01/01	21,0	28	28	27	28	25,6
13/01/01	20,7	28	28	28	27	29,9
14/01/01	20,9	28	28	28	29	30,4
15/01/01	20,2	28	28	28	29	29,8
16/01/01	20,3	28	28	27	29	28,9
17/01/01	19,7	28	28	28	28	29,7

Continuação

DATA	TEMPERATURA (°C)					
	T _{ambiente (min)}	T _A	T _B	T _C	T _D	T _{ambiente (max)}
18/01/01	19,2	28	28	28	28	29,3
19/01/01	20,6	28	28	28	28	30,2
20/01/01	20,7	28	28	29	28	31,4
21/01/01	20,1	28	27	29	29	31,3
22/01/01	20,6	27	27	28	29	31,2
23/01/01	20,3	27	27	27	29	31,0
24/01/01	20,5	27	27	28	28	31,5