

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
PRÓ-REITORIA PARA ASSUNTOS DO INTERIOR  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ESTUDO E AVALIAÇÃO DE UM MÉTODO HÍBRIDO DE AERAÇÃO  
FORÇADA PARA COMPOSTAGEM EM LEIRAS

*Claudia Coutinho Nóbrega*

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA  
1991

---

ESTUDO E AVALIAÇÃO DE UM MÉTODO HÍBRIDO DE AERAÇÃO  
FORÇADA PARA COMPOSTAGEM EM LEIRAS

POR

*Claudia Coutinho Nóbrega*

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação 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

Orientador : JOÃO TINÔCO PEREIRA NETO

Co-Orientador : SALOMÃO ANSELMO SILVA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

1991



N754e Nobrega, Claudia Coutinho  
Estudo e avaliacao de um metodo hibrido de aeracao forçada para compostagem em leiras / Claudia Coutinho Nobrega. - Campina Grande, 1991.  
115 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Residuos Solidos 2. Engenharia Sanitaria 3. Compostagem 4. Lixo Organico 5. Dissertacao I. Pereira Neto, Joao Tinoco II. Silva, Salomao Anselmo III. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 628.312.1(043)

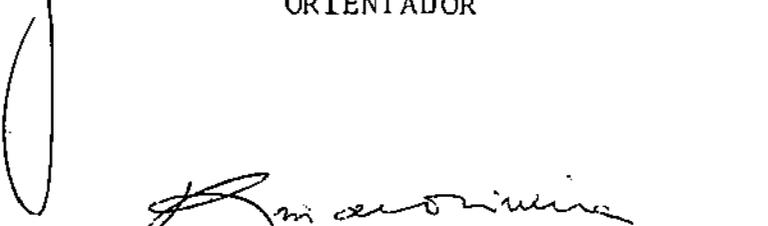
ESTUDO E AVALIAÇÃO DE UM MÉTODO HÍBRIDO DE AERAÇÃO  
FORÇADA PARA COMPOSTAGEM EM LEIRAS

CLAUDIA COUTINHO NÓBREGA

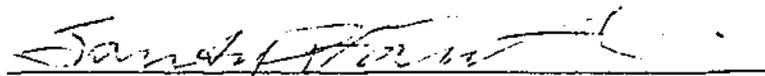
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 07/ 03 /1991.



ORIENTADOR



EXAMINADOR INTERNO



EXAMINADOR EXTERNO

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

1991

## AGRADECIMENTOS

. Ao Professor João Tinôco Pereira Neto, pela sua amizade e orientação deste trabalho.

. À Universidade Federal de Viçosa, por ter permitido a execução deste trabalho.

. Aos funcionários do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental - LESA, da Universidade Federal de Viçosa, pelo auxílio prestado durante os experimentos.

. Aos professores da Área de Engenharia Sanitária - AESA da Universidade Federal da Paraíba, pelos ensinamentos prestados durante o Curso.

. Aos funcionários da Área de Engenharia Sanitária - AESA da Universidade Federal da Paraíba, pela colaboração prestada no decorrer do Curso.

. A Amélia Maria Melo Coutinho, Maria de Fátima Coutinho Souza e Maria Guadalupe Melo Coutinho pela colaboração prestada neste trabalho.

. A todos que de alguma forma, direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A meu pai, minha mãe e irmãos.

## RESUMO

Os sistemas de Leiras Estáticas Aeradas - Aeração Forçada - tem se constituído um dos mais eficientes processos, de baixo custo, para o tratamento de resíduos orgânicos (lixo urbano, lodos de esgoto, etc.). (SCHULZE, 1981).

Os modos de aeração nas leiras de compostagem são por injeção de ar (modo positivo) e por sucção de ar (modo negativo), sendo que, o modo positivo, de acordo com FINSTEIN *et alii* (1984) é o que apresenta mais vantagem. Entretanto, muito ainda pode ser feito para melhoria do processo no que concerne a eliminação de patógenos e aumento da degradação da matéria orgânica.

Este trabalho teve como objetivo estudar e avaliar os métodos de aeração existentes e propor um modo híbrido (alternando os modos positivo e negativo, em ciclos), cuja finalidade seria aumentar a eficiência do processo.

Durante a pesquisa, foram montadas sete leiras de compostagem: duas, sob o modo positivo; duas, sob o modo negativo e três sob o modo híbrido.

A matéria-prima utilizada foi a fração orgânica do lixo urbano da cidade de Belo Horizonte-MG, triturado, com partículas de 20 a 50mm, "*in natura*". A Tabela 3.1 apresenta a composição do lixo utilizado.

A avaliação da eficiência de cada modo de aeração foi

realizada através de análises físicas (densidade e temperatura), físico-químicas (teor de umidade, sólidos voláteis, carbono orgânico total e pH); químicas (nitrogênio total); bacteriológicas (determinação de estreptococos fecais), além de outras observações diárias como: aparência, odor, cor, atração de vetores, etc.

Na comparação entre os modos de aeração constatou-se que o modo híbrido desenvolvido neste estudo, apresentou maior eficiência. Em todos os processos, até o décimo sexto dia da fase ativa, foi registrada a presença de microrganismos patogênicos e no último dia desta fase não foi mais detectada a presença destes organismos. Com relação à degradação de matéria orgânica, as leiras sob o modo híbrido, apresentaram, em média, uma redução de 35,43% (em vinte dias) revelando a alta eficiência do método em relação aos outros, visto que no modo positivo a redução foi de 20,79% (em trinta dias) e no modo negativo de 6,02% (em cinquenta e sete dias).

O presente estudo cumpriu seus objetivos, tendo em vista que desenvolveu um sistema que apresentou melhor eficiência com relação à redução de umidade, à degradação de matéria orgânica e à eliminação de patógenos do que os demais sistemas em uso.

## ABSTRACT

The Aerate Static Pile Systems - Forced Aeration - are constituted as one of the most efficient processes, of low costs, to the treatment of organic residue (urban garbage, sewer mud, etc.) (SCHULZE, 1981).

The modes of aeration in the composting piles are done through air injection (positive mode) and air suction (negative mode), but the positive mode, according to FINSTEIN *et alii* (1984) is the one that presents more advantages. However, much more can be done yet to develop the process in relation to the elimination of pathogens and the degradation increasing of the organic material.

This work had as its objective to study and evaluate the existent aeration methods and to propose a hybrid mode (alternating the positive and the negative modes, in cycles), which objective would be the increasing of the process efficiency.

During the research, seven composting piles were assembled: two, in the positive mode; two, in the negative mode and three in the hybrid mode.

The raw material used in the experiment was a organic fraction of the urban garbage of Belo Horizonte city - MG., triturated, with particles from 20 to 50 mm, "*in natura*". Table 3.1 presents the composition of the utilized garbage.

The efficiency evaluation of each aeration mode was realized through physical (density, temperature); physicochemical (moisture content, volatile solids, carbon and pH); chemical (nitrogen); and bacteriologic faecal Streptococcus analysis besides other diary observations like: aspects, odour, colour, attraction of vectores, etc.

In the comparison among the aeration modes, was verified that the hybrid mode, developed in this study, presents a better efficiency. In all the processes, up to the sixteenth day of the active phase, was registered the presence of pathogenics micro-organisms and on the last day of this phase was not more found the presence of these organisms. In relation to organic material degradation, the hybrid mode piles, presented, in average, a reduction of 35,43% (in twenty days), revealing the high efficiency of this method in relation to the others, as in the positive mode the reduction was of 20,79% (in thirty days), and in the negative mode it was of 6,02% (in fifty-seven days).

This study executed its objectives, because it developed a system that presented a better efficiency in relation to moisture reduction, organic material degradation, and elimination of pathogens than the other systems used nowadays.

## Í N D I C E

	Página
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO . . . . .	1
1.1 - Histórico . . . . .	1
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . . . . .	8
2.1 - Introdução . . . . .	8
2.2 - Definição . . . . .	8
2.3 - Classificação . . . . .	9
2.4 - Microbiologia . . . . .	12
2.4.1 - Bactérias . . . . .	12
2.4.2 - Fungos . . . . .	13
2.4.3 - Actinomicetos . . . . .	14
2.4.4 - Vírus . . . . .	15
2.4.5 - Protozoários . . . . .	15
2.5 - Mudanças Durante o Processo de Compostagem .	16
2.6 - Fatores que Afetam a Compostagem . . . . .	18
2.6.1 - Taxa de aeração . . . . .	18
2.6.2 - Teor de umidade . . . . .	20
2.6.3 - Temperatura . . . . .	21
2.6.4 - Nutrientes . . . . .	22
2.6.5 - Tamanho da partícula . . . . .	24
2.6.6 - pH . . . . .	24
2.7 - Fase Ativa . . . . .	25

	Página
2.8 - Fase de Maturação . . . . .	25
2.9 - Utilização do Composto . . . . .	27
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS . . . . .	36
3.1 - Matéria-Prima . . . . .	36
3.2 - Técnica de Amostragem . . . . .	36
3.3 - Monitoramento . . . . .	37
3.3.1 - Análises físicas: Densidade e Temperatura .	38
3.3.1.1 - Densidade . . . . .	38
3.3.1.2 - Temperatura . . . . .	38
3.3.2 - Análises físico-químicas: teor de umidade, sólidos voláteis, sólidos fixos, carbono orgânico total e pH . . . . .	39
3.3.2.1 - Teor de umidade . . . . .	39
3.3.2.2 - Sólidos voláteis . . . . .	39
3.3.2.3 - Carbono orgânico total . . . . .	40
3.3.2.4 - pH . . . . .	40
3.3.3 - Análises químicas: nitrogênio total . . .	40
3.3.3.1 - Nitrogênio total . . . . .	40
3.3.4 - Análises bacteriológicas: determinação de Estreptococos fecais . . . . .	40
3.3.4.1 - Estreptococos fecais . . . . .	41
3.3.5 - Outras observações . . . . .	41
3.4 - Construção de Leiras . . . . .	42
3.5 - Sistema de Aeração . . . . .	42
3.5.1 - Sondas de temperatura e sonda de controle	43
3.5.2 - Modos de aeração utilizados . . . . .	44

3.5.2.1 - Modo positivo ou injeção de ar . . . . .	45
3.5.2.2 - Modo negativo ou sucção de ar . . . . .	45
3.5.2.3 - Modo híbrido . . . . .	46
3.5.3 - Término da fase ativa . . . . .	46
3.5.4 - Fase de maturação . . . . .	47
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÕES . . . . .	56
4.1 - Análises Físicas . . . . .	56
4.1.1 - Densidade . . . . .	56
4.1.2 - Temperatura . . . . .	57
4.2 - Análises Físico-Químicas . . . . .	60
4.2.1 - Teor de umidade . . . . .	60
4.2.2 - Sólidos voláteis . . . . .	62
4.2.3 - Carbono orgânico total . . . . .	63
4.2.4 - pH . . . . .	63
4.3 - Análises Químicas . . . . .	64
4.3.1 - Nitrogênio total . . . . .	64
4.3.2 - Relação C/N . . . . .	66
4.4 - Análise Bacteriológica . . . . .	67
4.4.1 - Determinação de Estreptococos fecais . . . . .	67
4.5 - Outras Observações . . . . .	68
4.5.1 - Aparência da leira . . . . .	68
4.5.2 - Odor . . . . .	68
4.5.3 - Atração de vetores . . . . .	69
4.6 - Construção das leiras . . . . .	70
4.7 - Término da Fase Ativa . . . . .	73
4.8 - Término da Fase de Maturação . . . . .	74

CAPÍTULO V - CONCLUSÕES		
5.1	- Análises Físicas . . . . .	95
5.1.1	- Densidade . . . . .	95
5.1.2	- Temperatura . . . . .	95
5.2	- Análises Físico-Químicas . . . . .	96
5.2.1	- Teor de umidade . . . . .	96
5.2.2	- Sólidos voláteis . . . . .	97
5.2.3	- Carbono orgânico total . . . . .	98
5.2.4	- pH . . . . .	98
5.3	- Análises Químicas . . . . .	98
5.3.1	- Nitrogênio total . . . . .	98
5.3.2	- Relação C/N . . . . .	99
5.4	- Análises Bacteriológicas . . . . .	99
5.5	- Outras Observações . . . . .	100
5.5.1	- Aparência da leira . . . . .	100
5.5.2	- Odor . . . . .	100
5.5.3	- Atração de vetores . . . . .	100
5.6	- Construção das Leiras . . . . .	101
5.7	- Término da Fase Ativa . . . . .	102
5.8	- Fase de Maturação . . . . .	103
5.9	- Conclusão Geral . . . . .	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .		105

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

Um dos crescentes problemas sanitários no mundo e principalmente nos países em desenvolvimento como o Brasil, tem sido a poluição por resíduos orgânicos. Neste sentido, a poluição e a contaminação provocadas pelos resíduos sólidos - lixo - vêm assumindo grande importância tanto nos aspectos de saúde pública e ambientais quanto nos aspectos sociais e econômicos.

É difícil definir lixo sem que haja restrições, visto que este depende de vários fatores, tais como: número de habitantes, hábitos e costumes da população, nível sócio-econômico, estação do ano, tempo de coleta, etc. Entretanto, a definição que se mostra mais satisfatória é a que define lixo como sendo o conjunto de resíduos sólidos resultantes da atividade humana. (FSESP, 1981).

O crescimento populacional resulta, conseqüentemente, no aumento da quantidade de lixo produzido nas cidades. Este não tem tido no país, um tratamento adequado pois é normalmente jogado a céu aberto, acarretando a formação dos lixões, lixeiras ou monturos. Do ponto de vista sanitário e ambiental, esta é uma prática muito condenada, pois favorece a proliferação de moscas, mosquitos, ratos, baratas, etc, os quais têm sido responsabilizados pela transmissão

de várias doenças infecciosas, tais como: diarréias, amebíases, helmintoses, dengue, leptospirose, etc. (FSESP, 1981 ; PEREIRA NETO, 1987a).

Devido a todos esses fatores citados acima, surge a necessidade de se ter um tratamento adequado, que traga benefícios ao ser humano e à natureza.

Em virtude do alto teor de matéria orgânica e de materiais recicláveis presentes no lixo urbano brasileiro, um tratamento que pode ser utilizado é a compostagem, que é um processo de biodegradação e conseqüente humificação de compostos orgânicos (PEREIRA NETO, 1988). O produto final da compostagem, geralmente é chamado de composto, fertilizante orgânico ou composto orgânico. (KIEHL, 1985; COSTA *et alii*, 1989).

A compostagem é uma prática muito antiga, talvez seja o mais antigo sistema biológico utilizado pelo homem (PEREIRA NETO *et alii*, 1985; COSTA *et alii* 1989). No Brasil, a compostagem, em sua concepção moderna, ainda é bem pouco conhecida e aplicada, embora se apresente como uma das melhores soluções para a utilização de resíduos orgânicos de várias fontes diferentes, tais como: restos vegetais, lixo urbano, lodos de esgotos, esterco de animais, etc.

Há cerca de 30 anos, muitas pesquisas nesta área vêm se desenvolvendo, com o objetivo de investigar um sistema prático do ponto de vista operacional que ofereça um produto final - o composto - seguro do ponto de vista bacteriológico, eficiente na fixação de nutrientes e com baixo custo

de produção. A literatura especializada tem registrado mais de 30 diferentes processos de compostagem, os quais em sua quase totalidade investigam a compostagem do lixo urbano. (PEREIRA NETO, 1986b).

O sistema de compostagem utilizado neste trabalho foi desenvolvido recentemente (na década de 70), segundo os conceitos da compostagem moderna, sendo denominado de Leiras Estáticas Aeradas ou Aeração Forçada. Durante o período de pesquisa foram construídas sete leiras de compostagem, pesando, cada uma, entre 4,5 e 5,0 toneladas e que tinham em média as seguintes dimensões: 3,00m de largura, 7,75m de comprimento e 1,10m de altura. Durante o processo de compostagem foram feitas as seguintes observações:

i ) desempenho dos modos de aeração - modo positivo (injeção de ar), modo negativo (sucção de ar) e o sistema híbrido (alternando o modo positivo e negativo, em ciclos);

ii ) eficiência do sistema na eliminação dos organismos patogênicos;

iii) balanço do teor de umidade;

iv ) variação da relação carbono/nitrogênio (C/N);

v ) otimização do sistema através do controle de temperatura.

### 1.1 - Histórico

A natureza tem a propriedade de degradar a matéria orgânica putrescível. Talvez tenha sido através desta observa

ção que o homem começou a prática da compostagem.

A história revela que desde a antiguidade, o homem, sobretudo o oriental, vem utilizando-se dos restos orgânicos, vegetais e animais, como um material para ser incorporado ao solo, com o intuito de favorecer o crescimento das plantas e conseqüentemente, aumentar a produção agrícola. As técnicas empregadas eram artesanais e consistiam simplesmente na formação de montes de resíduos que eram revirados ocasionalmente. (KIEHL, 1985).

Em 1843, foi patenteado nos E.U.A. por George Bommer "O Método Bommer de Fazer Adubo". Neste processo, diferentes tipos de resíduos agrícolas eram colocados em uma grade para decomposição. O "chorume" era coletado e recirculado para o topo da leira de compostagem com a finalidade de aumentar a degradação da matéria orgânica e, após 15 dias, o material era utilizado como composto. Bommer, provavelmente, foi a primeira pessoa a desenvolver um processo científico de compostagem. (PEREIRA NETO, 1987a).

As primeiras tentativas de sistematizar o processo de compostagem foram iniciadas em 1920, quando Sir Albert Howard, um fitopatologista inglês, desenvolveu em Indore, na Índia, um processo de compostagem que é conhecido como Método Indore ou Método Howard (KIEHL, 1985). Este processo consiste no uso de camadas de palha, vegetação seca e resíduos que são alternados com camadas de esterco ou solo orgânico (PINTO *et alii*, 1979). O material a ser compostado pode ser disposto em valas com 1,00 metro de profundidade, ou então,

em pilhas de 1,00 a 2,00 metros de altura. A massa é revirada periodicamente e o líquido percolado é aspergido sobre a pilha com a finalidade de devolver os nutrientes lixiviados e corrigir o teor de umidade (PINTO *et alii*, 1979).

Desde 1922 até os dias de hoje, inúmeros métodos de transformação de resíduos e lodos de esgoto em compostos têm sido patenteados. Todos os processos fragmentam os resíduos e têm como objetivo promover condições ótimas para a atividade bacteriológica (PEREIRA NETO, 1987a). Os sistemas mais importantes são:

i ) Sistema Beccari: patentado em 1922, na Itália . É um processo de fermentação acelerada, no qual os resíduos são submetidos primeiramente a uma fermentação anaeróbica e em seguida a uma aeróbica (PINTO *et alii*, 1979);

ii ) Sistema Itano: desenvolvido em 1922. É um método mecânico (bioestabilizador) para a decomposição do material cru (PEREIRA NETO, 1987a);

iii) Sistema Bordas: desenvolvido em 1931. É uma melhoria do Sistema Beccari. A diferença é que neste sistema foi eliminada a fermentação anaeróbica (PEREIRA NETO, 1987a);

iv ) Sistema Dano: desenvolvido e patentado na Dinamarca (PEREIRA NETO, 1987a). Este sistema se processa no interior de bioestabilizadores; consiste na decomposição aeróbica do lixo, realizada e acelerada mediante a combinação da ação biológica dos microrganismos com o dilaceramento e homogeneização da massa de lixo (PINTO *et alii*, 1979).

Em 1975, em Beltsville nos E.U.A., foi desenvolvido o sistema de compostagem por Leiras Estáticas Aeradas - Aeração Forçada, como um método específico para o tratamento de lodos de esgotos domésticos, que tem mostrado ser um processo prático, seguro do ponto de vista bacteriológico e economicamente viável (PEREIRA NETO, 1985). Neste processo, torna-se necessário adicionar ao lodo de esgotos um material inerte ou degradável, que forneça a estrutura adequada para a construção das leiras de compostagem, como também a porosidade necessária à boa eficiência do sistema de aeração. Porém, devido à baixa relação C/N (10:1), comumente encontrada nos lodos de esgotos domésticos, deve ser utilizado, de preferência, um material que além de fornecer estrutura e porosidade, seja também fonte de carbono para a obtenção de um melhor balanço da relação C/N. Por este motivo têm sido utilizadas "lascas" de madeira, as quais necessitam ser recuperadas para sua reutilização, a fim de diminuir os custos de processo (PEREIRA NETO *et alii*, 1986).

O lixo urbano pode fornecer a estrutura e a porosidade necessárias à construção das pilhas de compostagem como também é uma fonte básica de carbono vez que a relação C/N inicial é elevada (50:1). Conclui-se, então, que uma tendência natural de pesquisa seria em torno do estudo da co-compostagem do lixo urbano e lodos de esgotos pelo processo de Leiras Estáticas Aeradas (PEREIRA NETO *et alii*, 1986a).

No Brasil, o processo de compostagem por Leiras Estáticas Aeradas, ainda inédito, vem sendo desenvolvido pelo Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental - LESA, da

Universidade de Viçosa - MG, desde o ano de 1988, utilizando como matéria-prima o lixo urbano ou resíduos agrícolas.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 - Introdução

O lixo urbano é um problema crescente no mundo, principalmente nos grandes centros urbanos, em virtude dos problemas sanitários, ambientais, econômicos e sociais que causa. Diante deste quadro, surge a necessidade de um sistema de coleta e disposição final eficaz, que atenuar todos estes aspectos negativos relacionados ao lixo.

A compostagem do lixo urbano, segundo vários autores (BIDDLESTONE *et alii*, 1981; NÓBREGA e PEREIRA NETO, 1990) é um tratamento eficaz, pois além de reciclar os materiais inertes (metais, vidros, plásticos, etc), recicla também os macro e micro-nutrientes contidos na fração orgânica do lixo, gerando como produto final um adubo orgânico para uso na agricultura, no controle de erosão, em reflorestamento, parques, jardins, etc.

#### 2.2 - Definição

É importante definir a compostagem de modo que a diferença da putrefação natural que ocorre na natureza.

Observando-se as definições propostas por KIEHL (1985) e PEREIRA NETO (1988), pode-se concluir que a compostagem é

um processo biológico de transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características completamente diferentes do material inicial. Segundo PEREIRA NETO (1987a), a compostagem deve ser desenvolvida em duas fases distintas: a primeira, a fase ativa, quando ocorrem as reações bioquímicas de oxidação mais intensas; e a segunda, a fase de maturação, onde ocorre a humificação do material previamente estabilizado.

A compostagem moderna, que foi a estudada neste trabalho, é pautada na definição citada acima, sendo sobretudo, entendida como um processo biológico, aeróbico, controlado, termofílico, desenvolvido em duas fases por sucessões de colônias mistas de microrganismos (PEREIRA NETO, 1989).

O sistema de compostagem por Leiras Estáticas Aeradas, é um processo onde a oxigenação da massa de compostagem se dá por equipamento mecânico nas leiras de compostagem (item 2.6.1).

### 2.3 - Classificação

GOLUEKE (1977), CARDENAS e WANG (1980) e PEREIRA NETO (1987a) classificaram o processo da compostagem, através dos seguintes parâmetros:

#### i ) Aeração

Os métodos de compostagem de acordo com o tipo de aeração podem ser aeróbicos e anaeróbicos (KIEHL, 1985).

No método anaeróbico, a fermentação é realizada por

microrganismos que vivem em ambientes isentos de oxigênio , e não é observada a elevação da temperatura. Neste processo, há desprendimento de gases como o metano e o gás sulfídrico , o qual é responsável em grande parte pela emanação de odores (PINTO *et alii*, 1979; KIEHL, 1985).

PINTO *et alii* (1979) descrevem o método aeróbico como um processo, onde o oxigênio é encontrado na massa de compostagem, a temperatura é elevada e há desprendimentos de gás carbônico e vapor d'água.

PEREIRA NETO (1987b) relata que a compostagem moderna deve consistir em um processo aeróbico, considerando sua maior eficiência em termos de rapidez de degradação da matéria orgânica, da promoção de um meio mais propício à diversificação de microrganismos decompositores e da garantia de temperaturas termofílicas que agem na eliminação de patógenos.

#### ii ) Temperatura

Segundo ALEXANDER (1977), as temperaturas podem ser identificadas nos processos biológicos da seguinte maneira: criófila (4 - 15°C), mesófila (15 - 45°C) e termófila (45 - 65°C).

Este assunto no entanto, gera controvérsias entre pesquisadores: GOLUEKE (1977), conforme as temperaturas de crescimento dos microrganismos, utiliza os seguintes termos: criófilo para temperaturas inferiores a 4 ou 5°C, mesófilo abrangendo a faixa de 8 ou 10°C a 45 ou 50°C e termófilo para temperaturas superiores a 45°C. Por outro lado, o

mesmo autor sugere a expressão compostagem mesófila para processos com temperatura entre 15 e 22°C e compostagem termofílica para aqueles situados entre 45 e 65°C. Neste aspecto, uma certa incoerência pode ser observada tendo em vista que não há uma definição para a compostagem desenvolvida na faixa de 22 a 45°C.

ALEXANDER (1977) relata que a maior parte dos microrganismos são mesófilos, com capacidade para crescerem entre 15 e 45°C, enquanto os termófilos formam um grupo de organismos que crescem entre 45 e 65°C, sendo incapazes de crescerem em temperaturas inferiores a 40°C.

De acordo com PEREIRA NETO (1990), a temperatura ótima que propicia a atividade microbiana e a eliminação de microrganismos patogênicos, durante a compostagem, deve situar-se em torno de 55°C, e, os sistemas devem apresentar mecanismos de controle e manutenção de temperatura em uma faixa ótima. O mesmo autor, ainda relata que o declínio da temperatura da leira (<40°C), operada sob controle, indica o término da fase ativa, devido à exaustão da fonte disponível de carbono.

### iii) Ambiente

Com relação ao ambiente, a compostagem é classificada em sistemas abertos e sistemas fechados (KIEHL, 1985).

Segundo KIEHL (1985), os sistemas fechados são aqueles onde o material a ser compostado é colocado em digesto-

res, em forma de tambores rotativos, torres com pisos em andares superpostos, tanques, silos ou células, todos com revolvedores mecânicos para movimentação e aeração da matéria orgânica. Dentre os sistemas fechados, o mais utilizado no país é o Dano. KIEHL (1985) relata ainda que os sistemas abertos são definidos como aqueles onde o material a ser decomposto é colocado em montes, pilhas ou leiras nos pátios de compostagem. Exemplo: Leiras Estáticas Aeradas.

#### 2.4 - Microbiologia

Trabalhos realizados (KIEHL, 1985; OBENG e WRIGHT, 1987; PEREIRA NETO, 1988), apontam que os principais microrganismos que atuam na compostagem são bactérias, fungos e actinomicetos, embora outros organismos estejam presentes durante o processo, como: vírus, protozoários, vermes, etc.

A Tabela 2.1 apresenta os organismos que podem estar presentes nos processos de compostagem.

Segundo KIEHL (1985), uma pilha de compostagem bem aerada favorece a multiplicação dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica. A Tabela 2.2 apresenta os principais microrganismos (bactérias, fungos e actinomicetos), que atuam no processo de compostagem (ver 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3). A seguir será dada a definição de alguns organismos atuantes na compostagem.

##### 2.4.1 - Bactérias

PELCZAR *et alii* (1981) definem as bactérias como or

ganismos unicelulares procarióticos ou que formam simples associações de células similares. Sua multiplicação é feita, normalmente, por divisão binária simples.

De acordo com BIDDLESTONE *et alii* (1981), as bactérias são encontradas em maior número na massa de compostagem do que outros microrganismos e, geralmente, necessitam de um meio propício ao seu crescimento.

KIEHL (1985) relata que a principal função das bactérias termófilas é a decomposição de açúcares, amidos, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil digestão.

O material para a compostagem, por estar sempre associado a resíduos humanos e animais, geralmente, encontra-se contaminado por microrganismos patogênicos, ou seja, organismos capazes de desencadear processos de doenças ao homem.

A Tabela 2.3 relaciona as possíveis bactérias patogênicas encontradas no lixo urbano.

#### 2.4.2 - Fungos

Definem-se fungos, como microrganismos filamentosos, formadores de esporos, não-fotossintetizantes e heterotróficos, que têm a habilidade de degradar uma grande quantidade de compostos orgânicos, em condições de baixa umidade e em uma ampla faixa de pH (CARDENAS e WANG, 1980).

Segundo KIEHL (1985), os fungos são responsáveis pela decomposição da celulose, da lignina e de outros compos

tos mais resistentes, que são atacados após a digestão de materiais facilmente degradados pelas bactérias decompositoras.

OBENG e WRIGHT (1987) relatam que alguns fungos são patogênicos e responsáveis por algumas doenças respiratórias, como a aspergilose - doença bronco-pulmonar - conhecida como doença de fazendeiro, causada pelo *Aspergillus fumigatus*, comumente encontrado em compostagem de resíduos agrícolas (palhas, capim, etc). No entanto, a probabilidade de uma pessoa saudável ser contaminada é muito baixa. Para evitar qualquer dano ao homem, algumas precauções são recomendadas como por exemplo, o uso de máscaras durante o reviramento ou desmonte de leiras de compostagem, principalmente de resíduos agrícolas.

#### 2.4.3 - Actinomicetos

ALEXANDER (1977) define os actinomicetos como microrganismos que produzem filamentos finos e se desenvolvem dentro de um micélio.

Os actinomicetos são formas de vida-livre, embora algumas espécies possam causar doenças em plantas, animais e seres humanos, como os gêneros *Thiopolyspora polyspora* e o *Micromonospora vulgaris*, que causam alergias respiratórias semelhantes à doença do fazendeiro (OBENG e WHIGHT, 1987).

Os actinomicetos predominam na última fase do processo da compostagem e são responsáveis pela degradação da celulose. Algumas espécies também degradam proteínas, lipí

dios, amido e têm capacidade de sintetizar metabólitos tóxicos (KIEHL, 1985).

Segundo ALEXANDER (1977), os actinomicetos têm a seguinte atuação durante o processo de compostagem:

i ) na decomposição de componentes resistentes dos tecidos das plantas e animais;

ii ) na formação de húmus durante a fase de maturação;

iii) na importante função do ajustamento da população microbiana durante o processo de compostagem.

#### 2.4.4 - Vírus

ALEXANDER (1977) e BIDDLESTONE *et alii* (1981) definem vírus como organismos microscópicos, não celulares, responsáveis por inúmeras doenças (Tabela 2.4) causadas em plantas, animais e seres humanos. Provavelmente, os vírus são destruídos na compostagem através da eliminação de seus hospedeiros (plantas e animais) e mineralização do substrato disponível.

#### 2.4.5 - Protozoários

Os protozoários são protistas eucarióticos de uma única célula, que se diferenciam de acordo com suas características morfológicas, nutritivas e fisiológicas (PELCZAR *et alii*, 1981).

Segundo CARDENAS e WANG (1980), os protozoários po

dem não estar presentes durante o processo de compostagem.

A Tabela 2.5 apresenta os protozoários, possivelmente, presentes no lixo urbano.

## 2.5 - Mudanças Durante o Processo de Compostagem

A compostagem é realizada através de uma população mista de microrganismos, que degradam a matéria orgânica. O processo básico da compostagem aeróbica está ilustrada na Figura 2.1.

De acordo com PEREIRA NETO (1989b), durante a degradação natural da matéria orgânica, a temperatura permanece na faixa mesofílica. Logo que o material é empilhado em uma leira de compostagem, por exemplo, a continuidade do processo degradativo do material, imediatamente degradável, causa a liberação de energia sob a forma de calor, que permanece parcialmente retido na leira devido às características térmicas da matéria orgânica. Em consequência, há um aumento de temperatura. Quando a temperatura atinge a faixa termofílica ( $>40^{\circ}\text{C}$ ), toda a atividade microbiana mesofílica é substituída pela termofílica (PEREIRA NETO, 1989b).

Para alguns pesquisadores (SKITT, 1972; POINCELOT, 1975), o estágio mesofílico da compostagem apresenta pH geralmente ácido (4,5 a 6,0). No período termofílico, o pH passa a ser alcalino (7,5 a 8,5), e a amônia pode ser liberada por volatilização, se estiver presente em excesso.

SCNULZE (1981) e GOLUEKE (1977) relatam que quando a temperatura da pilha de compostagem atinge valores na faixa de 50 a 60°C, as bactérias, fungos e actinomicetos termófilos iniciam o ataque aos polissacarídeos. Segundo PEREIRA NETO (1987a), neste estágio, dependendo do processo de compostagem utilizado, ocorrerá, a maior eliminação de microrganismos patogênicos, larvas de insetos, ovos de helmintos, ervas daninhas, etc. Acima de 60°C, a população de fungos é bastante suprimida e as reações são realizadas pelos actinomicetos e pelas bactérias formadoras de esporos (SKITT,1972).

FORSYTH e WEBLEY (1948) mostraram que as proteínas e hemiceluloses são decompostas em temperaturas superiores a 60°C, enquanto as celulosas e ligninas raramente são degradadas.

Segundo SKITT (1972) e PEREIRA NETO (1989b), quando as fontes de carbono se esgotam, a temperatura da pilha de compostagem começa a cair e, os microrganismos, principalmente fungos e actinomicetos, situados nas zonas periféricas da pilha, reinvadem o centro da massa de compostagem, começando o ataque aos compostos mais resistentes. Nesta fase de resfriamento, os organismos mesófilos tornam-se predominantes e a temperatura continua a decrescer até igualar-se à temperatura ambiente. Há ainda, um pequeno decréscimo do pH (0,1 a 0,4), embora este continue na faixa alcalina (7,5 a 8,0) (PEREIRA NETO, 1989b).

PEREIRA NETO (1987a; 1989b) relata que quando a temperatura atinge um valor inferior a 40°C, o material deve ser

posto para maturar. Durante esta fase, os fungos e actinomicetos dão continuidade à degradação das substâncias mais resistentes ocorrendo complexas reações secundárias de condensação e polimerização da matéria orgânica (GOLUEKE, 1977).

## 2.6 - Fatores que Afetam a Compostagem

Considerando que a compostagem é um processo biológico, vários são os parâmetros que afetam a eficiência do processo e a qualidade do composto:

### 2.6.1 - Taxa de aeração

Por ser compostagem, basicamente, um processo de oxidação biológica, a disponibilidade de oxigênio torna-se de grande importância (OBENG e WRIGHT, 1987).

Segundo OBENG e WRIGHT (1987), a quantidade necessária de oxigênio para o crescimento dos microrganismos deve situar-se na faixa de 5 a 15% da concentração de oxigênio atmosférico, visto que esta, conserva altas temperaturas e favorece uma rápida compostagem aeróbica. A quantidade mínima para o crescimento dos microrganismos mesófilos é de 5%. De acordo com PEREIRA NETO (1989b), teoricamente, a taxa ótima de oxigênio seria aquela que satisfizesse a demanda bioquímica durante as diversas fases do processo. No entanto, vários fatores influenciam o consumo de oxigênio: a temperatura, as características do material, o tamanho das

partículas, o teor de umidade, etc.

No processo de compostagem por Aeração Forçada exis  
tem três modos básicos de aerar a massa:

- i ) modo positivo ou injeção de ar;
- ii ) modo negativo ou sucção de ar;
- iii) modo híbrido (combinação dos dois modos, posi  
tivo e negativo, em ciclos).

Nestes sistemas, o material a ser compostado é colo  
cado sobre uma tubulação de plástico perfurado de 100mm de  
diâmetro, protegido com uma camada de capim e conectado a  
uma bomba de aeração por um tubo de mesmo diâmetro não per  
furado, onde o ar é injetado ou succionado (ver item 3.4).

Durante o processo, a bomba funciona intermitente  
mente, sendo controlada automaticamente por um "timer" ou  
um controle em "feedback" que através de um sistema termos-  
tato/relê mantém a temperatura da leira sob valores deseja  
dos (ver item 3.5).

As leiras de compostagem são cobertas por uma cama  
da de composto, que segundo PEREIRA NETO (1987a) apresenta  
as seguintes finalidades:

- i ) permitir melhor distribuição da temperatura na  
massa de compostagem;
- ii ) funcionar como isolante térmico;
- iii) filtrar os gases e odores emanados da leira;
- iv ) evitar atração de vetores (moscas, mosquitos,

etc);

v ) propiciar melhor aspecto estético da leira, para evitar a exposição do lixo "*in natura*";

vi ) atenuar de modo satisfatório o efeito da chuva.

Quando o modo negativo de aeração é utilizado, o ar succionado da leira é introduzido dentro de uma pequena pilha, de composto maturado, denominada pilha-filtro, cuja finalidade é remover os gases e odores emanados da leira de compostagem (OBENG e WRIGHT, 1987).

O modo híbrido é uma combinação dos modos de aeração por injeção de ar e sucção de ar, que funciona em ciclos alternados de aeração.

#### 2.6.2 - Teor de umidade

A compostagem, por ser um processo biológico de gradação da matéria orgânica, necessita da presença de água para garantir a atividade microbiana (PEREIRA NETO, 1989b) e, conseqüentemente, a degradação da matéria orgânica. KIEHL (1985) e PEREIRA NETO (1989b) relatam que o teor de umidade é influenciado por vários fatores, como: o tamanho e a composição das partículas, a capacidade de aeração, a necessidade de satisfazer a demanda microbiana, etc.

Vários autores (SINGLEY *et alii* 1980; FINSTEIN *et alii* 1984; PEREIRA NETO, 1985; 1987a) pesquisaram e concluíram que o teor de umidade deve situar-se em torno de 55%. Altos teores (>65%) fazem com que a água ocupe espaços va

zios da massa, impedindo a passagem satisfatória de oxigênio, acarretando uma anaerobiose do meio. Baixos teores (<40%) também causarão problemas, visto que reduzem a atividade microbiana.

### 2.6.3 - Temperatura

BERTOLDI *et alii* (1983) afirmam que a temperatura é um fator importante durante o processo de compostagem, pois reflete a eficiência do processo. Relatam ainda que a temperatura atingida na leira é uma consequência de sua atividade microbiana.

Segundo OBENG e WRIGHT (1987), as mudanças de temperatura, observadas durante a fase de degradação da matéria orgânica, podem ser utilizadas como um indicador do próprio funcionamento do processo. Os mesmos autores também relatam que a temperatura, é um parâmetro mais confiável para ser utilizado como indicador da eficiência do processo de compostagem do que o teor de umidade, taxa de aeração, etc.

Quando a compostagem é desenvolvida sem controle, há um aumento excessivo da temperatura (65 - 80°C) que é prejudicial à atividade microbiana, acarretando conseqüentemente, o retardamento do processo da compostagem e interferindo na qualidade do produto final (PEREIRA NETO, 1987a).

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

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

Na compostagem moderna, as temperaturas são controladas e mantidas numa faixa de 40 a 65°C em toda a massa de compostagem por um período mais longo possível, a fim de que seja obtida uma melhor eficiência do processo (PEREIRA NETO, 1987a).

#### 2.6.4 - Nutrientes

A 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, 1989b).

De acordo com OBENG e WRIGHT (1987) e PEREIRA NETO (1989b), os principais nutrientes necessários ao crescimento dos microrganismos, durante a compostagem, são o carbono e o nitrogênio. Uma parte do carbono é perdida em forma de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e outra está presente no material celular em maior quantidade do que o nitrogênio.

PEREIRA NETO (1987a) explica que se a relação C/N for relativamente alta (em torno de 60:1) a atividade biológica diminui devido à falta de nitrogênio. Segundo BURMAN (1961), o excesso de carbono pode tornar o meio ácido, pois

o  $\text{CO}_2$  liberado é altamente solúvel. O mesmo autor cita que uma baixa relação C/N (por exemplo 10:1) aumenta a perda de nitrogênio através da volatilização de amônia, a fim de restabelecer o balanço sob condições mais favoráveis.

JERIS e REGAN (1975), GOLUEKE (1977) e CARDENAS e WANG (1980) após estudos com compostagem de resíduos sólidos urbanos, concluíram que a taxa ótima para a relação carbono/nitrogênio (C/N), que influenciará em uma boa atividade biológica, é de 30 a 40:1.

Segundo POINCELOT (1975) e DIAZ *et alii* (1986), um grande problema na compostagem de resíduos urbanos é o alto teor de carbono por causa da grande quantidade de papel. Os autores em questão concluíram que um aumento de 16 a 21% de papel pode elevar a relação C/N para a faixa de 40 a 55 e uma quantidade maior de papel pode aumentar essa relação para 80. Entretanto, GOTTAAS (1956) explica que alguns carbonos estão presentes em formas mais resistentes ao ataque biológico e que não alteram a relação C/N. Segundo PEREIRA NETO (1987a), para alguns materiais celulolíticos, uma relação C/N maior do que a recomendada pode ser utilizada sem que o processo seja afetado, visto que, em muitos compostos orgânicos o carbono não está biologicamente disponível para o processo.

De acordo com PEREIRA NETO (1987a), a relação C/N tem sido utilizada como um parâmetro para indicar o término da fase de maturação. Este autor afirma que se a relação C/N, após a compostagem, for de 10 a 15, pode-se concluir que o

material pode ser utilizado. Entretanto, se for encontrada uma relação maior, isto não quer dizer necessariamente, que o composto não possa ser utilizado (POINCELOT, 1975).

#### 2.6.5 - Tamanho da partícula

BIDDLESTONE *et alii* (1973) e GOLUEKE (1977) consideram o tamanho das partículas do material um fator importante, pois quanto mais o material for fragmentado, maior será sua área de superfície sujeita aos ataques dos microrganismos e, conseqüentemente, diminuirá o tempo de compostagem.

Tratando-se de lixo urbano, o tamanho ideal da partícula é de 20 a 50mm (PEREIRA NETO, 1989b).

#### 2.6.6 - pH

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 - 7,5) e os fungos se desenvolvem melhor entre 5,5 e 8,0 (BERTOLDI *et alii*, 1983).

Através de experimentos realizados na compostagem de lixo urbano e lodos de esgotos, foi verificada a existência de um fenômeno de "auto-regulação" do pH realizado pelos microrganismos durante a compostagem. Estes estudos concluíram que o pH não é um fator crítico e que é difícil corrigi-lo durante o processo. O pH no final da compostagem permanece na faixa alcalina (7,5 a 9,0) (PEREIRA NETO, 1989b).

## 2.7 - Fase Ativa

A fase ativa é definida como sendo o período da compostagem, onde ocorrem as reações bioquímicas de oxidação mais intensas (FINSTEIN, 1980b; PEREIRA NETO, 1987a).

É nesta fase que os principais parâmetros (taxa de aeração, teor de umidade, temperatura, etc) intervenientes dos processos de compostagem, são mantidos sob controle, para a obtenção de alta taxa de degradação de matéria orgânica (PEREIRA NETO, 1987a).

Trabalhos realizados anteriormente (PEREIRA NETO, 1987a), demonstram que o tempo de duração da fase ativa depende principalmente do tipo de sistema e do material utilizado. No sistema de injeção de ar, este tempo é, em média, de 30 dias e no de sucção de ar, chega a ser superior a 50 dias.

## 2.8 - Fase de Maturação

Após a fase ativa, o material é posto para maturar.

Durante a fase de maturação ocorrerá a estabilização do composto, ou seja, nesta fase ocorrerá a humificação da matéria orgânica pré-estabilizada, além da eliminação de algum patogênico remanescente, acarretando conseqüentemente, um produto final de boa qualidade (PEREIRA NETO, 1987a).

Segundo PEREIRA NETO (1989a), o material compostado são poderão ser chamado de composto e utilizado como fertilizante orgânico, quando a matéria orgânica for estabilizada

atê atingir a humificação.

De acordo com ZUCCONI *et alii* (1981a), quando se uti liza um composto não-maturado, há grandes problemas nas plantações, tais como:

i ) a amônia poderá ser liberada no solo e danificar as raízes das culturas;

ii ) a alta relação C/N (característica dos produtos não maturados) ocasionará a remoção bioquímica do nitrogê nio do solo;

iii) a ocorrência de produção de toxinas inibidoras do metabolismo das plantas e germinação de sementes.

Durante a maturação, um grande problema é a determina ção da estabilização do composto. ZUCCONI *et alii* (1981a , 1981b, 1984) sugeriram medir o grau de toxidade do composto maturado por testes biológicos com sementes. A concentração dessas toxinas depende de vários fatores: substrato dispo- nível, população microbiana, nível de oxigênio, temperatura e grau de degradação.

Segundo HIRAI *et alii* (1983), o grau de estabilização pode ser determinado através de análises cromatográficas durante o processo de compostagem. Os mesmos autores também sugerem que uma relação C/N de 5 a 6 em extratos de compos to pode ser utilizada como um indicador essencial de matura ção. No entanto, estes autores não explicam o procedimento para obtenção do referido extrato.

PEREIRA NETO (1987a) relata que vários autores comentam sobre as técnicas propostas para avaliar a maturação do composto e conclui em que algumas requerem tempo e necessitam de um laboratório bem equipado. Outras, porém, são facilmente utilizadas e apresentam resultados rápidos. É o caso da relação C/N e dos testes de toxidades.

Segundo PEREIRA NETO (1987a), a duração da fase de maturação depende:

i ) do tipo de processo utilizado durante a primeira fase;

ii ) do grau de controle exercido durante a primeira fase;

iii) das características do material pré-estabilizado.

De acordo com GUTTERIDGE (1952), o tempo de maturação é em torno de dois a quatro meses. STENTIFORD e PEREIRA NETO (1985) relatam que sob as condições do clima britânico, o período de maturação do processo de compostagem com lixo-urbano - lodos de esgotos é de 3 a 4 meses. No Brasil, para o lixo urbano, este tempo tem sido de dois meses (PEREIRA NETO, 1988).

## 2.9 - Utilização do Composto

O composto maturado, de boa qualidade é isento de odores, de agentes contaminantes, fácil de ser manuseado, estocado e transportado, o que o difere de um composto não-maturado (OBENG e WRIGHT, 1987).

A Tabela 2.6 apresenta as diferenças existentes entre um composto maturado e um não-maturado.

A forma mais importante do uso do composto é na aplicação agrícola (SINGLEY *et alii*, 1982; OBENG e WRIGHT, 1987), onde é utilizado como fertilizante e condicionador de solos. Pode também ser utilizado como matéria-prima no processamento de fertilizantes industriais e no controle de erosão, reflorestamento, parques, etc (PEREIRA NETO, 1989b).

A aplicação do composto traz uma série de vantagens para o crescimento das plantas e aumento da produtividade agrícola (SINGLEY *et alii*, 1982; OBENG e WRIGHT, 1987), pois pode melhorar as propriedades físicas e químicas do solo e também pode trazer outros benefícios, como a correção do pH em solos ácidos.

Segundo HUGHES *et alii* (1980), o composto pode também ser utilizado como um complemento na alimentação de porcos e peixes.

Tabela 2.1 - Organismos presentes durante o processo de compostagem.

	ORGANISMOS	NÚMERO DE GRAMA DE COMPOSTO		
	Bactérias	$10^8$	-	$10^9$
	Actinomicetos	$10^5$	-	$10^8$
Microflora	Fungos	$10^4$	-	$10^6$
	Algas	$10^4$		
	Vírus			
Microfauna	Protozoários	$10^4$	-	$10^5$
Macroflora	Fungos			
	Vermes			
	Formigas			
Macrofauna	Aranhas			
	Miriópodes			
	Besouros			

Fonte: OBENG e WRIGHT (1987)

Tabela 2.2 - Principais microrganismos - Bactérias, Fungos e Actinomicetos - isolados do composto.

BACTÉRIAS	ACTINOMICETOS	FUNGOS
Cellomonas folia	Micronospora vulgaris	Fusarium culmorum
Chondrococcus exiguus	Norcadia brasiliensis	Fusarium roseum
Myxococcus virescens	Pseudonorca thermophila	Stysanus stemonitis
Myxococcus fulvus	Streptomyces rectus	
Thiobacillus thiooxidans	Streptomyces thermofuscus	Coprinus cinereus
Aerobacter sp.	Streptomyces thermophilus	Coprinus megacephalus
Proteus sp.	Streptomyces thermoviolaceus	
Pseudomonas sp.	Streptomyces thermovulgaris	Coprinus lagopus
Bacillus stearothermophilis	Streptomyces violaceoruber	Clitopilus pinsitus
	Thermoctinomyces vulgaris	
	Thermonospora curvata	Aspergillus niger
	Thermonospora fusca	Aspergillus terreus
	Thermonospora glaucus	
	Thermonospolyspora polyspora	Geotrichum candidum
		Rhizopus nigricans
		Trichoderma viride
		T. (lignorum) harzianum
		Oospora variabilis
		Mucor spinescens
		Mucor abundans

Tabela 2.2 (Continuação) - Principais microrganismos - Bactérias, Fungos e Actinomicetos - isolados do composto.

BACTÉRIAS	ACTINOMICETOS	FUNGOS
		Mucor variens
		Cephalosporim acremonium
		Chaetomium globosum
		Glomerularia sp.
		Pullularia (Aureobasidium)
		Fusidium sp.
		Actinomucor corymbosus
		Mucor jansseni
		Talaromyces (Penicillium) variable
		Helminthosporium sativum
		Aspergillus fumigatus
		Humicola insolens
		Humicola lanuginosa
		H. griseus var. thermoideus
		Mucor pussillus
		Chaetomium thermophile
		Absidia ramosa
		Talaromyces (penicillium) duponti
		Talaromyces emersonii

Tabela 2.2 (Continuação) - Principais microrganismos - Bactérias, Fungos e Actinomicetos  
- isolados do composto.

BACTÉRIAS	ACTINOMICETOS	FUNGOS
		Talaromyces thermophilus
		Sporotrichum thermophile
		Sporotrichum chlorinum
		C. t. 6 (Mycelia sterilia)
		Stibella thermophila
		Malbranchea pulchella var. sulfurea
		(Thermoidium sulfurem)
		Cactylomyces crustaceus
		(Thermoascus aurantiascus)
		Byssochlamys sp.
		Torula thermophila

Fonte: KIEHL (1985).

Tabela 2.3 - Bactérias patogênicas, provavelmente presentes no lixo urbano e suas respectivas doenças.

BACTÉRIAS	DOENÇAS
Campylobacter	Diarréia
Escherichia coli	Diarréia
Salmonella typhi	Febre tifóide
S. paratyphi	Febre paratífóide
Shigella	Desintéria bacilar
Vibrio cholera	Côlera
Outros víbrios	Diarréia
Yersinia	Yerseniase

Fonte: OBENG e WRIGHT (1987)

Tabela 2.4 - Vírus patogênicos provavelmente encontrados no lixo urbano.

VÍRUS	DOENÇAS
Adenovírus	
Coxsackievirus	
Echovirus	
Vírus Hepatite A	Hepatite infecciosa
Reovírus	
Rotavírus	Diarréia
Roliavírus	Poliomielite

Fonte: OBENG e WRIGHT (1987)

Tabela 2.5 - Protozoários patogênicos provavelmente presentes no lixo urbano e respectivas doenças.

PROTOZOÁRIOS	DOENÇAS
Entamoeba histolítica	Desintéria amebiana
Giardia lamblia	Diarréia
Balantidium coli	Diarréia

Fonte: OBENG e WRIGHT (1987)

Tabela 2.6 - Diferenças entre o composto maturado e o composto cru.

COMPOSTO MATURADO	COMPOSTO CRU
Nitrogênio com íon nitrato	Nitrogênio como íon-amônio
Baixa demanda de oxigênio	Alta demanda de oxigênio
Não há perigo de putrefação	Há perigo de putrefação
Os elementos nutrientes são em parte disponíveis para as plantas	Os elementos nutrientes não são disponíveis
Concentrações altas de vitaminas e antibióticos	Baixas concentrações de vitaminas e antibióticos
Altas concentrações de bactérias e fungos do solo, os quais decompõem facilmente as substâncias degradáveis	Altas concentrações de bactérias e fungos, os quais decompõem matéria orgânica
Mineralização em torno de 50%	Alta proporção de substância orgânica não mineralizada
Retenção de grande quantidade de água	Baixa retenção de água

Fonte: OBENG e WRIGHT (1987)

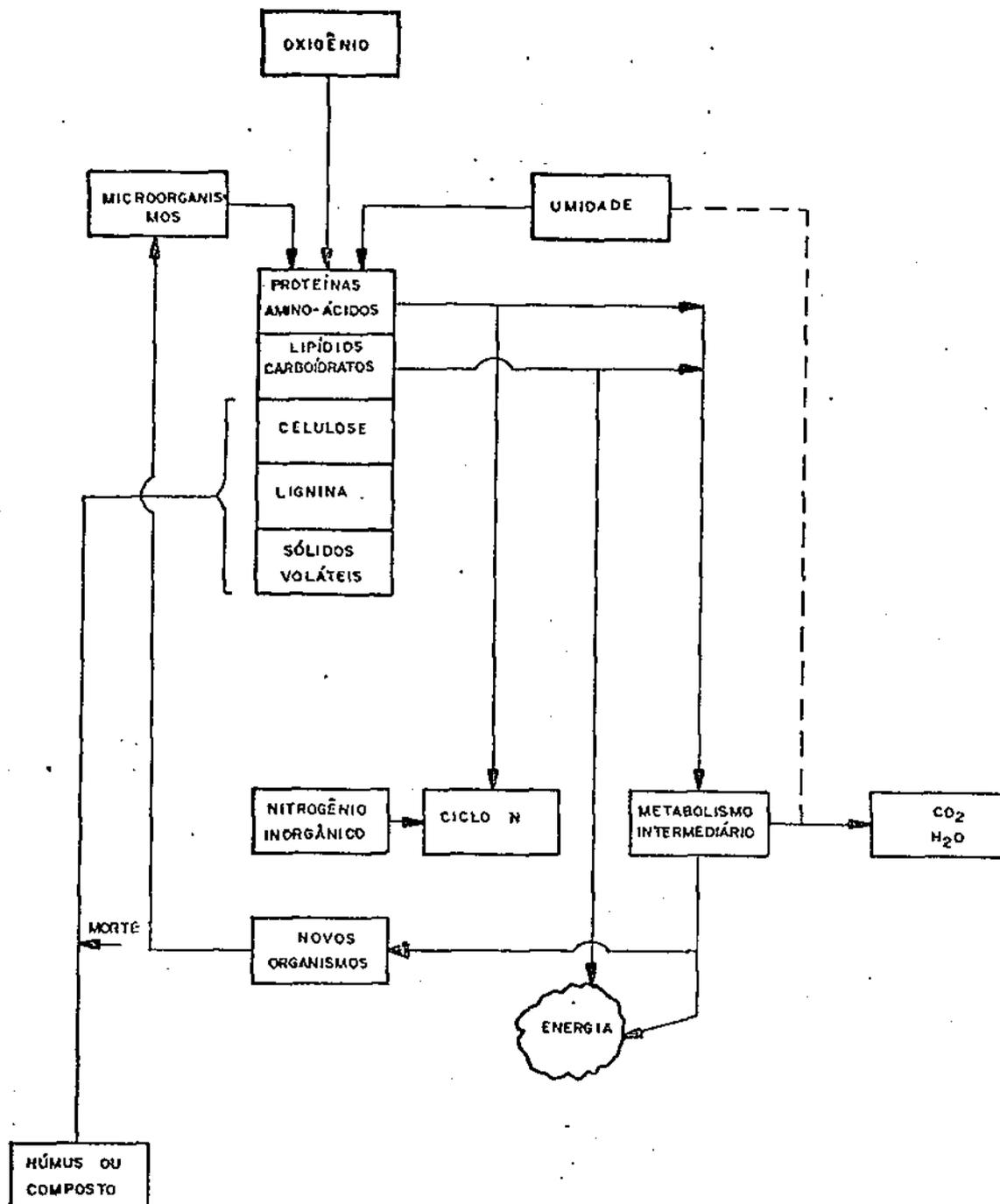


FIGURA 2.1- ESQUEMA BÁSICO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM AERÓBICA  
 Fonte: SKITT (1972).

## CAPÍTULO III

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - Matéria-Prima

A matéria-prima utilizada, para a montagem dos experimentos foi a fração orgânica do lixo urbano, "in natura" (partículas de 20 - 50mm), proveniente da cidade de Belo Horizonte-MG. A composição do lixo urbano está descrita na Tabela 3.1.

#### 3.2 - Técnica de Amostragem

As amostras para as análises, físicas, físico-químicas, químicas e bacteriológicas foram coletadas da seguinte maneira:

i ) na matéria-prima

A coleta foi feita em vários pontos do material, após a descarga do caminhão.

ii ) na leira de compostagem

As amostras foram coletadas durante a fase ativa, em três pontos: base, meio e topo (Figura 3.5), recolhendo deste modo, material submetido a diferentes zonas de temperaturas. Na Fase de maturação, as amostras eram coletadas desde o ponto central da pilha (zona de temperatura mais alta), até a camada sub-superficial (5cm da superfície) (Figura 3.6),

sujeita a temperaturas mais baixas.

Todas as coletas das amostras foram realizadas de acordo com as sugestões constantes na literatura especializada (PEREIRA NETO, 1987a).

De acordo com o tipo de análises, as amostras foram divididas em dois tipos:

i ) Amostra 1

Retirada do material "*in natura*", que logo após a coleta era bem misturado e quarteado, a fim de que se pudesse obter uma amostra representativa. Com esta amostra eram feitas as análises bacteriológicas, físicas e determinação do pH.

ii ) Amostra 2

Consistia do material da massa de compostagem, após secagem a 70°C, durante 24 horas. Desta, eram feitas as determinações de umidade e as seguintes análises: sólidos voláteis, sólidos fixos, carbono orgânico total e nitrogênio total.

### 3.3 - Monitoramento

O monitoramento dos experimentos foi realizado através de análises físicas, físico-químicas, químicas e bacteriológicas na matéria-prima e durante o período de compostagem, seguindo um calendário pré-estabelecido. Este compreendia os dias 0, 4, 8, 16 e dia do desmonte da leira, durante

a fase ativa, para as análises físico-químicas e químicas . As análises bacteriológicas foram realizadas nos dias 0, 8, 16 e no dia do desmorte da leira (fase ativa). As análises físicas foram feitas nos dias de montagem (dia 0) e desmorte das leiras, na fase ativa e na de maturação. Com exceção das análises físicas e bacteriológicas, todas as demais foram feitas, durante a maturação, a cada 15 dias (0, 15, 30, 45 e 60).

As análises efetuadas foram:

### 3.3.1 - Análises físicas: Densidade e Temperatura

#### 3.3.1.1 - Densidade

As análises foram realizadas da seguinte maneira: enchia-se um recipiente de 150 litros (três repetições), pesava-se, e em seguida calculava-se a densidade utilizando a razão entre o peso e o volume conhecidos. Estas análises foram realizadas de acordo com as recomendações feitas por PEREIRA NETO (1987a).

#### 3.3.1.2 - Temperatura

O controle da temperatura da leira foi feito através de um equipamento de controle "feedback" (ver item 3.5.1), o qual era conectado a uma sonda (de controle) de aço-inox (15mm diâmetro), colocada no centro da leira. Esta sonda comandava o funcionamento automático da bomba de aeração em função da temperatura desejada de controle.

As leituras diárias de temperatura foram realizadas através de três sondas, posicionadas na base, centro e topo da leira (Figura 3.2).

3.3.2 - Análises físico-químicas: teor de umidade, sólidos voláteis, sólidos fixos, carbono orgânico total e pH.

3.3.2.1 - Teor de umidade

As análises de teor de umidade foram realizadas de acordo com as recomendações citadas por SOLYON (1977). Foram feitas duas repetições, onde o material era pesado (+ 30 gramas) e posto em uma estufa (GALLENKAMP) a 70°C, durante 24 horas. O teor de umidade era obtido pela diferença em peso.

3.3.2.2 - Sólidos voláteis

Os sólidos voláteis (SV) foram determinados de acordo com a bibliografia especializada (PEREIRA NETO, 1987a). Pesava-se dois gramas do material seco (duas repetições), colocava-se em uma mufla (CARBOLITE FURNACES) a 550 (+20) °C por duas horas. O teor de sólidos voláteis era obtido pela diferença de peso.

O teor de sólidos fixos (SF) era determinado pela seguinte expressão (KIEHL, 1985):

$$SF = 100\% - SV$$

### 3.3.2.3 - Carbono orgânico total

O carbono orgânico total foi calculado pela razão entre os sólidos voláteis e o fator 1,8 (GOLUEKE, 1977).

### 3.3.2.4 - pH

As análises de pH, foram feitas de acordo com CARNES e LOSSIN (1970) e PEREIRA NETO (1987a).

Tomando-se aproximadamente 10g de amostra, na qual adicionava-se 250ml de água destilada, agitava-se por três minutos, deixando-se esta solução em repouso por cinco minutos, e em seguida filtrava-se e fazia-se a leitura potenciométrica do pH utilizando um pHmetro (PN 1410 PHILIPS).

### 3.3.3 - Análises químicas: nitrogênio total

#### 3.3.3.1 - Nitrogênio total

A metodologia utilizada seguiu as recomendações sugeridas por PEREIRA NETO (1987a), utilizando-se o método convencional Kjeldahl, e um digestor Kjeldahl (TECNAL). Neste método, através de uma digestão a 350 (+ 20)°C com ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado, o nitrogênio é transformado em amônia, que é separada por destilação, fixada em uma solução saturada de ácido bórico e finalmente titulada com ácido clorídrico.

#### 3.3.4 - Análises bacteriológicas: determinação de Streptococos fecais

#### 3.3.4.1 - Estreptococos fecais

Os Estreptococos foram utilizados como indicadores de microrganismos patogênicos, pois segundo PEREIRA NETO (1987a), estes são encontrados em altas concentrações no lixo urbano, apresentando maior resistência às condições adversas da leira. Além do mais são utilizados há muitos anos como um indicador de microrganismos patogênicos pela engenharia sanitária. As análises foram feitas seguindo a técnica da membrana filtrante (KENNER *et alii*, 1961). Em, aproximadamente, 99 ml de solução de Ringer, colocava-se um grama de amostra, agitava-se fortemente por três minutos, deixava-se em repouso durante cinco minutos. Logo após era feita uma série de diluições de amostras emulsificadas, através de uma sucessão de transferências de 1ml, dentro de uma série de frascos universais, contendo cada um 9ml de Solução de Ringer. Para cada diluição, foram feitas duas repetições. As membranas foram incubadas com o meio KF em uma estufa (GALLENKAMP) a 37 (+2)°C por 48 horas. Após este período foi feita a contagem das colônias de coloração violeta-escura e em seguida o teste de Gram (PEREIRA NETO, 1987a).

#### 3.3.5 - Outras observações

Durante o processo de compostagem, foram feitas algumas observações diárias como: aparência da leira, odor, presença ou ausência de moscas, mosquitos, fungos, plantas, etc. Também foi feito levantamento meteorológico neste pe

ríodo.

### 3.4 - Construção de Leiras

As leiras de compostagem foram construídas manual<sub>mente</sub>, logo após a correção de umidade para um valor médio de 59%, sobre uma tubulação de plástico perfurado de 100mm de diâmetro (Figura 3.1), protegido com uma camada de capim, cuja finalidade era evitar entupimentos e distribuir melhor o ar, na massa de compostagem. Este tubo era conectado a uma bomba de 1/2 HP de potência (SECOMAK - 142), através de um tubo de mesmo diâmetro não perfurado.

As leiras foram montadas com uma seção reta triangular, seguindo o próprio ângulo de atrito do material. A Figura 3.1 mostra a seção transversal e longitudinal típica de uma leira de compostagem, utilizada nos experimentos. Logo após a montagem, as leiras eram cobertas por uma camada de composto maturado (composto humificado), com 15 a 30cm de espessura (ver item 2.6.1).

### 3.5 - Sistema de Aeração

Os sistemas de aeração têm como objetivo promover a oxigenação necessária e controlar a temperatura da leira, a fim de que possa haver uma boa atividade biológica (PEREIRA NETO, 1987a). Nos sistemas de aeração, são utilizados os seguintes equipamentos:

### 3.5.1 - Sondas de temperatura e sonda de controle

Após a montagem da leira, as sondas de temperatura eram posicionadas e tinham como finalidade fazer o controle diário da temperatura, necessário para se avaliar a eficiência do processo.

As sondas de temperatura eram compostas de um "termopar" (dupla camada de níquel e cobre), tendo em uma extremidade os fios soldados (por solda branca comum) e na outra extremidade um "plug" para conectar e medir a leitura através de um termômetro digital (JENCO - J/20).

As sondas eram colocadas em três pontos (base, meio e topo) da leira (Figura 3.2), obedecendo as recomendações feitas em estudos anteriores (PEREIRA NETO e STENTIFORD, 1989c).

O ciclo de aeração da bomba de ventilação foi pré-fixado, seguindo as recomendações feitas pela bibliografia especializada (PEREIRA NETO, 1987a), através de um "timer" programável e também por um controle automático, em "feedback", em função da demanda de oxigênio e/ou da necessidade de controlar a temperatura máxima a um determinado valor, pré-fixado. Nos experimentos, a operação por "timer" foi ajustada de modo que a temperatura máxima não ultrapassasse a 60°C. A bomba de aeração foi programada para trabalhar em ciclos de dois minutos a cada vinte minutos.

No centro da leira, foi colocada a sonda de controle (termistor) que era ligada por um "termopar" ao aparelho

de controle por "feedback" acionava a bomba tão logo a temperatura pré-fixada, de controle ( $60^{\circ}\text{C}$ ) fosse atingida. A bomba cessava a aeração quando a temperatura baixava para  $58^{\circ}\text{C}$  (Figura 3.4).

Os perfis de temperatura foram obtidos através de uma sonda, especialmente construída para esta finalidade, com 1,50 metro de comprimento (30cm de cabo). A sonda tinha a cada 10cm de extensão, um terminal do par termoelétrico, com o respectivo "plug", que podia ser conectado independentemente ao termômetro, num total de 11 "termopares". Esta sonda permitia que o perfil de temperatura de uma determinada seção reta da leira fosse facilmente obtido.

### 3.5.2 - Modos de aeração utilizados

Os experimentos foram determinados por siglas, que já vinham sendo utilizadas pelo LESA, Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, em experimentos anteriores.

Para os experimentos realizados com o lixo urbano triturado, utilizava-se a sigla PLTA, que tem o seguinte significado: Pilha de Lixo Triturado Aerada, seguida do respectivo número do experimento e da letra que indica o modo de aeração: P - modo positivo; N - modo negativo e H - para o modo híbrido. Exemplo: PLTA - 10-P, significa: Pilha de Lixo Triturado Aerada, número 10, com aeração sob o modo positivo.

Todas as leiras foram construídas de acordo com a descrição básica, apresentada no item 3.4, sofrendo peque

nas modificações para os modos negativo e híbrido de aer  
ção.

### 3.5.2.1 - Modo positivo ou injeção de ar

As leiras de compostagem sob o modo positivo, fo  
ram a PLTA - 10 - P e a PLTA - 11 - P, cujas característi  
cas (peso, dimensões, densidade, volume e tempo de dura  
ção) estão apresentadas na Tabela 3.2.

### 3.5.2.2 - Modo negativo ou sucção de ar

Para o modo negativo foram montadas as leiras PLTA-  
12 - N e a PLTA - 13 - N, de acordo com o ítem 3.4, sofren  
do uma pequena modificação, pois juntamente com as leiras  
sob sucção de ar, foram montadas suas respectivas pilhas-  
filtro.

As pilhas-filtro foram construídas através de ten  
tativas para que fosse determinada a quantidade real de ma  
terial (composto maturado) necessário para filtrar os gases  
emanados da leira de compostagem. Assim sendo, esta pilha  
foi montada em forma cônica (Figura 3.7), com um volume ini  
cial estimado de composto maturado, sendo este acrescido  
em função da percepção de odores dos gases emanados da lei  
ra de compostagem.

As características das pilhas PLATA - 12 - N e  
PLTA - 13 - N estão descritas na Tabela 3.2.

### 3.5.2.3 - Modo Híbrido

As leiras do sistema híbrido apresentaram configurações geométricas semelhantes às demais.

A bomba de aeração do sistema híbrido quando esta funcionava no modo negativo, tinha a exaustão conectada a um tubo flexível, não perfurado, de diâmetro de 100mm, o qual era conectado a um tubo perfurado radialmente de mesmo diâmetro e colocado na parte superior da leira que funcionava como uma pilha-filtro (Figura 3.8).

Para o sistema híbrido foram construídas três leiras, PLTA - 14 - H, PLTA - 15 - H e PLTA - 16 - H. As características destes experimentos também estão apresentados na Tabela 3.2.

### 3.5.3 - Término da fase ativa

O término da fase ativa foi sempre definido em função da temperatura (valor inferior a 40°C), conforme descrito no item 2.3 do segundo capítulo. Nos sistemas de injeção de ar e híbrido, o final da fase ativa ocorreu nos dias trinta e vinte, respectivamente e no sistema de sucção de ar, houve um prolongamento. O término desta fase ocorreu no quinquagésimo sétimo dia (PLTA-12-N), sendo a leira PLTA-13-N interrompida no trigésimo dia, devido ao funcionamento excessivo da bomba para manter a temperatura sob controle, o que resultou na queima do motor da bomba (ver item 4.3.2).

#### 3.5.4 - Fase de maturação

Logo após o término da fase ativa, as leiras eram desmontadas, o material era analisado analiticamente e visualmente e depois era posto para maturar em forma cônica. Uma sonda de temperatura era posicionada, em um único ponto, no centro da pilha, para o registro diário da temperatura de acordo com a literatura especializada (PEREIRA NETO e STENTIFORD, 1989c).

O término da maturação pode ser analisado através de três itens (PEREIRA NETO, 1987a):

- i ) testes de germinação de sementes;
- ii ) relação C/N;
- iii) teor de ácido húmico.

Neste estudo, o término da maturação foi analisado através da relação C/N.

Tabela 3.1 - Composição do lixo urbano da cidade de Belo Horizonte.

COMPONENTES	% DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
Matéria orgânica	46,30
Papel	12,50
Papelão	6,00
Metal ferroso	0,60
Metal não ferroso	1,70
Madeira	2,30
Tecidos	6,20
Plástico firme	2,70
Plástico duro	3,20
Vidro claro	3,00
Vidro escuro	0,15
Couro	0,09
Osso	0,30
Borracha	1,07
Cerâmica	0,30
Louça	2,30
Terra/Similar	6,00
Folhagem (podas, flora)	0,43
Outros	0,50

Fonte: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte - Superintendência de Limpeza Urbana - SLU (1990)

Tabela 3.2 - Características das Leiras de Compostagem Estudadas.

Experimentos	Dimensões (m)				Volume (m <sup>3</sup> )	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Tempo de Duração		Modo de Aeração
	Peso (ton)	Largura	Altura	Comprimento			Fase Ativa (dias)	Fase de Maturação (dias)	
PLTA-10-P	5,50	3,00	1,00	8,20	12,40	556,28	30	60	Positivo
PLTA-11-P	5,50	3,70	1,20	7,70	17,10	520,50	30	60	Positivo
PLTA-12-N	4,50	2,50	1,00	7,60	9,50	457,70	57	60	Negativo
PLTA-13-N	4,50	2,60	1,00	7,50	9,75	501,90	30	60	Negativo
PLTA-14-H	5,50	3,20	1,20	7,70	14,80	460,25	20	60	Híbrido
PLTA-15-H	5,50	3,00	1,10	7,70	12,70	462,20	20	60	Híbrido
PLTA-16-H	5,50	3,10	1,20	7,80	14,50	471,73	20	60	Híbrido

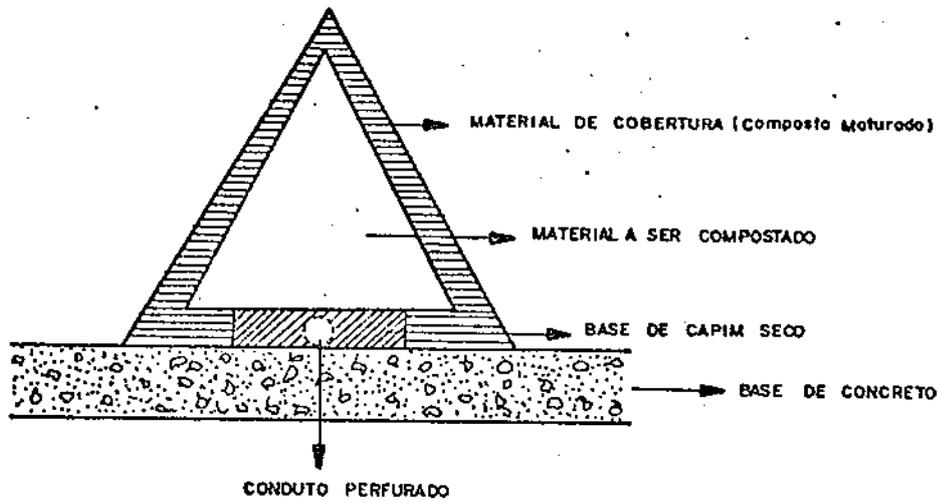


FIGURA 3.1 - SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA LEIRA DE COMPOSTAGEM.

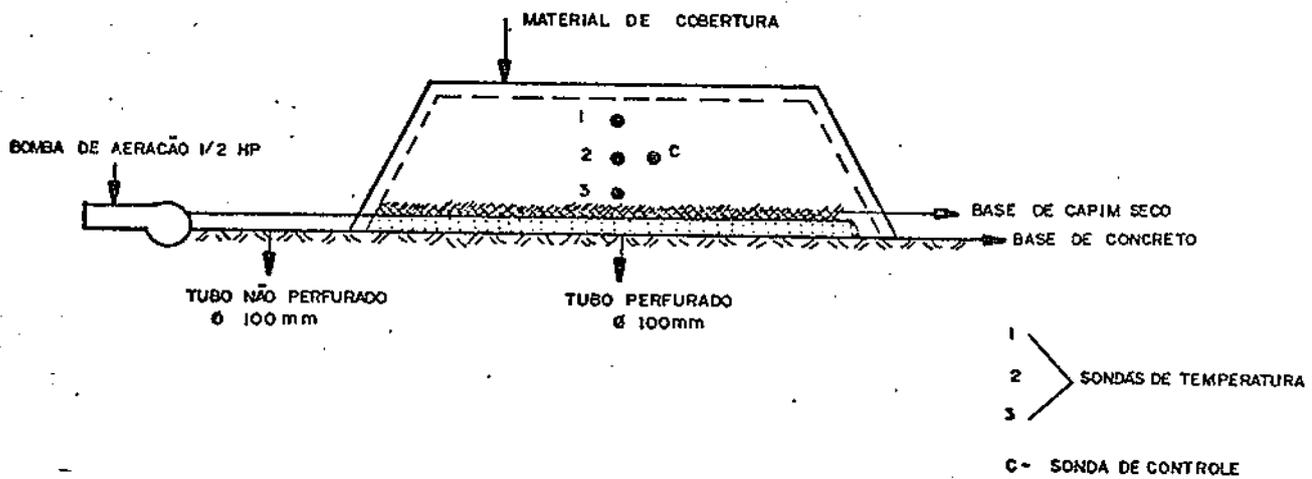


FIGURA 3.1 - SEÇÃO LONGITUDINAL DE UMA LEIRA DE COMPOSTAGEM.

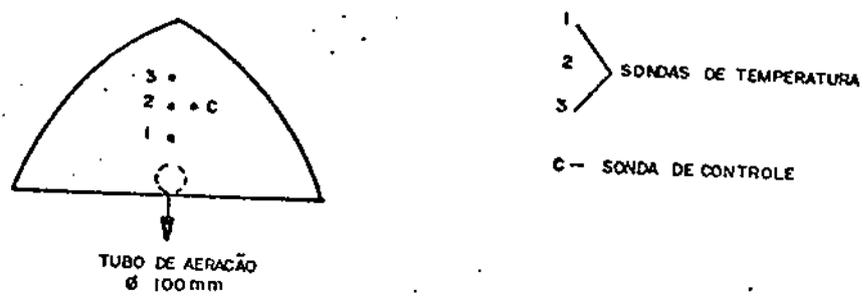


FIGURA 3.2 - POSIÇÃO DAS SONDAS DE TEMPERATURA EM UMA LEIRA DE COMPOSTAGEM DURANTE A FASE ATIVA - SEÇÃO TRANSVERSAL.

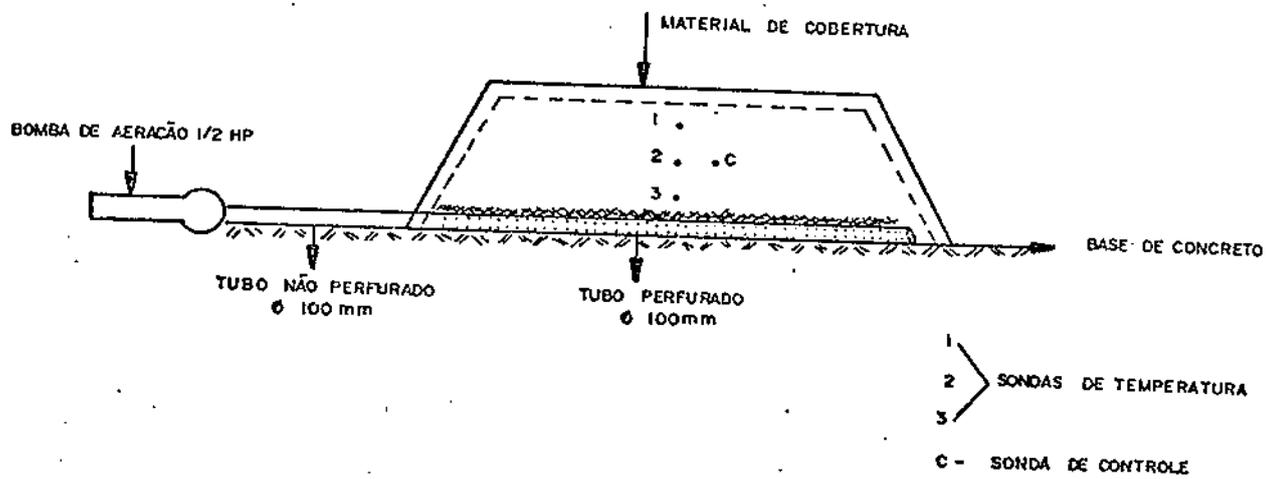


FIGURA 3.2 - POSIÇÃO DAS SONDAS DE TEMPERATURA EM UMA LEIRA DE COMPOSTAGEM DURANTE A FASE ATIVA - SEÇÃO LONGITUDINAL.

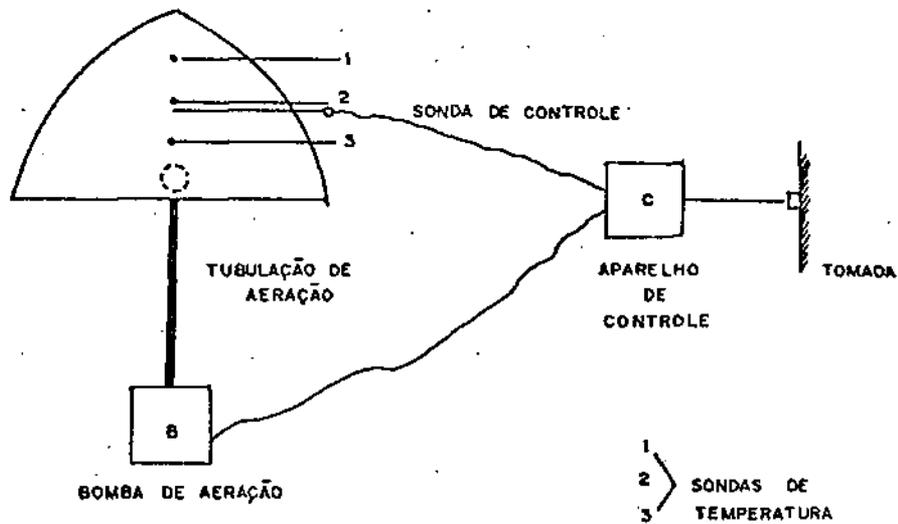


FIGURA 3.3 - ESQUEMA DO PROCESSO DE AERAÇÃO UTILIZADO NO PRESENTE ESTUDO.

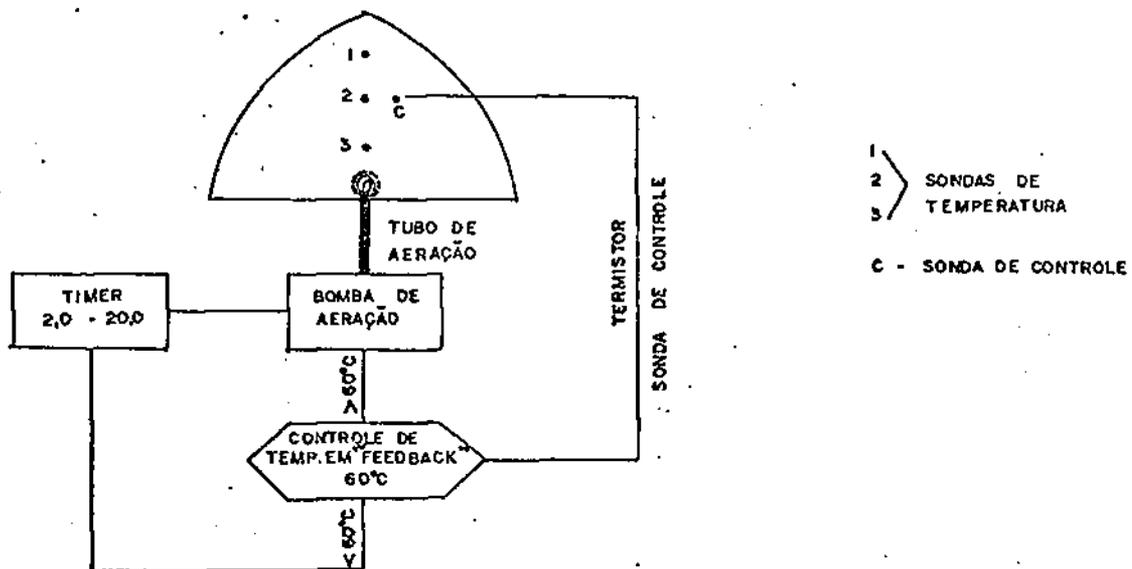


FIGURA 3.4 - SISTEMA BÁSICO DE AERAÇÃO UTILIZADO NO PRESENTE ESTUDO  
Fonte : PEREIRA NETO (1987a).

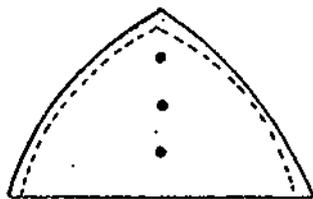


FIGURA 3.5 - PONTOS DE AMOSTRA DE UMA LEIRA DE COMPOSTAGEM DURANTE A FASE ATIVA (Seção Transversal).

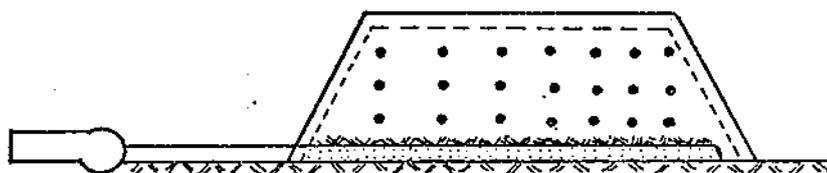


FIGURA 3.5 - PONTOS DE AMOSTRA DE UMA LEIRA DE COMPOSTAGEM DURANTE A FASE ATIVA (Seção Longitudinal).

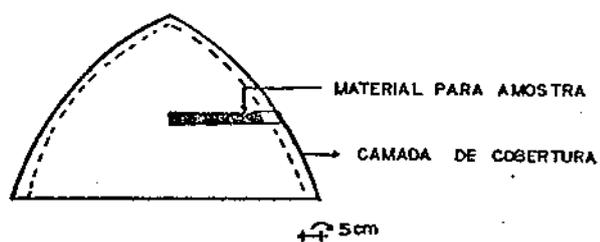


FIGURA 3.6 - PONTO DE COLETA EM UMA PILHA DE COMPOSTAGEM DURANTE A FASE DE MATURAÇÃO

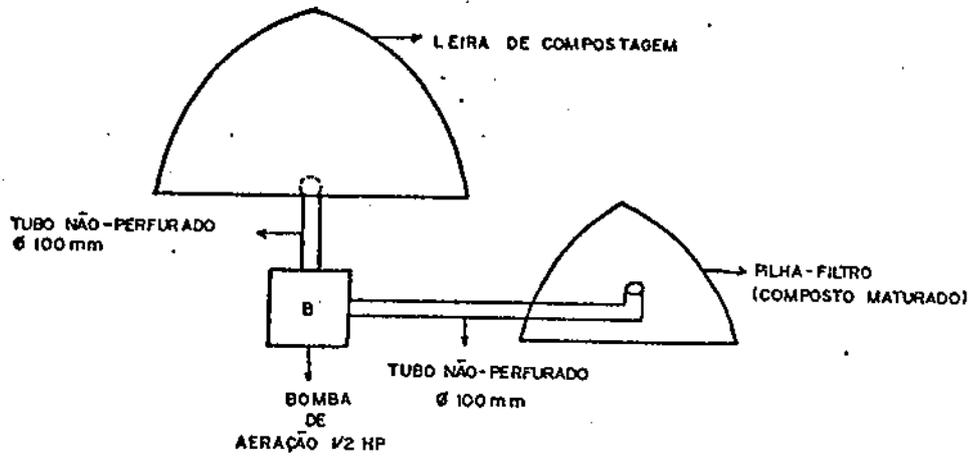


FIGURA 3.7 - SEÇÃO RETA DE UM SISTEMA DE AERAÇÃO SOB SUCCÃO DE AR.

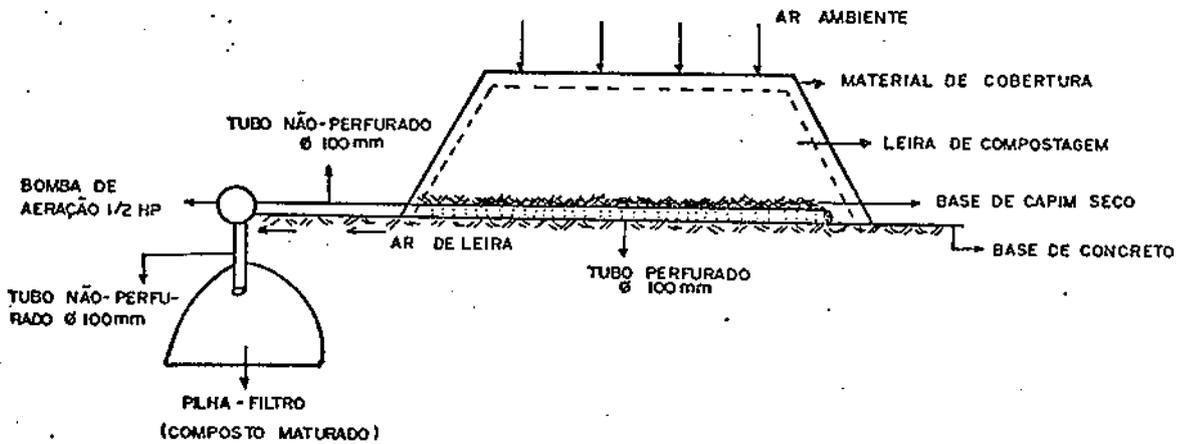


FIGURA 3.7 - SEÇÃO LONGITUDINAL DE UM SISTEMA DE AERAÇÃO SOB SUCCÃO DE AR.

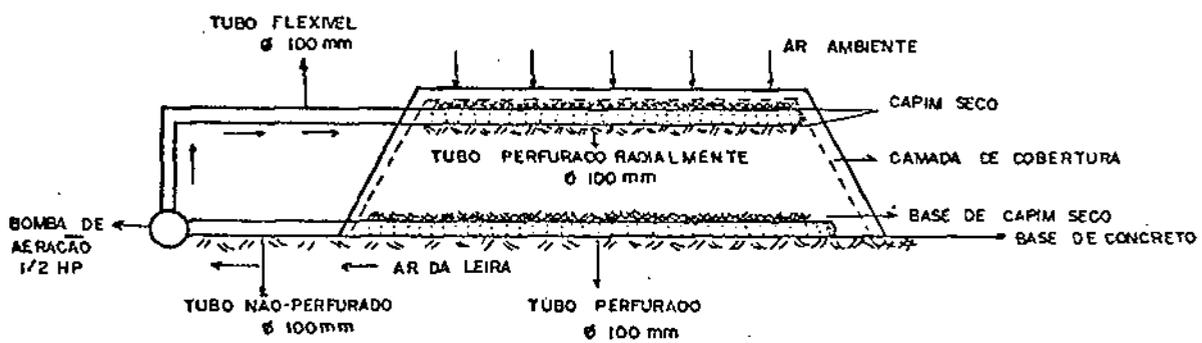


FIGURA 3.8 - SEÇÃO LONGITUDINAL DE UM SISTEMA DE AERAÇÃO SOB O MODO HÍBRIDO.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, os experimentos estão citados como descritos anteriormente no item 3.5.2, pela sigla PLTA, seguida do número da leira e da letra que indica o tipo de aeração (P - modo positivo, N - modo negativo e H - modo híbrido).

#### 4.1 - Análises Físicas

##### 4.1.1 - Densidade

A análise de densidade do material foi realizada conforme descrito anteriormente no item 3.3, sendo esta determinada através da razão entre o peso e o respectivo volume, cujos resultados encontram-se na Tabela 4.1 que apresenta a variação da densidade durante o processo de compostagem. Nesta Tabela, pode-se observar que em todos os experimentos na fase ativa houve uma redução da densidade. Isto deve-se, provavelmente, à influência da redução do teor de umidade, fato peculiar no processo de Leiras Estáticas Aeradas (Tabela 4.2) aliado à degradação da matéria orgânica (Tabela 4.5).

O modo positivo apresentou uma redução de 22,80%, o modo negativo de 30,36% e o modo híbrido de 36,72%. Esta re

dução acentuada nas leiras sob o modo híbrido, foi devido à alta redução do teor de matéria orgânica (Tabela 4.5), já que, em média o teor de umidade final foi semelhante ao modo positivo (ver ítem 4.2.1).

Na fase de maturação, onde as pilhas foram previamente umedecidas (50 - 56%), com exceção da PLTA-10-P, todas as demais apresentaram redução. A PLTA-10-P, durante toda esta fase, foi revirada, manualmente, uma vez por semana, sendo a umidade corrigida, quando necessário (valores inferiores a 40%). Este fato induz a concluir que o aumento de 5,58% na densidade foi devido às correções sucessivas da umidade.

#### 4.1.2 - Temperatura

Em todos os experimentos, independentemente do modo de aeração, a temperatura máxima das leiras, logo após a montagem, foi de 30 a 36°C. Após 24 horas, as temperaturas atingiram a fase termofílica, 45 - 55°C (Figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7). Estas temperaturas foram mantidas durante um período de quinze a quarenta e oito dias, refletindo, portanto, a eficiência do processo.

A distribuição da temperatura em cada leira é consequência de vários fatores, tais como: modo de aeração, tamanho das partículas, dimensões da leira, teor de umidade, etc.

Todas as leiras foram operadas durante a fase ativa, por um equipamento de controle automático em "feedback"

(ver item 3.5.1), cuja finalidade era manter a temperatura da leira na faixa desejada ( $55 - 60^{\circ}\text{C}$ ). As leituras diárias de temperatura, nesta fase, foram obtidas por meio de três sondas, posicionadas na base, no centro e no topo da leira (Figura 3.2). As leiras aeradas se comportam de forma contrária às leiras sob a compostagem natural (PEREIRA NETO, 1987a), pois estas não apresentam variações significativas de temperatura durante a fase ativa do processo.

O resfriamento das leiras sob o modo positivo ocorreu no dia 30, com uma temperatura registrada de  $39^{\circ}\text{C}$ . Este resultado confirma pesquisas realizadas anteriormente, que indicam ser este o tempo médio para a fase ativa (FINSTEIN *et alii*, 1985; PEREIRA NETO, 1987a).

O resfriamento da leira PLTA-12-N, ocorreu no quinquagésimo sétimo dia e a PLTA-13-N, permaneceu na fase termofílica por trinta dias, pois o processo foi interrompido porque o motor da bomba de aeração queimou. A causa da pane no motor foi atribuída a sobrecarga da bomba durante um longo período (20 - 60 minutos), para manter a temperatura de controle desejada. Este fato mostra a deficiência deste processo, pois o mesmo equipamento foi utilizado para as leiras sob o modo positivo sem causar transtornos, ficando a temperatura sob um rígido controle, com poucos minutos de funcionamento (2 - 3 minutos).

Segundo PEREIRA NETO (1987a), a razão da temperatura se elevar nas leiras de compostagem, independente do modo de aeração, é devido ao alto teor calorífico do material

associado às condições ecológicas satisfatórias na massa de compostagem (umidade, aeração, relação C/N, população microbiana, etc).

As Figuras 4.8 e 4.9 apresentam a distribuição de temperatura da seção transversal da leira para os modos positivo e negativo, respectivamente.

Como pode ser verificado através das Figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4, nos sistemas de Leiras Estáticas Aeradas (modo positivo e negativo) as temperaturas mais altas são encontradas em áreas extremas da seção transversal das leiras, ou seja, na base e no topo. Através desta observação, foi construído o sistema híbrido, utilizando-se uma combinação dos dois modos de aeração (positivo e negativo). Este sistema tinha como finalidade manter toda a massa de compostagem sob temperaturas termofílicas uniformes (obter um menor gradiente de temperatura), e conseqüentemente, aumentar a eficiência do processo quanto à eliminação de patógenos e degradação de matéria orgânica.

As leiras sob o sistema híbrido foram: PLTA-14-H, PLTA-15-H e PLTA-16-H. As leiras foram primeiramente operadas sob o modo positivo (7 dias), seguido do modo negativo (7 dias) e voltando a operar sob o modo positivo (6 dias), pois segundo PEREIRA NETO (1987a), operando-se os primeiros dias sob o modo negativo, há problemas de "chorume" e emissão de odores além da atração de vetores.

As leiras sob o sistema híbrido revelaram, com relação à distribuição de temperatura, as características dos

modos positivos e negativos (Figuras 4.5, 4.6 e 4.7).

Todas as pilhas de maturação apresentaram temperaturas elevadas (valores superiores a 40°C), nos primeiros dias, atingindo temperaturas em torno de 65°C (Figura 4.10), permanecendo nesta faixa até o final do processo. A pilha de maturação da PLTA-10-P registrou valores superiores a 70°C (Figura 4.11), devido à oxigenação que ocorria semanalmente durante o reviramento, e à correção de umidade quando necessário, apresentando desta forma uma melhor taxa de degradação de matéria orgânica.

## 4.2 - Análises Físico-Químicas

### 4.2.1 - Teor de umidade

O valor médio do teor de umidade das leiras, no dia da montagem (dia 0), foi de 59%, sendo o valor mínimo de 56,73% (PLTA-11-P) e o máximo de 62,04% (PLTA-13-N).

A Tabela 4.2 apresenta a variação do teor de umidade, durante a fase ativa. A redução média da umidade das leiras sob o modo positivo foi de 26,08%, em trinta dias. As leiras sob o modo negativo, PLTA-12-N e PLTA-13-N, registraram uma redução de 71% e 27%, respectivamente, sendo que a PLTA-12-N permaneceu na fase ativa por cinquenta e sete dias e a PLTA-13-N, conforme mencionado anteriormente, foi interrompida no trigésimo dia.

Quando a bomba de aeração está funcionando sob o modo negativo, retira da leira gases, ar e um líquido que po

de ser denominado de "chorume". Daí a necessidade deste sistema requerer a construção de uma pilha-filtro (ver item 2.6.1). Inicialmente, na leira PLTA-12-N, no lugar da pilha-filtro, foi colocado um recipiente de 150 litros, cuja finalidade era medir a quantidade de "chorume" retirado da leira diariamente, como também analisá-lo. Isto só foi possível nas primeiras 33 horas do processo, pois o odor emanado da leira foi muito forte e impossibilitou tais medições. Assim sendo, foi necessário construir imediatamente a pilha-filtro. Neste período inicial, foram coletados três litros de "chorume", nos quais foram feitas as análises de DQO, nitrogênio, sólidos totais e determinação de Estreptococos (Tabela 4.3). Os resultados mostraram um líquido altamente poluente, do ponto de vista químico e bacteriológico, acarretando conseqüentemente, a poluição da pilha-filtro, indicando assim mais uma desvantagem do referido processo.

Segundo PEREIRA NETO (1987a), a perda de água é uma das desvantagens deste processo, porém alguns pesquisadores (FINSTEIN *et alii*, 1980a; 1983) consideram que o modo positivo apresenta mais perdas do que o negativo. Os resultados obtidos neste trabalho, indicam entretanto que no modo negativo há mais perda de água, pois o material no final da fase ativa apresenta um teor de umidade muito baixo (inferior a 20%, ver Tabela 4.2). Este resultado é contrário às recomendações feitas pela literatura especializada (KIEHL, 1985; PEREIRA NETO, 1987a), que indica a impossibilidade do teor de umidade ser inferior a 40%, pois inibe a atividade microbiana, acarretando uma degradação de matéria orgânica lenta

(item 2.6.2).

As leiras, sob o sistema híbrido (Tabela 4.2), apresentaram durante a fase ativa (20 dias) uma redução média de 27,21% com relação ao teor de umidade inicial.

Na fase de maturação, a média do teor de umidade inicial foi de 53,96% (Tabela 4.2). A redução da pilha PLTA-10-P foi de 16,73% e das demais de 25,10%. Estes resultados indicam que durante esta fase, o reviramento é importante, pois facilita a correção de umidade do material, quando se fizer necessário.

#### 4.2.2 - Sólidos voláteis

O valor médio do teor de sólidos voláteis na matéria-prima foi de 78,26%, sendo o mínimo de 70,94% (PLTA-11-P) e o máximo de 86,65% (PLTA-14-H).

A Tabela 4.5 apresentará a variação do teor de sólidos voláteis na fase ativa. Durante esta fase, as leiras sob o modo positivo apresentaram uma redução de 20,79%, enquanto que nas leiras sob o modo negativo foi de 6,02%, para a PLTA-12-N em cinquenta e sete dias e de 12,02%, para a PLTA-13-N em trinta dias, quando o processo foi interrompido. Esta diferença revela que o modo negativo é variável e que um teor de umidade baixo (valor inferior a 40%) inibe a atividade microbiana e resulta em uma lenta degradação de matéria orgânica. As leiras, operadas sob o modo híbrido, apresentaram uma redução média de 35,43%. Este método apresentou uma alta eficiência em termos de degradação de matéria

orgânica com relação aos dois outros métodos estudados.

A Tabela 4.5 apresenta os resultados obtidos de de gradação de matéria orgânica, durante a fase de maturação . Nesta tabela, pode-se observar que na pilha PLTA-10-P (re virada) a redução foi de 50,21% e que as demais, apresenta ram uma redução média de 39,91%. Este resultado revela que quando o material, nesta fase, também é aerado, há uma con siderável redução adicional do teor de matéria orgânica.

#### 4.2.3 - Carbono orgânico total

O carbono orgânico total foi obtido através da ra zão entre o teor de sólidos voláteis e o fator 1.8 (item 3.3).

Durante a fase ativa, as leiras sob o modo positivo registraram, em média, uma redução de 20,77% (30 dias). Nas leiras sob o modo negativo foi de 6,02% para a leira PLTA - 12-N e 12,02% para a PLTA-13-N (Tabela 4.6). Estes resulta dos decorrem dos fatores já citados no item 4.2.2. As lei ras sob o modo híbrido apresentaram, em média, uma redução de 35,43%, que mais uma vez confirma a superioridade deste processo com relação à degradação de material carbonatado.

Durante a fase de maturação, a redução do carbono (Tabela 4.6) foi de 50,21% para a PLTA-10-P, e em média, de 39,91% para as demais, o que revela a importância do revi ramento nas pilhas de maturação.

#### 4.2.4 - pH

O valor médio do pH na matéria-prima foi 5,0.

Durante a fase ativa, o pH foi gradualmente crescendo da faixa ácida para a alcalina (Tabela 4.4). Todas as leiras apresentaram no final da fase ativa um valor na ordem de 7,02 a 9,65.

Na fase de maturação (Tabela 4.4), o pH permaneceu na faixa alcalina (7,70 - 9,35).

Os resultados obtidos nos experimentos foram coerentes com os estudos realizados por outros pesquisadores (SKITT, 1972; PEREIRA NETO, 1987a).

#### 4.3 - Análises Químicas

##### 4.3.1 - Nitrogênio total

O nitrogênio é um dos principais nutrientes necessários ao crescimento dos microrganismos durante o processo de compostagem (item 2.6.4).

Segundo PEREIRA NETO (1987a), o nitrogênio é encontrado em diversas formas nos substratos orgânicos e, constantemente é transformado, através de complexas interações entre alguns grupos de microrganismos. Neste processo, o nitrogênio pode ser transformado através da assimilação, nitrificação, desnitrificação, fixação microbiana, etc, os quais fazem o balanço do nitrogênio durante o processo de compostagem.

A concentração de nitrogênio total, dependendo do meio, poderá aumentar, diminuir ou ter algumas variações du

rante a compostagem.

A Tabela 4.7 apresenta os resultados obtidos do nitrogênio na fase ativa. Com exceção das leiras PLTA-12-N e PLTA-13-N, que apresentaram resultados variáveis, o teor de nitrogênio cresceu, em média, 26,80%, registrando um crescimento mínimo de 16,40% e máximo de 35,30%.

BISHOP e GODFREY (1983) e PEREIRA NETO (1987a) relatam que o aumento da concentração de nitrogênio acontece, provavelmente, por causa da fixação do nitrogênio pelas bactérias fixadoras-de-nitrogênio. Tais bactérias, segundo BERTOLDI (1983), participam dos processos de compostagem em leiras.

POINCELOT (1975) explica que o decrêscimo do nitrogênio, ocorre, provavelmente, devido à volatilização da amônia e que este fenômeno é mais acentuado em meios com temperatura alta e pH alcalino.

De acordo com PEREIRA NETO (1987a), os principais fatores que contribuem para a perda de nitrogênio durante a compostagem são:

- i ) perda não-biológica da amônia (volatilização natural);
- ii ) decomposição química do nitrato;
- iii) desnitrificação microbiológica para a liberação do nitrogênio molecular ( $N_2$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ) e óxido nítrico ( $NO_2$ ).

Durante a fase de maturação (Tabela 4.7), a concen-

tração de nitrogênio se comportou de forma muito variável.

#### 4.3.2 - Relação C/N

Para que haja uma boa atividade microbiana na compostagem, alguns autores (JERIS e REGAN, 1985; GOLUEKE, 1977) concluíram que é necessário uma relação C/N inicial na faixa de 30 a 40:1. Entretanto, PEREIRA NETO (1987a) cita que para alguns materiais celulolíticos, uma relação C/N maior (até 30% do valor recomendado), pode ser utilizada sem que o processo seja significativamente afetado.

A Tabela 4.8 apresenta a relação C/N na matéria-prima e durante a fase ativa das leiras de compostagem. Em média, as leiras sob o modo positivo, apresentaram uma redução de 25,40%, sob o modo negativo de 30,56% (PLTA-12-N) e 28,57% (PLTA-13-N); por sua vez, as leiras, sob o modo híbrido, registraram uma redução de 49,36%. Durante a fase de maturação, a relação C/N foi muito variável (Tabela 4.8), tendo em vista que o nitrogênio apresentou-se variável nesta fase (Tabela 4.7).

A relação C/N é um parâmetro importante, pois pode ser utilizado como um indicador do grau de maturação (item 3.6). Através da Tabela 4.8, pode-se observar que a relação C/N final das leiras sob os modos positivo e híbrido apresentaram valores dentro da faixa recomendada por PEREIRA NETO (1987a), que é de 10 a 15. As leiras sob o modo negativo registraram valores superiores ao recomendado (17 e 23). Vale ressaltar que uma alta relação C/N não significa que o

material não possa ser utilizado, pois segundo POINCELOT (1975), em muitos compostos orgânicos o carbono não está biologicamente disponível (ver item 2.6.4).

#### 4.4 - Análise Bacteriológica

##### 4.4.1 - Determinação de Estreptococos fecais

Como foi visto no capítulo anterior (item 3.3), os Estreptococos foram utilizados como indicadores de microrganismos patogênicos durante o processo de compostagem.

A Tabela 4.9 apresenta os resultados das análises de Estreptococos. Nesta Tabela, pode-se observar que em todos os sistemas estes microrganismos patogênicos foram eliminados durante a fase de aeração. Entretanto estes resultados diferem daqueles da bibliografia especializada (BISHOP *et alii*, 1983; GREENBERG *et alii*, 1986), que relata a destruição dos patógenos, no processo de Leiras Estáticas Aerdas, num período de três dias, caso a temperatura interna da leira permaneça entre 55 e 60°C. Nesta pesquisa, a eliminação dos patógenos ocorreu após o décimo sexto dia da primeira fase.

Após o término da fase ativa das leiras, sob o modo negativo, foram feitas as análises de Estreptococos nas pilhas-filtro, onde foi constatado um grau de contaminação de  $5 \times 10^4$  ef/g. Este resultado, comprova mais uma vez, a desvantagem deste sistema, pois além de permanecer um longo período na fase de aeração, acarreta um gasto maior de energia,

sobrecarrega os equipamentos de aeração (bomba e controle) e deixa a pilha-filtro em um grau de elevada contaminação biológica.

#### 4.5 - Outras Observações

##### 4.5.1 - Aparência da leira

A aparência das leiras é uma consequência do teor de umidade superficial e da taxa de degradação da matéria orgânica (PEREIRA NETO, 1987a).

As leiras, sob o modo positivo, apresentaram uma aparência um pouco úmida, até o quinto dia, sendo que o "pê" da leira (+ 30 cm do solo) apresentava-se mais úmido.

As leiras, sob o modo negativo, registraram uma aparência seca logo no terceiro dia, e sob o modo híbrido, se mostraram ressequidas a partir do sexto dia. Quando estas leiras estavam sendo operadas no modo negativo, o topo apresentou-se bem úmido, pois o líquido que era retirado na parte inferior da leira retornava à mesma pelo topo.

##### 4.5.2 - Odor

Durante o processo de compostagem, foram feitas observações diárias quanto à emissão de odores das leiras de compostagem.

A matéria-prima se caracterizava por apresentar um odor "azedo-adocicado". As leiras, sob o modo positivo, apre-

sentaram odor (sentido, somente, próximo às leiras) até o quarto dia; as leiras, sob o modo negativo, registraram um forte odor até o sexto dia, ficando mais intenso quando a bomba funcionava. O odor emanado das leiras, sob o modo híbrido, se comportou de forma similar ao das leiras sob o modo positivo, sendo o odor sentido até o quarto dia.

#### 4.5.3 - Atração de vetores

Durante a fase ativa, as leiras, sob o modo positivo, atraíram alguns vetores (moscas e mosquitos) até o terceiro dia. Nas leiras, sob o modo negativo, foi registrada a presença desses mesmos vetores até o sexto dia, sendo que nas pilhas-filtro foi observado que durante todo o processo havia grande quantidade de moscas e mosquitos. As leiras, sob o modo híbrido, se comportaram de modo similar às do modo positivo e registraram a presença de vetores só até o terceiro dia.

Vale salientar que a presença desses vetores nas leiras aeradas era em quantidade normal e ocorrente em uma residência, revelando, portanto, uma vantagem em se utilizar o processo de Aeração Forçada, sobretudo os modos positivo e híbrido, pois do ponto de vista sanitário os vetores acima citados são responsáveis por inúmeras doenças (FSESP, 1981).

Na fase de maturação foi registrada a presença de alguns mosquitos até o segundo dia de montagem da pilha. Também foi observado que durante o reviramento da PLTA-10-P

não houve atração dos vetores.

#### 4.6 - Construção das leiras

Todas as leiras de compostagem foram construídas manualmente (seção 3.4), utilizando as recomendações feitas pela literatura especializada (PEREIRA NETO, 1987a).

Estudos realizados anteriormente (PEREIRA NETO, 1987a) relatam que alguns fatores durante a construção das leiras influenciam a compostagem, como:

##### i ) Configuração geométrica

Segundo GOLUEKE (1977), as leiras devem ter seção transversal triangular (Figura 3.1), a fim de que a água da chuva possa escorrer sem prejudicar o processo de compostagem.

Durante a pesquisa, choveu alguns dias, inclusive no dia da montagem da leira PLTA-10-P, e foi observado que o processo não foi alterado, confirmando portanto, a recomendação citada anteriormente. A água da chuva, dependendo da intensidade, pode ser absorvida pela camada de cobertura sem interferir na dinâmica biológica do processo (PEREIRA NETO, 1987a).

##### ii ) Dimensões

Os experimentos foram montados de acordo com a literatura especializada (PEREIRA NETO, 1987a), sendo o fator determinante na montagem das leiras de compostagem, o prô-

prio ângulo de atrito do material.

Em média, as leiras tinham as seguintes dimensões:

- . Largura : 3,00 metros;
- . Altura : 1,10 metros; e
- . Comprimento : 7,75 metros.

### iii) Material de base

O material de base, utilizado nas leiras, foi o capim seco, usado para cobrir o tubo de aeração, estendendo-se cerca de 1,00 metro para cada lado a partir desse tubo.

Segundo PEREIRA NETO (1987a), o uso do capim seco traz uma série de vantagens, como:

i ) prevenção de entupimentos nos furos do tubo de ventilação, pelas partículas finas;

ii ) capacidade de absorver qualquer unidade excessiva da leira, mantendo assim, as características iniciais do material;

iii) propicia uma melhor distribuição do ar;

iv ) pode ser incorporado no composto, após a primeira fase.

A Figura 3.1 mostra a seção típica transversal de uma leira de compostagem.

### iv ) Camada de cobertura

A cobertura das leiras, desta pesquisa, foi feita de acordo com a literatura especializada (FINSTEIN *et alii*,

1980a; PEREIRA NETO, 1987a), que recomenda uma camada na faixa de 150 a 300mm.

Como foi visto no Capítulo II, seção 2.6.1, é de grande importância a camada de cobertura, pois traz uma série de benefícios:

- i ) filtra os gases e odores emanados da leira;
- ii ) evita a atração de vetores (moscas, mosquitos, etc);
- iii) atenua de modo satisfatório o efeito da chuva na massa de compostagem;
- iv ) propicia um melhor aspecto estético à leira;
- v ) funciona como isolante térmico;
- vi ) permite uma melhor distribuição da temperatura no material a ser compostado.

#### v) Sistema de aeração

As leiras, sob o modo positivo, foram construídas de acordo com a descrição do item 3.4, do terceiro capítulo. Durante todo o processo de compostagem, as bombas funcionaram normalmente, sem nenhum transtorno, neste sistema como também no sistema híbrido; o que não aconteceu com o sistema negativo, onde foi observada a queima de vários fusíveis e do motor de uma das bombas de aeração.

No sistema negativo, houve necessidade de construir uma pilha-filtro, para filtrar os gases e odores emanados da leira (Figura 3.7). OBENG e WRIGHT (1987) recomendam a

construção da pilha-filtro da seguinte maneira: para cada 10 toneladas de material a ser compostado é necessário  $1 \text{ m}^3$  de composto maturado. Nesta pesquisa, as pilhas-filtro foram construídas seguindo a recomendação citada anteriormente, sendo que o volume precisou ser acrescido, devido aos odores emanados das leiras. Pela bibliografia citada acima, o volume de cada pilha-filtro deveria ser  $0,45 \text{ m}^3$ . Entretanto nos experimentos montados, cada pilha-filtro só cumpriu seus objetivos após atingir um volume mínimo de  $0,60 \text{ m}^3$ , ou seja,  $1 \text{ m}^3$  de pilha-filtro, corresponde a 7,5 toneladas de material a ser compostado.

Outra desvantagem do sistema negativo sobre os demais, além dos que foram citados anteriormente, diz respeito à área necessária ocupada pela pilha-filtro, que aumenta consideravelmente a área do pátio de compostagem em escala real de trabalho.

No sistema híbrido, quando as leiras estavam sendo operadas, sob o modo negativo, a parte superior servia de pilha-filtro (Figura 3.8).

#### 4.7 - Término da Fase Ativa

Neste trabalho, o parâmetro utilizado para avaliar a eficiência do processo de compostagem, durante a fase ativa, foi a temperatura. Este controle indica com precisão quando o material pode ser posto para maturação.

O término da fase ativa das leiras, sob os modos positivo e negativo, ocorreu nos dias trinta e cinquenta e se

te, respectivamente, confirmando, trabalhos realizados anteriormente (PEREIRA NETO, 1987a). Já as leiras, sob o modo híbrido, que foi o processo desenvolvido neste estudo, registraram o final dessa fase no dia vinte, comprovando mais uma vez a eficiência deste método, pois em um período menor de tempo houve uma maior degradação de matéria orgânica, como também na eliminação de patógenos.

#### 4.8 - Término da Fase de Maturação

O término da fase de maturação foi verificado através da relação C/N, por ser uma determinação rápida e precisa do grau de maturação do material.

Nesta fase, foi observado que a temperatura permanece alta durante todo o processo, devido às características isolante-térmicas do material.

Tabela 4.1 - Valores da Densidade da Matéria-Prima e Variação durante o período de Compostagem.

Experimentos	Densidade	Fase Ativa						Modo de Aeração
	Matéria-Prima (kg/m <sup>3</sup> )	Densidade Inicial (kg/m <sup>3</sup> )	Densidade Final (kg/m <sup>3</sup> )	Tempo de Duração (dias)	Densidade Inicial (kg/m <sup>3</sup> )	Densidade Final (kg/m <sup>3</sup> )	Tempo de Duração (dias)	
PLTA-10-P	548,25	556,28	384,62	30	479,50	506,30	60	Positivo
PLTA-11-P	474,48	520,50	439,16	30	508,40	377,77	60	Positivo
PLTA-12-N	432,69	457,70	331,00	57	368,90	267,14	60	Negativo
PLTA-13-N	482,52	501,90	336,13	30	350,33	267,90	60	Negativo
PLTA-14-H	430,07	460,25	316,71	20	398,90	305,44	60	Híbrido
PLTA-15-H	441,73	462,20	349,06	20	386,50	301,82	60	Híbrido
PLTA-16-H	455,71	471,73	349,28	20	468,30	335,39	60	Híbrido

Tabela 4.2 - Variação do Teor de Umidade durante o período de Compostagem.

Experimento	Modo de Aeração	Matéria-Prima	TEOR DE UMIDADE											
			FASE ATIVA						FASE DE MATURAÇÃO					
			Dias						Dias					
			0	4	8	16	20	30	57	0	15	30	45	60
PLTA-10-P	Positivo	57,51	58,14	58,09	53,29	51,31	-	44,45	-	53,74	47,49	53,90	49,19	44,75
PLTA-11-P	Positivo	56,72	56,73	46,71	47,65	47,30	-	40,50	-	54,72	45,76	42,64	41,98	40,66
PLTA-12-N	Negativo	52,65	57,51	55,29	55,29	50,37	-	34,57	16,92	56,08	45,06	44,42	43,97	40,61
PLTA-13-N	Negativo	57,61	62,04	58,65	58,62	56,41	-	35,48	Interrompido	52,49	47,59	45,26	43,47	40,14
PLTA-14-H	Híbrido	52,39	58,42	57,62	48,00	44,39	40,20	-	-	52,50	48,60	44,53	44,60	40,20
PLTA-15-H	Híbrido	53,22	58,95	54,28	48,93	47,04	44,52	-	-	52,40	47,59	43,80	35,92	40,92
PLTA-16-H	Híbrido	51,22	61,56	55,35	52,90	44,94	45,58	-	-	55,88	47,37	44,47	42,89	40,02

Tabela 4.3 - Características do "Chorume" coletado da leira sob sucção de ar no primeiro dia de compostagem.

Amostra	DQO (mg/l)	N	Sólidos totais (mg/l)	Sólidos totais fixos (mg/l)	Sólidos totais voláteis (mg/l)	Estreptococos fecais (ef/g)
PLTA-12	11.319	0,036	450	100	350	5 x 10 <sup>4</sup>

Tabela 4.4 - Variação do pH durante o período de Compostagem.

Experimento	Modo de Aeração	Matéria-Prima	pH											
			FASE ATIVA						FASE DE MATURAÇÃO					
			Dias						Dias					
			0	4	8	16	20	30	57	0	15	30	45	60
PLTA-10-P	Positivo	4,85	4,99	5,19	5,14	5,30	-	7,45	-	7,16	7,65	9,03	9,36	9,09
PLTA-11-P	Positivo	5,10	5,10	7,30	8,36	8,86	-	9,65	-	9,23	8,82	9,25	9,36	9,35
PLTA-12-N	Negativo	5,09	4,98	5,13	5,41	6,11	-	7,41	8,02	7,92	8,62	8,53	8,78	9,15
PLTA-13-N	Negativo	4,64	4,79	4,96	4,98	5,05	-	7,02	Interrompido	7,74	7,54	7,27	7,70	7,50
PLTA-14-H	Híbrido	5,52	5,82	6,44	6,48	6,20	8,40	-	-	8,66	8,21	8,62	8,95	8,33
PLTA-15-H	Híbrido	4,23	6,22	6,59	6,09	6,39	7,47	-	-	7,97	7,74	8,73	8,11	7,87
PLTA-16-H	Híbrido	5,77	6,06	6,28	6,64	6,98	7,38	-	-	8,73	8,25	9,04	9,82	9,78

Tabela 4.5 - Variação do Teor de Sólidos Voláteis durante o processo de Compostagem.

Experimento	Modo de Aeração	Matéria-Prima	SÓLIDOS VOLÁTEIS (%)											
			FASE ATIVA							FASE DE MATURAÇÃO				
			Dias							Dias				
			0	4	8	16	20	30	57	0	15	30	45	60
PLTA-10-P	Positivo	72,71	72,00	71,00	69,03	66,50	-	61,50	-	72,25	54,94	40,95	38,03	35,97
PLTA-11-P	Positivo	70,94	65,00	52,81	52,85	52,26	-	47,43	-	66,79	42,13	37,02	34,66	34,43
PLTA-12-N	Negativo	76,12	71,12	70,00	69,10	68,50	-	67,27	66,84	65,83	60,56	58,24	54,54	52,81
PLTA-13-N	Negativo	81,39	75,22	74,02	72,50	71,00	-	66,18	Interrompido	75,49	67,81	67,30	54,54	52,65
PLTA-14-H	Híbrido	86,65	77,88	75,98	74,00	70,50	49,55	-	-	66,49	65,44	63,03	59,31	36,49
PLTA-15-H	Híbrido	77,74	77,50	75,04	72,50	68,00	50,19	-	-	71,08	67,52	65,36	64,72	34,68
PLTA-16-H	Híbrido	82,25	75,32	72,00	66,50	56,00	49,21	-	-	64,52	58,58	56,67	50,55	35,93

Tabela 4.6 - Variação do Teor de Carbono durante o processo de Compostagem.

Experimento	Modo de Aeração	Matéria-Prima	CARBONO (%)											
			FASE ATIVA						FASE DE MATURAÇÃO					
			Dias						Dias					
			0	4	8	16	20	30	57	0	15	30	45	60
PLTA-10-P	Positivo	40,40	40,00	39,44	38,35	36,94	-	34,20	-	40,13	30,53	22,75	21,13	19,98
PLTA-11-P	Positivo	39,41	36,11	29,34	29,36	29,04	-	26,35	-	37,11	23,41	20,57	19,26	19,13
PLTA-12-N	Negativo	42,29	39,51	38,89	38,39	38,06	-	37,37	37,13	36,57	33,64	32,36	30,30	29,34
PLTA-13-N	Negativo	45,22	41,79	41,12	40,28	39,44	-	36,77	Interrompido	41,94	37,67	37,39	30,30	29,25
PLTA-14-H	Híbrido	48,14	43,27	42,21	41,11	39,17	27,53	-	-	36,94	36,36	35,02	32,95	20,27
PLTA-15-H	Híbrido	43,19	43,06	41,69	40,28	37,78	27,88	-	-	39,49	37,52	36,31	35,96	19,27
PLTA-16-H	Híbrido	45,69	41,84	40,00	36,94	31,11	27,34	-	-	38,22	32,54	31,48	28,08	19,96

Tabela 4.7 - Variação da Concentração de Nitrogênio Total durante o período de Compostagem.

Experimento	Modo de Aeração	Matéria-	NITROGÊNIO TOTAL											
			FASE ATIVA						FASE DE MATURAÇÃO					
			Dias						Dias					
			0	4	8	16	20	30	57	0	15	30	45	60
PLTA-10-P	Positivo	1,080	1,000	1,100	1,115	1,200	-	1,353	-	1,324	1,428	1,341	1,310	1,631
PLTA-11-P	Positivo	1,099	1,102	1,223	1,226	1,168	-	1,435	-	1,533	1,236	1,229	1,231	1,405
PLTA-12-N	Negativo	1,085	1,100	1,398	1,215	1,135	-	1,358	1,480	1,741	1,583	1,452	1,187	1,747
PLTA-13-N	Negativo	1,092	1,188	1,240	1,277	1,003	-	1,488	Interrompido	1,543	1,375	1,387	1,436	1,250
PLTA-14-H	Híbrido	1,090	1,122	1,144	1,185	1,188	1,393	-	-	1,535	1,406	1,223	1,491	1,534
PLTA-15-H	Híbrido	1,158	1,095	1,214	1,200	1,177	1,394	-	-	1,671	1,433	1,326	1,341	1,513
PLTA-16-H	Híbrido	1,000	1,059	1,178	1,179	1,367	1,395	-	-	1,552	1,572	1,352	1,321	1,648

Tabela 4.8 - Variação da Relação C/N durante o período de Compostagem.

Experimento	Modo de Aeração	Matéria-Prima	RELAÇÃO C/N											
			FASE ATIVA							FASE DE MATURAÇÃO				
			Dias							Dias				
			0	4	8	16	20	30	57	0	15	30	45	60
PLTA-10-P	Positivo	37	30	36	34	31	-	25	-	25	21	17	16	12
PLTA-11-P	Positivo	36	33	24	24	25	-	18	-	24	19	17	16	14
PLTA-12-N	Negativo	39	36	28	32	34	-	28	25	21	21	22	26	17
PLTA-15-N	Negativo	41	35	33	32	39	-	23	Interrompido	27	27	27	21	23
PLTA-14-H	Híbrido	44	39	37	35	33	20	-	-	24	26	28	22	13
PLTA-15-H	Híbrido	37	39	34	34	32	20	-	-	24	26	27	27	13
PLTA-16-H	Híbrido	46	40	34	31	23	20	-	-	25	21	21	21	12

Tabela 4.9 - Redução de Estreptococos fecais durante a fase ativa de Degradação.

Experimento	Modo de Aeração	ESTREPTOCOCOS FECAIS (ef/g)						
		Matéria-Prima	DIAS					
			0	8	16	20	30	57
PLTA-10-P	Positivo	$4 \times 10^5$	$4 \times 10^5$	$35 \times 10^4$	$7 \times 10^3$	-	0	-
PLTA-11-P	Positivo	$5 \times 10^6$	$5 \times 10^6$	$75 \times 10^4$	$5 \times 10^2$	-	0	-
PLTA-12-N	Negativo	$2 \times 10^5$	$2 \times 10^5$	$5 \times 10^3$	$4 \times 10^2$	-	-	0
PLTA-13-N	Negativo	$10^6$	$10^6$	$4 \times 10^4$	$4 \times 10^3$	-	0	-
PLTA-14-H	Híbrido	$10^5$	$10^5$	$2 \times 10^4$	$2 \times 10^3$	0	-	-
PLTA-15-H	Híbrido	$10^5$	$10^5$	$5 \times 10^3$	$2 \times 10^3$	0	-	-
PLTA-16-H	Híbrido	$10^8$	$10^8$	$4 \times 10^6$	$4 \times 10^2$	0	-	-

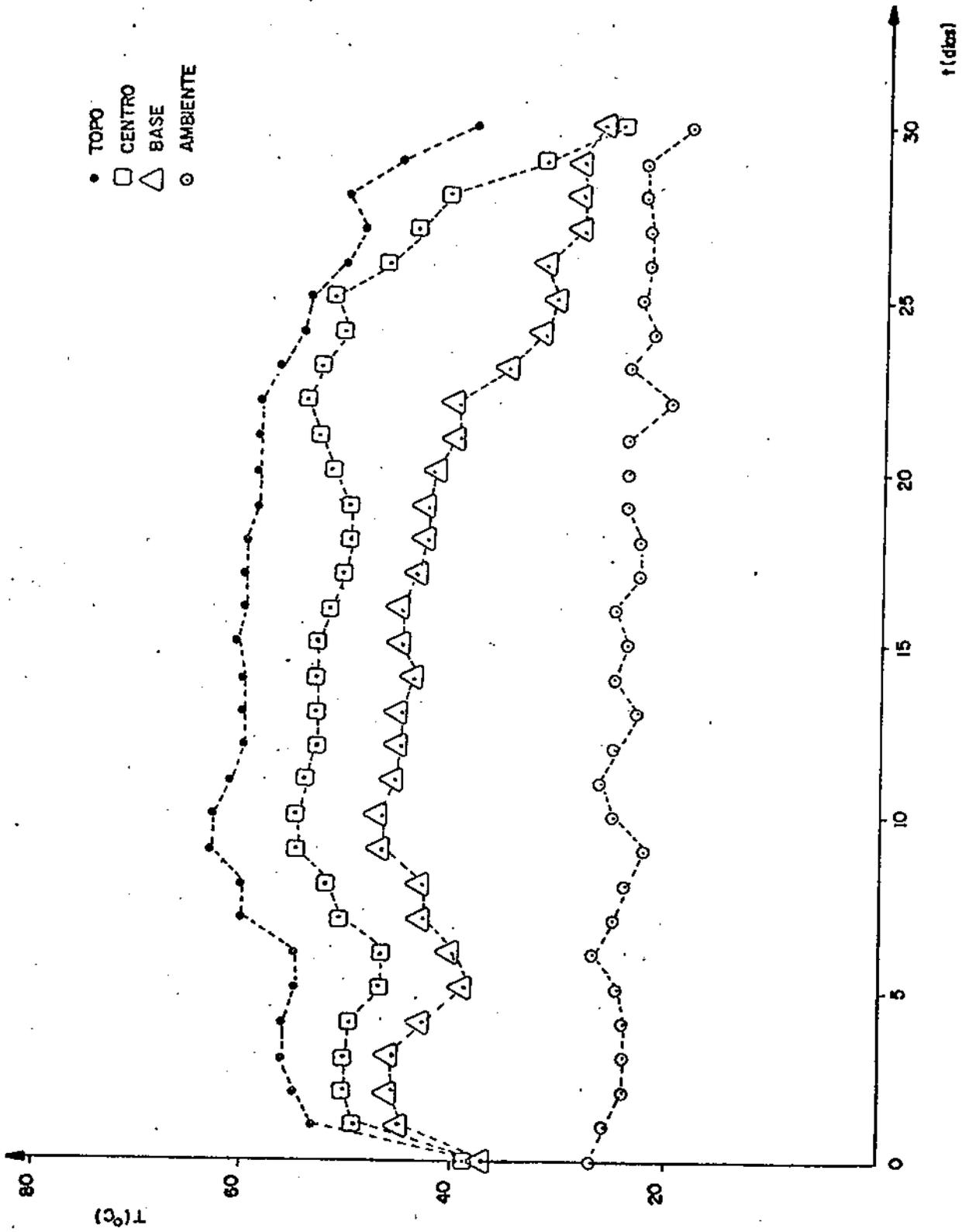


FIGURA 4.1 - VARIACÃO DE TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (PLTA-10-P).

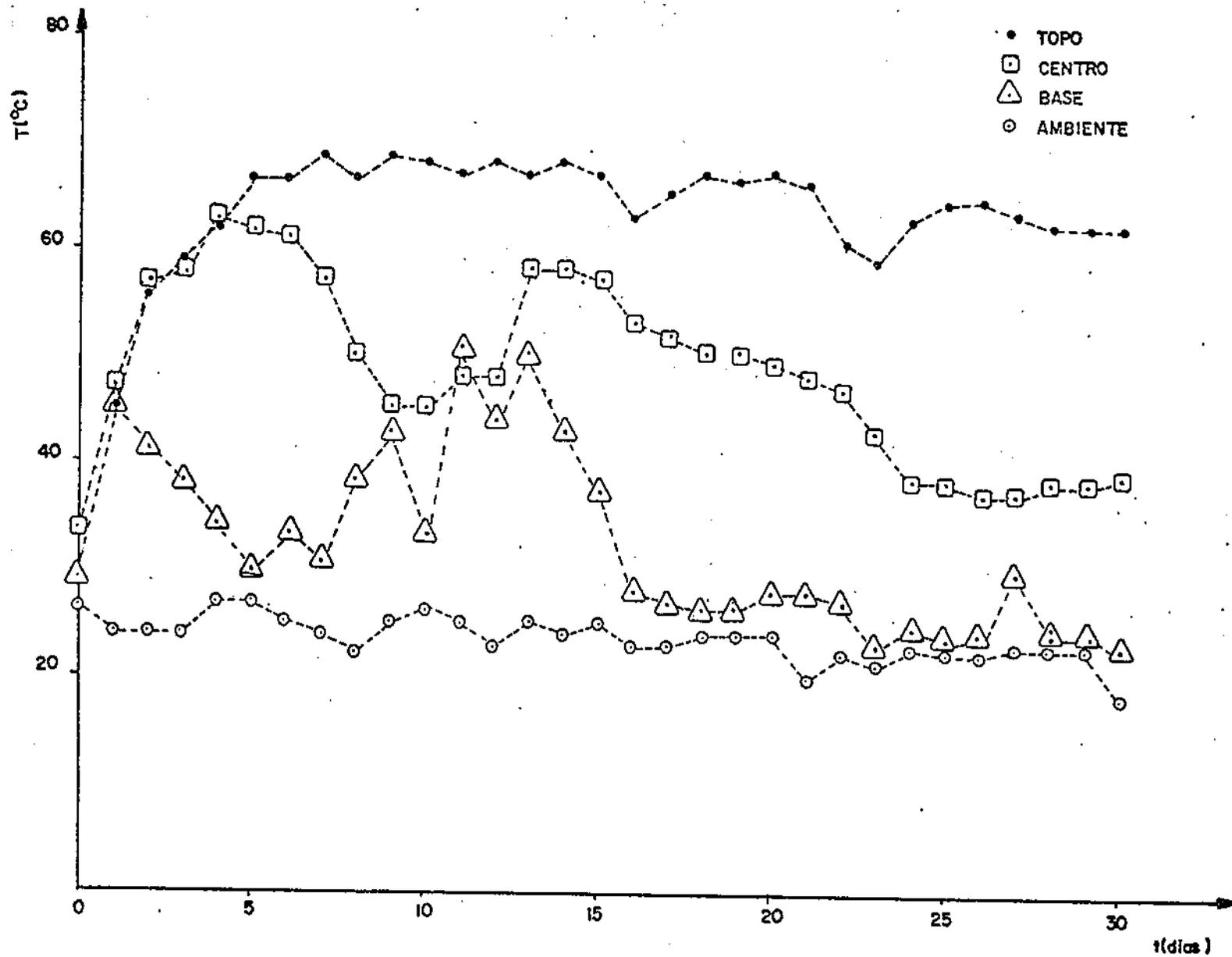


FIGURA 4.2 - VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (PLTA-II-P)

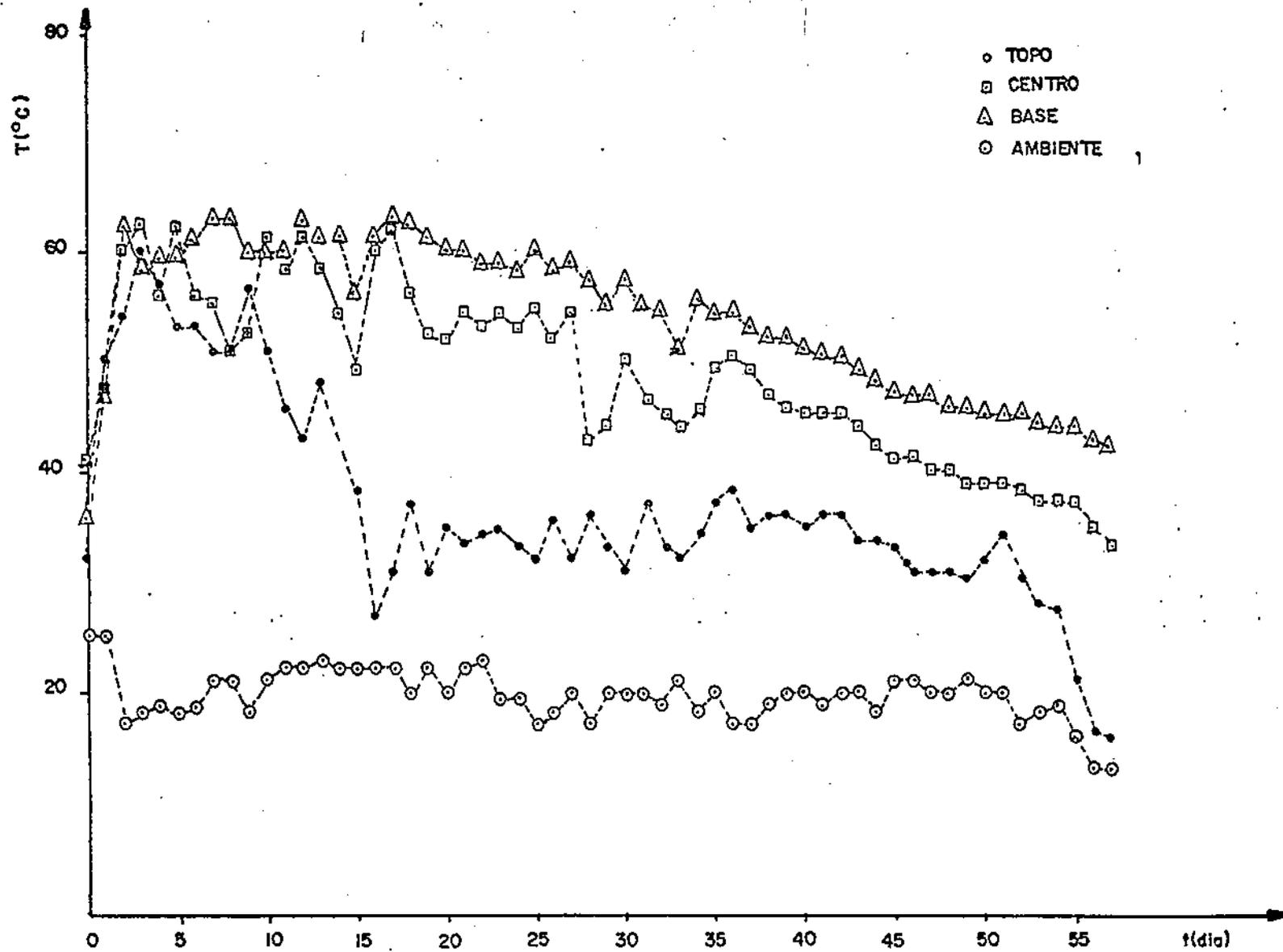


FIGURA 4.3 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (PLTA - 12 - N)

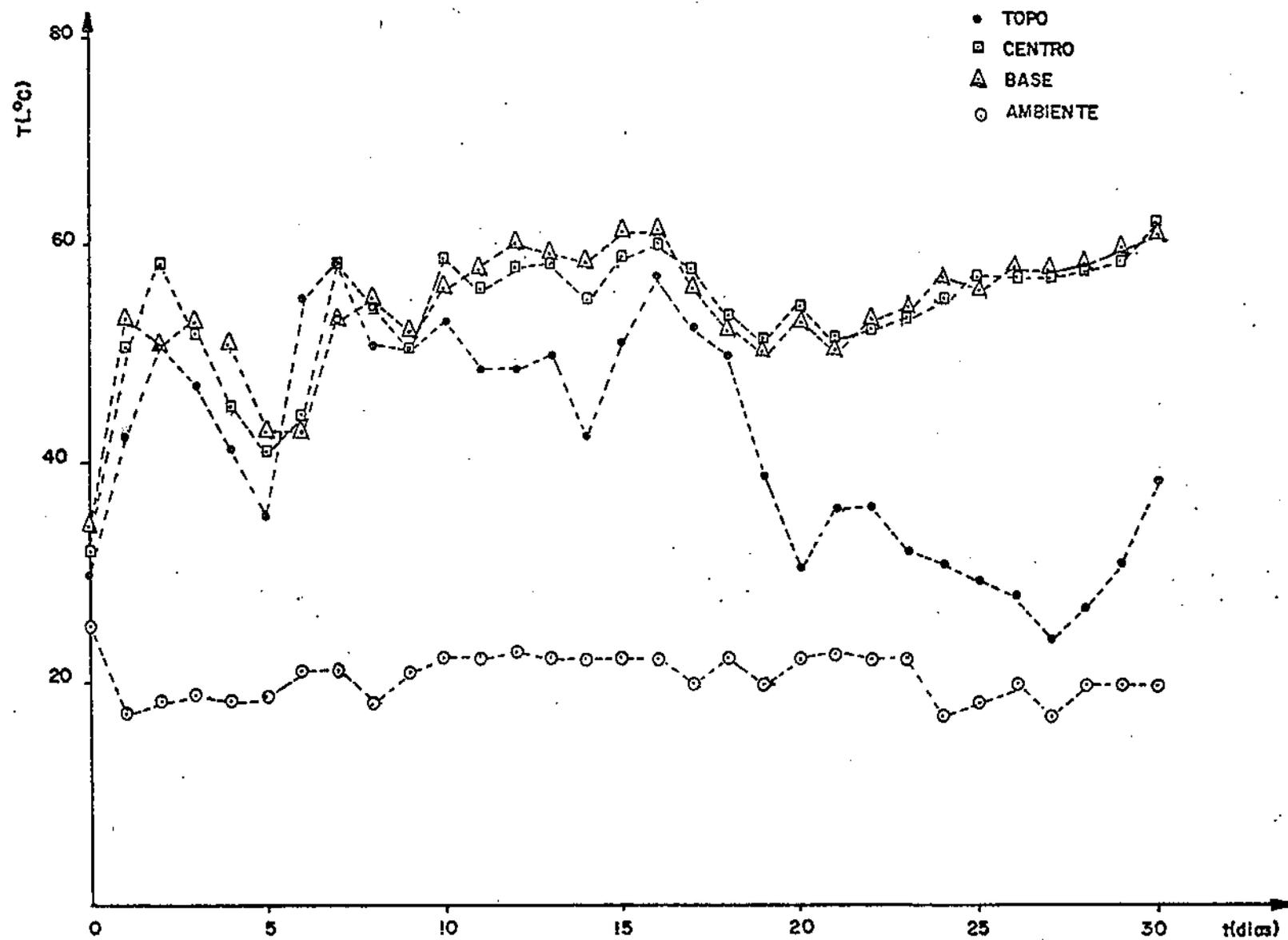


FIGURA 4.4 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (PLTA-13-N).

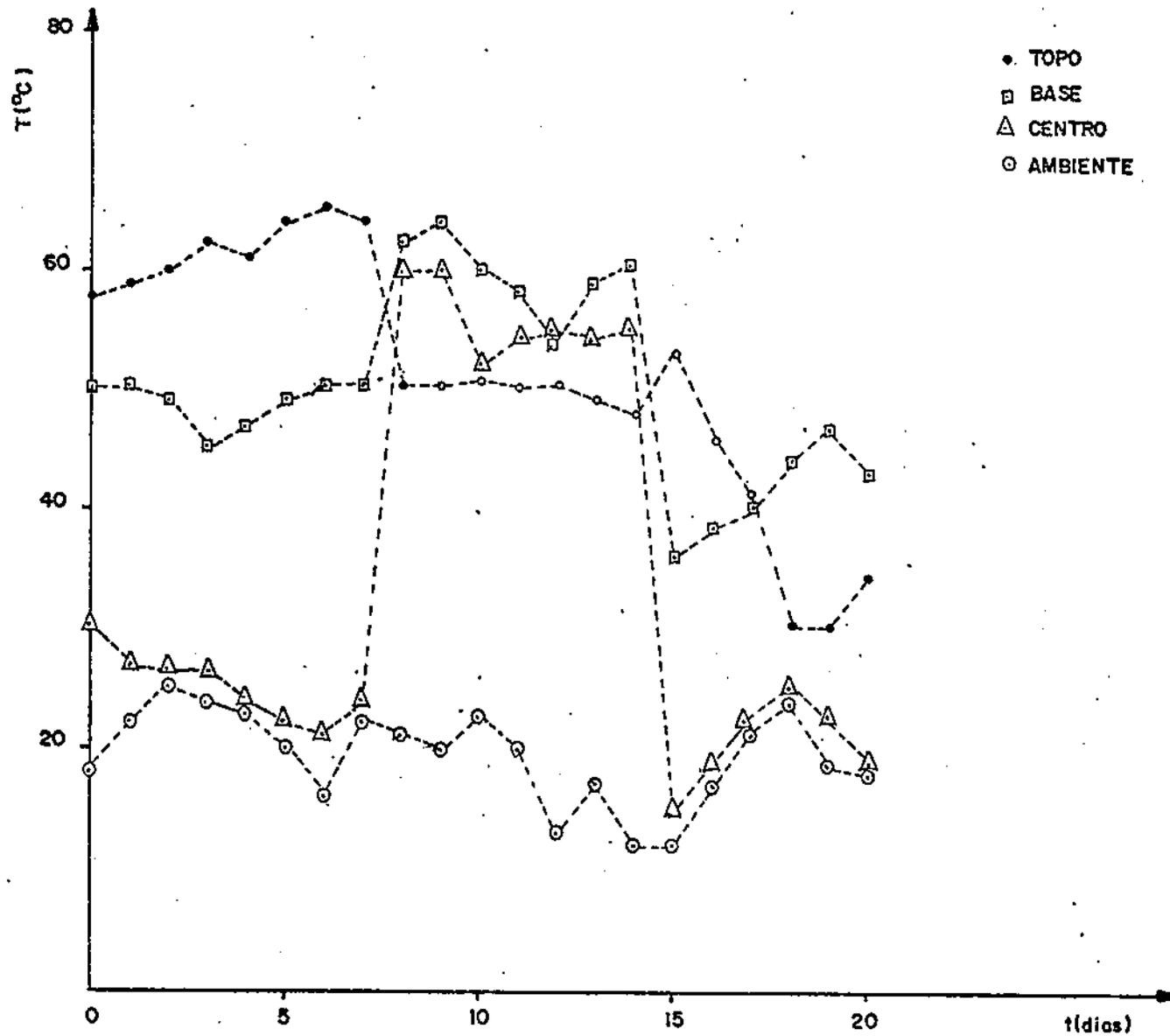


FIGURA 4.5 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (PLTA - 14 - H).

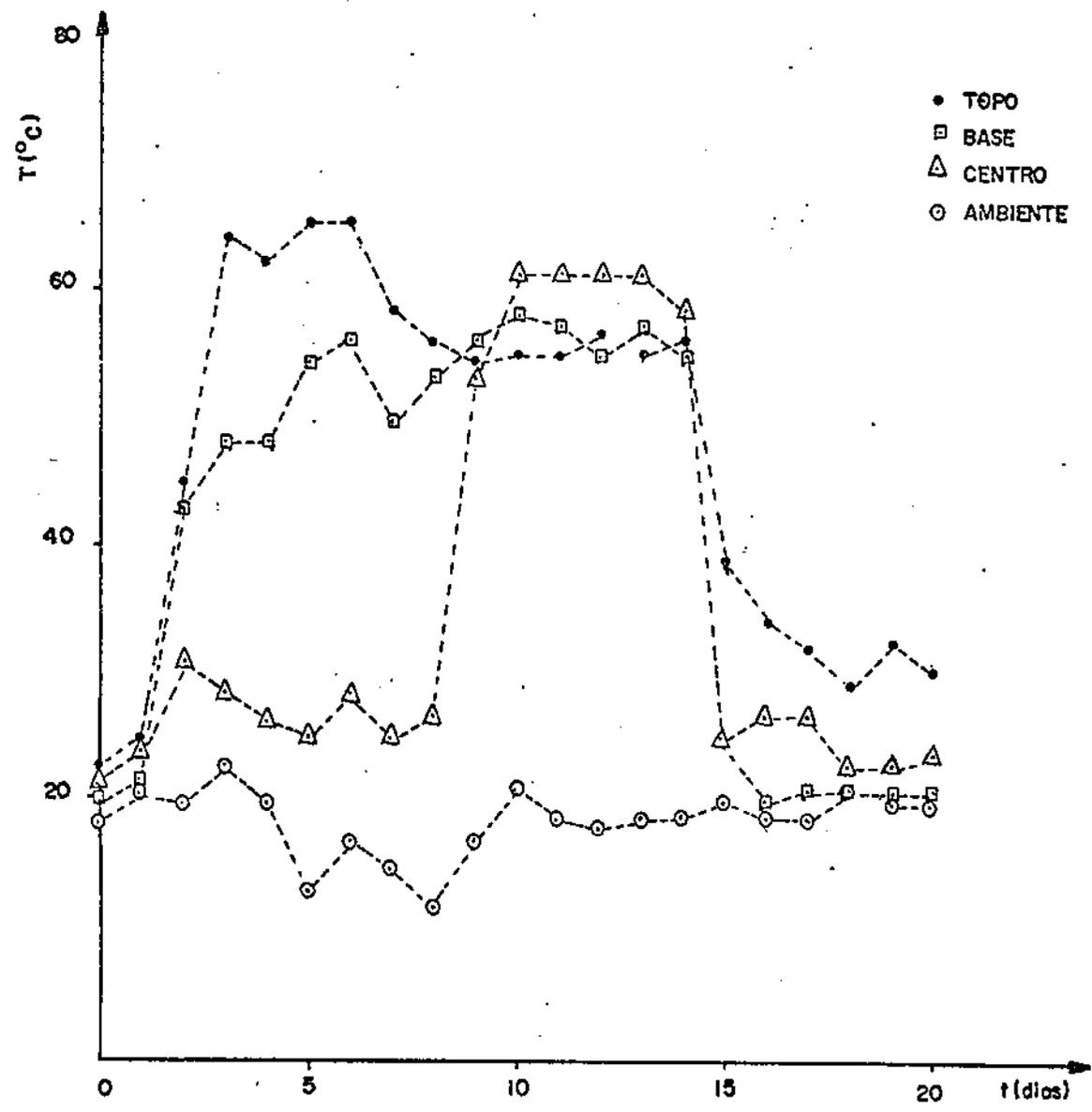


FIGURA 4.6 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (PLTA-15-H).

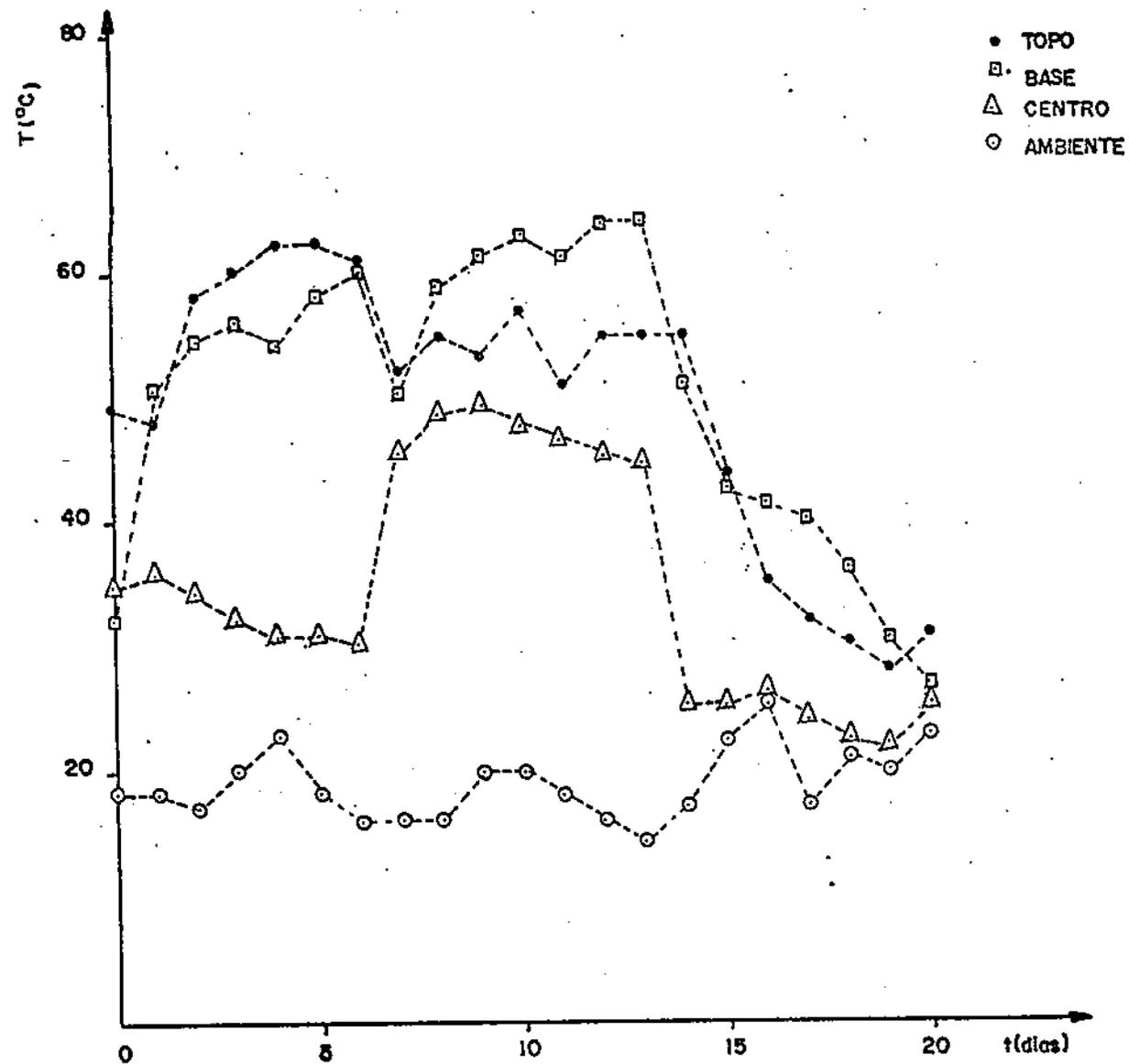


FIGURA 4.7 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA DURANTE A FASE ATIVA (PLTA - 16 - H)

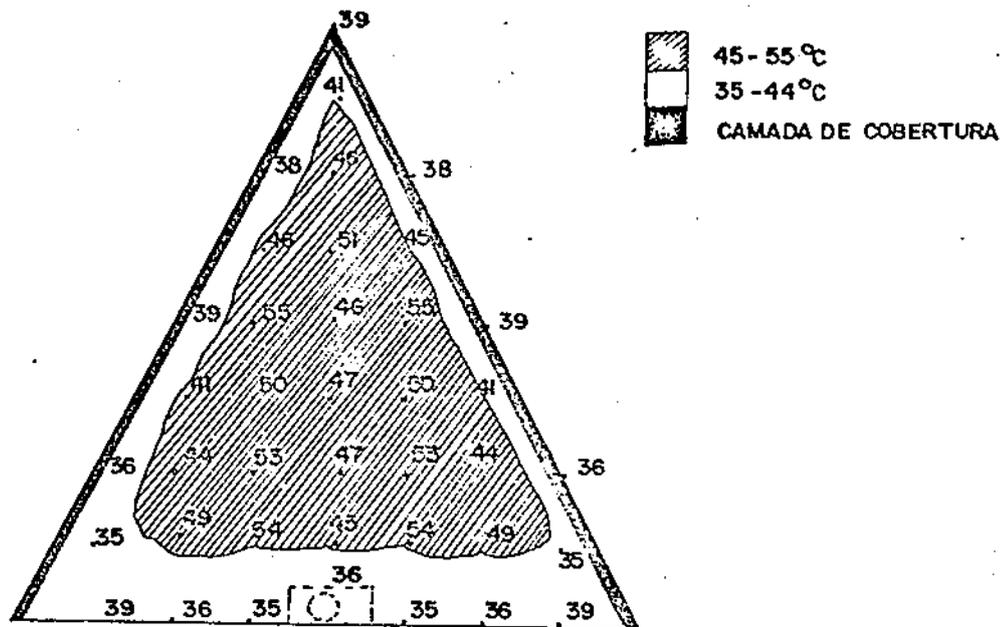


FIGURA 4.8 - DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DE UMA LEIRA DE COMPOSTAGEM SOB O MODO POSITIVO.

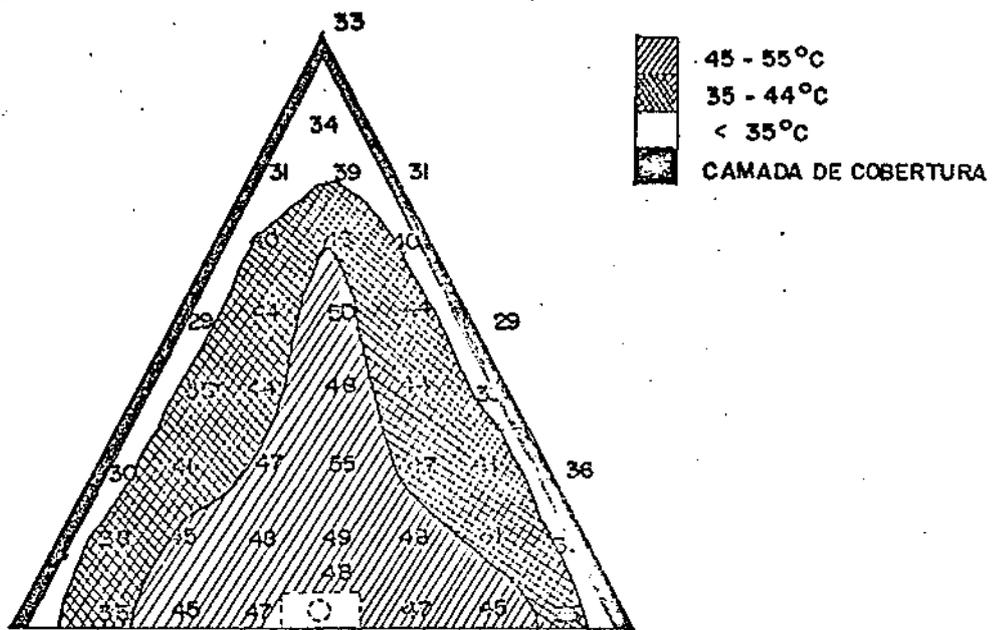


FIGURA 4.9 - DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA DE UMA LEIRA DE COMPOSTAGEM SOB O MODO NEGATIVO.

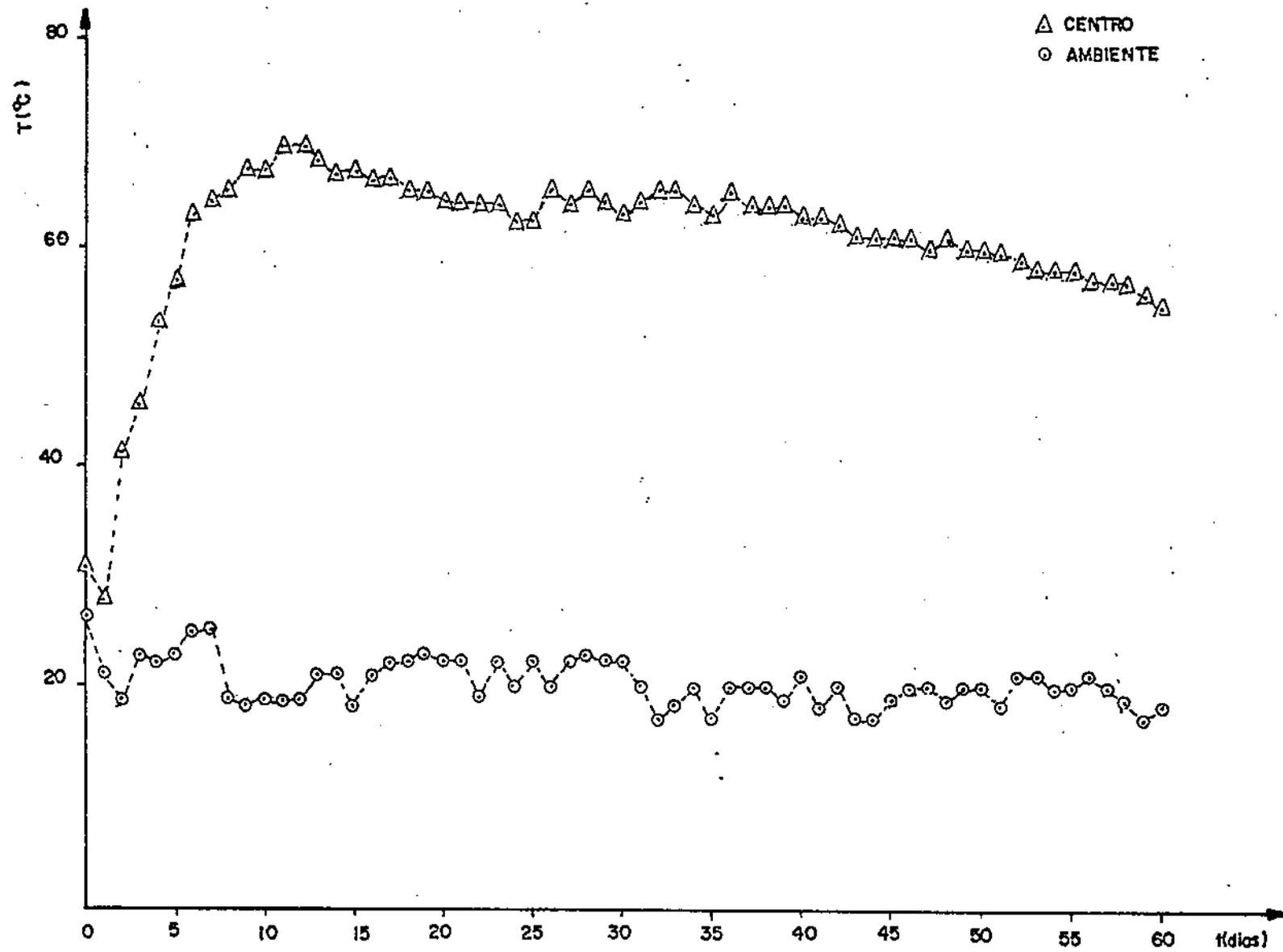


FIGURA 4.10 - VARIACÃO DE TEMPERATURA DURANTE A FASE DE MATURAÇÃO (PILHA ESTÁTICA)

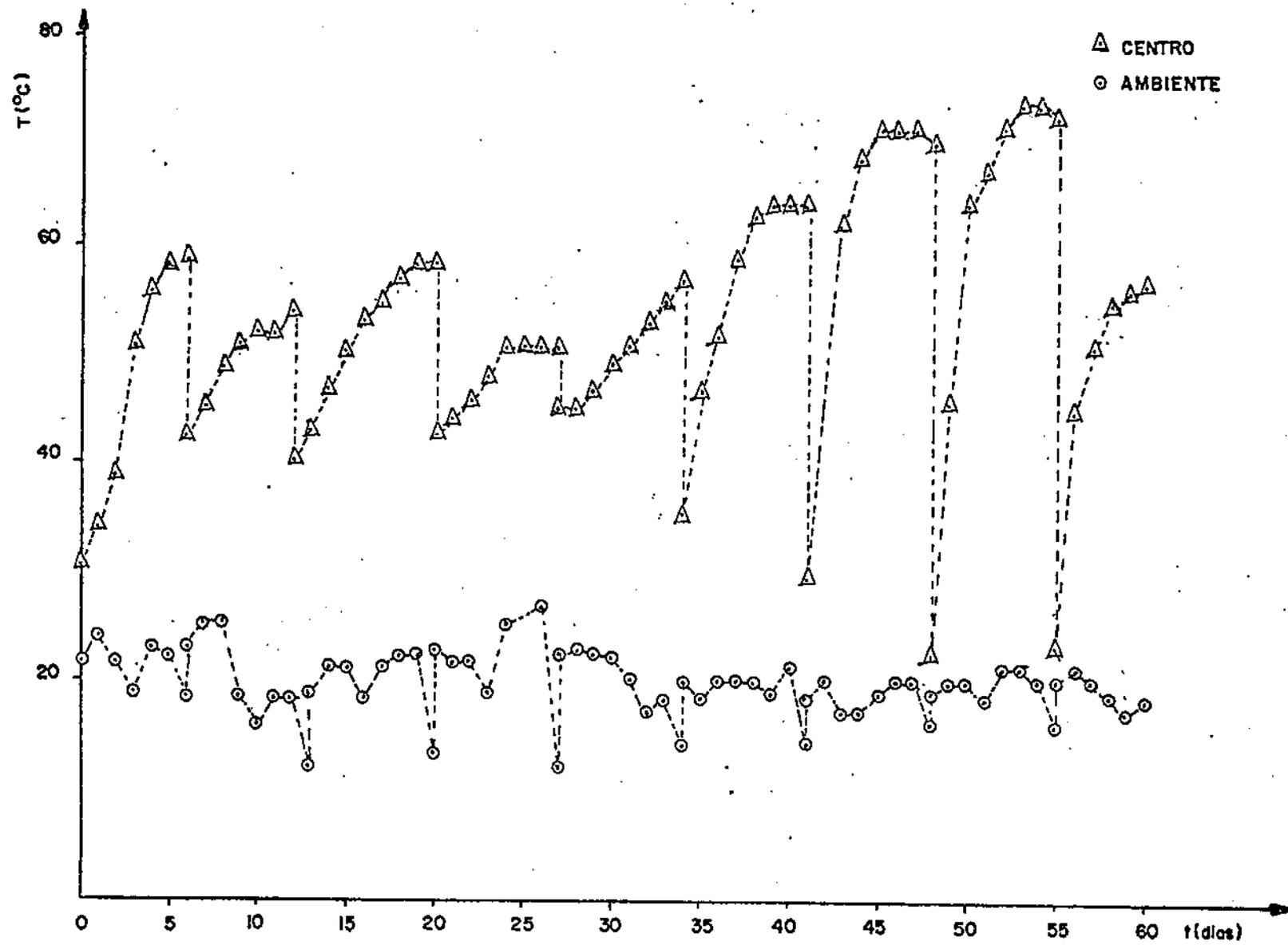


FIGURA 4.11 - VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DURANTE A FASE DE MATURAÇÃO (PILHA REVIRADA).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES

As conclusões serão descritas, segundo a ordem dos itens do capítulo anterior.

#### 5.1 - Análises Físicas

##### 5.1.1 - Densidade

A densidade do material, na fase ativa, apresentou um resultado já esperado, ou seja, nesta fase houve uma redução de densidade devido a redução do teor de umidade como também da taxa de degradação de matéria orgânica. As leiras, sob o modo híbrido, apresentaram uma maior redução de densidade devido a alta taxa de degradação de matéria orgânica.

Na fase de maturação, foi concluído que o aumento da densidade da pilha revirada ocorreu devido à correção da umidade do material, quando era necessário, durante o reviramento.

##### 5.1.2 - Temperatura

Neste trabalho, foi confirmada a sugestão feita por OBENG e WRIGHT (1987), que revelam, que a temperatura é o parâmetro mais importante para ser utilizado como indicador da eficiência do processo de compostagem.

As temperaturas termofílicas são resultantes do calor gerado por reações metabólicas exotérmicas (PEREIRA NETO, 1987a), que ocorrem na massa de compostagem logo após a construção das leiras e ficam retidas nas mesmas, devido às características isolante-térmicas do material.

Também pode-se concluir que o sucesso operacional na compostagem está diretamente ligado à manutenção de temperaturas termofílicas, em toda a massa de compostagem por um maior tempo possível, durante a fase ativa, à qual promove uma série de vantagens, como:

i ) aumentar a taxa de degradação da matéria orgânica;

ii ) ser um dos mais importantes mecanismos para eliminação de bactérias patogênicas (PEREIRA NETO, 1987a);

iii) eliminar ovos de nematóides, ervas daninhas e larvas (SHUVAL *et alii*, 1981).

## 5.2 - Análises Físico-Químicas

### 5.2.1 - Teor de umidade

Os resultados revelam que a taxa de degradação da matéria orgânica depende do teor de umidade, o qual influi na atividade microbiana. As leiras, sob o modo negativo, apresentaram um teor de umidade final baixo e, conseqüentemente, uma baixa degradação de matéria orgânica. Caso contrário, foi registrado com as leiras, sob os modos positivo e híbri

do, que registraram um teor de umidade final superior a 40%.

De acordo com os experimentos, podem ser tiradas algumas conclusões, tais como:

i ) para um material orgânico de características similares às deste estudo, o teor de umidade inicial deve situar-se em torno de 55%;

ii ) um teor de umidade menor do que 40%, torna-se desfavorável à atividade microbiana nas leiras sob o processo de Aeração Forçada, conforme foi observado nas leiras sob o modo negativo;

iii) durante a compostagem, um fator que pode afetar o teor de umidade é a taxa de aeração aplicada ao sistema.

Vários autores (SULER *et alii*, 1977; BERTOLDI *et alii*, 1983 e PEREIRA NETO, 1987a), apresentaram com base em pesquisas recentes, que a menor perda do teor de umidade tem sido conseguida no sistema sob o modo positivo de aeração. Entretanto, esta pesquisa revela, que a menor perda é de fato conseguida no modo híbrido proposto no presente estudo.

#### 5.2.2 - Sólidos voláteis

As leiras, sob o modo híbrido, apresentaram a mais alta redução de sólidos voláteis, na fase ativa, podendo-se concluir que este método de aeração se sobrepõe aos demais em termos de degradação de matéria orgânica, revelando por

tanto, sua alta eficiência.

Com relação à fase de maturação, pode-se concluir que a degradação da matéria orgânica foi maior na pilha revirada.

### 5.2.3 - Carbono orgânico total

Durante a fase ativa, pode-se concluir que o modo híbrido apresentou uma maior redução do carbono do que os outros, apresentando uma maior degradação do substrato carbonáceo.

Na fase de maturação, a pilha revirada apresentou maior redução de carbono do que as demais.

### 5.2.4 - pH

O conhecimento do pH é essencial para avaliar o estado da pilha, principalmente, no que se refere à variação de compostos nitrogenados (PEREIRA NETO, 1987a). No final da fase ativa, todas as leiras apresentaram pH alcalino se mantendo até a maturação. Este fato, traz uma vantagem ao composto orgânico como elemento de correção para solos ácidos.

## 5.3 - Análises Químicas

### 5.3.1 - Nitrogênio total

Os resultados do nitrogênio total foram os espera

dos, apresentando-se variável (item 4.3.1). Isto ocorreu, devido às características heterogêneas da matéria orgânica utilizada.

Durante a fase ativa, nas leiras sob o modo positivo e híbrido, o teor de nitrogênio cresceu e nas leiras sob o modo negativo, decresceu.

Na fase de maturação, todas as pilhas apresentaram o teor de nitrogênio bastante variável.

### 5.3.2 - Relação C/N

Em todos os processos de aeração, durante a fase ativa, a relação C/N diminuiu, sendo que o modo híbrido apresentou uma maior redução, revelando portanto, que neste método houve uma maior degradação do material carbonatado.

Na fase de maturação, a relação C/N foi muito variável, sendo que a relação C/N final das pilhas sob os modos positivo e híbrido, apresentaram-se dentro da faixa recomendada pela literatura especializada (PEREIRA NETO, 1987a); as leiras sob o modo negativo registraram um valor superior, revelando um estágio não adequado de estabilização.

### 5.4 - Análises Bacteriológicas

A eliminação de microrganismos patogênicos foi registrada após o décimo sexto dia da fase ativa, em todos os processos. Sendo que no vigésimo dia, desta fase, foi constatada a ausência dos patógenos nas leiras sob o modo híbrido.

do de aeração, o que mais uma vez mostra a eficiência deste processo.

## 5.5 - Outras Observações

### 5.5.1 - Aparência da leira

Com relação à aparência, cada leira apresentou características de acordo com o processo utilizado. As leiras, sob o modo híbrido, foram as que apresentaram a aparência mais úmida.

### 5.5.2 - Odor

Quanto ao odor, as leiras sob os modos positivo e híbrido foram similares. A emanção do odor foi decrescendo, não sendo mais sentido no quarto dia de aeração. Nas leiras, sob o modo negativo, o odor foi sentido até o sexto dia, ficando mais intenso quando a bomba funcionava.

### 5.5.3 - Atração de vetores

Durante os experimentos, foi verificado que a quantidade de vetores presentes nas leiras de compostagem era pequena, ou seja, uma quantidade normal a ocorrente em uma residência. Por outro lado, as pilhas-filtro apresentaram uma grande quantidade de vetores durante todo o processo. As leiras, sob os modos positivo e híbrido, registraram a presença de vetores (moscas e mosquitos) até o terceiro dia e, sob o modo negativo até o sexto dia.

Este resultado mostra uma das vantagens em se utilizar o processo de compostagem por Aeração Forçada, principalmente os modos positivo e híbrido, pois a atração de vetores é mínima.

## 5.6 - Construção das Leiras

### i ) Configuração geométrica

Durante a pesquisa, foi comprovado que a configuração geométrica da leira deve ter seção transversal triangular, pois esta apresentou-se mais eficiente com relação aos problemas geralmente causados pelas chuvas na compostagem em leiras.

### ii ) Material de base

Para cobrir o tubo de aeração e servir de base, foi utilizado o capim seco, pois segundo PEREIRA NETO (1987a), isto traz uma série de vantagens como: previne entupimentos nos furos do tubo de ventilação pelas partículas finas; tem capacidade de absorver a umidade excessiva; propicia uma melhor distribuição do ar e pode ser incorporado no composto, após a fase ativa.

### iii) Camada de cobertura

A camada de cobertura é de grande importância, pois traz uma série de vantagens, como a filtração dos gases e odores emanados da leira, evita a atração de vetores e per

míte melhor distribuição de temperatura na massa de compostagem (item 2.6.1).

#### iv ) Sistemas de aeração

Quanto aos sistemas de aeração, pode-se concluir que nos sistemas positivo e híbrido os equipamentos de aeração funcionaram de modo satisfatório, sem apresentar qualquer problema. O sistema negativo entretanto, apresentou uma sobrecarga excessiva na bomba de aeração, acarretando a queima de vários fusíveis como também do motor da bomba de aeração.

Com relação à construção das pilhas-filtro do sistema negativo, inicialmente foram construídas, seguindo as recomendações de OBENG e WRIGHT (1987), sendo que o volume das mesmas precisou ser acrescido devido à percepção dos odores dos gases emanados pelas leiras, concluindo ser necessário 1 m<sup>3</sup> de pilha-filtro para cada 7,5 toneladas de material a ser compostado.

#### 5.7 - Término da Fase Ativa

O término da fase ativa das leiras, sob o modo positivo e negativo, ocorreu nos dias trinta e cinquenta e sete, respectivamente, conforme era esperado (item 2.7). Nas leiras, sob o sistema híbrido, proposto neste estudo, o término da fase de aeração ocorreu no vigésimo dia, reduzindo em mais de 30% o período de compostagem anteriormente conseguido no sistema usual de Aeração Forçada.

### 5.8 - Fase de Maturação

Com relação à fase de maturação, pode-se concluir que quando a pilha é revirada (aerada), apresenta um melhor resultado de grau de estabilização, e conseqüentemente humificação do que a não revirada.

### 5.9 - Conclusão Geral

De um modo geral, pode-se concluir que o objetivo principal do trabalho foi alcançado, pois o sistema híbrido de aeração para compostagem em leiras apresentou ser mais eficiente que os outros (positivo e negativo). Este processo apresentou um menor período de tempo da fase de aeração, maior degradação de matéria orgânica e eficiência na eliminação de microrganismos patogênicos.

O uso do sistema híbrido de aeração nas leiras estáticas seguindo-se da fase de maturação, com reviramentos periódicos das pilhas, constitui um sistema simples, de alta eficiência e que traz grande economia a um processo já caracterizado de baixo custo (SCHULZE, 1981; PEREIRA NETO *et alii*, 1986a).

Acredita-se que qualquer tentativa de propor soluções eficientes, simples e de baixo custo, para contribuir na solução de um dos problemas mais graves de Engenharia Sanitária - o lixo urbano - é válida. Isto, dado aos impactos, muitas vezes irreversíveis, que as práticas inadequa

das de destinação final do lixo no país tem gerado ao meio ambiente e à saúde da população.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, N. (1977): "Microbial Ecology". In: Introduction soil Microbiology, New York; 2<sup>a</sup> edição, pp. 3-103.
- BERTOLDI, M. de; VALLINI, G; PERA, A. E ZUCCONI, F. (1982). "Comparison of three Windrow Compost Systems" Biocycle, vol. 23 (12), pp. 45-50.
- BERTOLDI, M. de; VALENNI, G. e PERA, A. (1983): "The Biology of Composting: A Review" In: Waste Management & Research. Vol. 1, pp. 157-176.
- BIDDLESTONE, A.J., BALL; D. e GRAY, K.R. (1981): "Compost and Urban Waste Recycling". Advances in Food Producing System for and Semiarid Lands. Academic Press. pp. 191-224.
- BIDDLESTONE, A.J. e GRAY, K.R. (1983). "Composting Application to Municipal and Farm Wastes" The Chem. Engens, Vol. 270, pp. 76-80.
- BISHOP, P.L. e GODFREY, C. (1983): "Nitrogen Transformation During Sludge Composting". Biocycle July/August, vol. 24(4), pp. 34-39.
- BURMAN, N.P. (1961): "The Biochemistry and Microbiology of

- Composting". Cleaver-Hume Press Ltda. London, pp.113.
- CARDENAS, JR. R.R. e WANG, L.K. (1980): "Composting Process" .  
Handbook of Enviromental Engineering; Humana Press .  
Clifton N.J., U.S.A., pp.269-327.
- CARNES, R.A. e LOSSIN, R.D. (1970): "An Investigation of  
the pH Characteristics of Compost". Compost Science, vol.  
11(5), pp. 18-21.
- COSTA, M.B.B. da (Org.) (1989): Adubação Orgânica, 102p.
- DIAZ, L.F., GOLUEKE, C.G. e SAVAGE, G.N. (1986): "Energetics  
of Compost Production and Utilization". Biocycle, setem  
bro, pp. 49-54.
- FINSTEIN, M.S. CIRELLO, J., MACGREGOR, S.T., MILLER, F. C.  
e PSARIANOS, K.M. (1980a): "Sludge Composting and  
Utilization: Rational Approach to Process Control". Final  
Report to USEPA, NJDEP, CCMUA. Rutgers University, New  
Brunswick, N.J.
- FINSTEIN, M.S. (1980b): "Composting Microbial Ecosystem:  
Implications for design and Control". Biocycle, vol 21  
(4), pp. 25-27.
- FINSTEIN, M.S., MILLER, F.C. e STROM, P.F. (1983): Evolution  
of Composting Process Performance". In: Composting of

Solid Waste and Slurries. Department of Civil Engineering ,  
Leeds University, pp. 23-24.

FINSTEIN, M.S. e MILLER, F.C. (1984): "Principles of Composting  
Leading to Maximization of Decomposition Rate, Odour  
Control and Cost Effectiveness". Seminar on Composting  
Agricultural and Other Wastes, Oxford, Março. 8pp.

FORSYTH, W.G.C. e WEBLEY, D.M., (1948): "Proceedings Society  
Applied of Bacteriology", pp.3-34.

FUNDAÇÃO SERVIÇOS DE SAÚDE PÚBLICA (1981). "Disposição do  
Lixo". In: Manual de Saneamento, Rio de Janeiro, Brasil,  
2ª edição, pp. 135-149.

GOLUEKE, C.G. (1977): "Biological Processing: Composing and  
Hydrolysis" Solid Waste Management V. N. Reinholds Company ,  
pp. 197-225.

GOTAAS, H.B. (1956): "Composting", Who, monograph n° 31 ,  
Genebra, Suécia, pp. 205.

GRAY, K.R., SHERMAN, K. e BIDDLESTONE, A.J. (1971): "A Review  
of Composting Part 1". Process Biochem., vol. 6(6), pp.  
32-36.

GREENBERG, A.E., SHASTID, T.B. e ELLGAS, W.M. (1986): "Quality  
Control Monitoring". Biocycle, Outubro, pp. 48-56.

GUTTERIDGE, H. (1952): "Refuse-Sewage Composting -Engineering Aspects". Trans. Soc. Engrs, pp. 43-135.

HIRAI, M.F. CHANYASAL, V. e KUBOTAR, H. (1983): "A Standard Measurement for Compost Maturity". Biocycle, Dezembro, pp.54-56.

HUGHES, E.G. (1980): "The Composting of Municipal Wastes", In: Handbook of Organic Waste Conversion, Edit. Michael WM Bewick, Van Nostrand Reinhold, Env. Engrs. Series pp.108-134.

JERIS, J.S. e REGAN, R. (1975): "Optimum Condition for Composting". In: Solid Wastes Edit. Mantet, C. L., Wiley and Sons London, pp. 245-254.

KENNER, B.A., CLARK, H.F. e KLABER, P.V. (1961): "Faecal Streptococci in Surface Water". Adv. Appl. Microbial, vol. 9, pp.15-20.

KIEHL, E.J. (1957): "Contribuição para o Estudo e o Preparo do Composto". Instituto do Açúcar e do Alcool. Serviço Técnico Agrônomico. Boletim, 2ª Edição, Rio de Janeiro - Brasil.

KIEHL, E.J. (1985): "Compostagem". In: Fertilizantes Orgânicos, São Paulo - Brasil, pp. 229-308.

MACGREGOR, S.T., MILLER, F.C., PSARINOS, K.M. e FINSTEIN, M.S. (1981): "Composting Process Control Based on Interaction between Microbial Heat Output and Temperature". Applied and Environmental Microbiology. vol. 41.

MARA, D.D. e STENTIFORD, E.I. (1983): "Forced Aeration Composting of Domestic Refuse and Sewage Sludge". Leeds University Internal Report, pp. 79.

NÓBREGA, C.C. e PEREIRA NETO, J.T. (1990): "Estudo e Avaliação da Eficiência de Aeração em Sistemas de Pilhas Estáticas Aeradas". Trabalho Apresentado no II Simpósio da Pesquisa na UFV, Viçosa - Brasil.

OBENG, L.A. e WRIGHT, W.F. (1987): "The Co-Composting of Domestic Solid and Human Wastes". World Bank Technical , Vol. 57, 101 p.

ORAGUI, J.J. (1982): "Bacteriological Methods for the Distinction between Human and Animal Faecal Pollution". Tese de PhD. University of Leeds, Inglaterra, 239 p.

PELCZAR, M., REID, R. e CHAN, E.C.S. (1981): "Objetivos da Microbiologia". In: Microbiologia, vol. 1, pp. 1-17.

PEREIRA NETO, J.T. (1984): "The Effect of Operational Parameters on Process Performance in Aerated Static Pile Composting System". MPhil Report, University of Leeds, 175p.

PEREIRA NETO, J.T., STENTIFORD, E.I. e MARA, D.D. (1985):

"Sistemas de Compostagem por Pilhas Estáticas Aeradas - Uma Proposição ao Tratamento do Lixo Urbano e Lodos de Esgotos". Trabalho apresentado no XV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Maceió, AL - Brasil, 26 p.

PEREIRA NETO, J.T., STENTIFORD, E.I. e SMITH, D.V. (1986a):

"Survival of Faecal Indicator Micro-Organisms". In: Refuse/Sludge Composting Using the Aerated Static Pile System. Waste Management e Research. England - UK, Vol. 4, pp. 397-406.

PEREIRA NETO, J.T., STENTIFORD, E.I. e BIDDLESTONE, A. J.

(1986b): "Sistemas de Compostagem por Pilhas Estáticas Aeradas - Uma Alternativa de Baixo Custo ao Tratamento e Reciclagem do Lixo Urbano e Lodos de Esgotos Domésticos". Trabalho Publicado na Revista APES, Lisboa, Portugal. Vol. 29, p. 3-19.

PEREIRA NETO, J.T., STENTIFORD, E.I. e MARA, D.D. (1986c):

"Comparison of Windrow and Aerated Static Piles for Refuse/Sludge Composting". Trabalho apresentado no International Symposium in Composting Process, Quality and Use, Udine, Itália, 21 p.

PEREIRA NETO, J.T. E.I. e MARA, D.D. (1986d): "Patogen Survival in a Refuse/Sludge Forced Aeration Compost

System". In: Effluent Treatment and Disposal Symposium Series (98), Instn. of Chem Engrs, Inglaterra - UK, pp. 373-391.

PEREIRA NETO, J.T. (1987a): "On the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting - A Low Cost Technology Approach". Tese de PhD. Leeds University, Inglaterra, 376p.

PEREIRA NETO, J.T., STENTIFORD, E.I. e MARA, D.D. (1987d): "Low Cost Controlled Composting of Refuse and Sewage Sludge". Wat Scr. Tech, Vol. 19, Rio de Janeiro - Bra sil, pp. 839-845.

PEREIRA NETO, J.T. (1988): "Monitoramento da Eliminação de Organismos Patogênicos durante a Compostagem do Lixo Urbano e Lodo de Esgoto pelo Sistema de Pilhas Estáti cas Aeradas". Trabalho publicado na Revista Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro - Brasil, vol. 27, p.148-152.

PEREIRA NETO, J.T., AZEVEDO, M.A. e SIGER, S.M. (1989a) : "Importância da Fase de Maturação nos Processos de Com postagem". Trabalho apresentado na 41ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. For taleza - CE, p. 35.

PEREIRA NETO, J.T. (1989b): "Conceitos Modernos de Compos tagem". Trabalho publicado na Revista Engenharia Sanitá

ria, Rio de Janeiro - Brasil, Vol 28(2), p. 104-109.

PEREIRA NETO, J.T. e STENTIFORD, E.I. (1989c). "A Low Cost Controlled Windrow System". Trabalho apresentado no International Symposium on Composting Recycling of Waste. Atenas, Grécia.

PEREIRA NETO, J.T. (1990): "A Importância da Temperatura nos Sistemas de Compostagem". Trabalho apresentado no IV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte - MG - Brasil.

PINTO, M.S. (Org.) (1979): "Compostagem". In: A Coleta e Disposição do Lixo no Brasil, Rio de Janeiro - Brasil, pp. 110-131.

POINCELOT, R.P. (1975): "The Biochemistry and Methodology of Composting". Com. Agr. Exp. Sta. Bull. vol. 754, p. 38.

POINCELOT, R.P. (1977): "The Biochemistry of Composting". Proc. National Conference on Composting of Municipal Refuse and Sludges. Information Transfer, Inc. Rockville, 23p.

ROLLE, G. e ORSANIC, E. (1964): "A New Method of Determining Decomposable and Resistant Organic Matter in Refuse Compost". Int. Research Graip in Refuse Disposal. Inf.

Bull. n° 21.

SCHULZE, K.L. (1981): "Aerobic Decomposition of Organic Waste Materials (Continuous Thermophilic Composting) " Appl. Microbial. Vol. 11, pp. 22-36.

SHUVAL, H.I. Gunnerson, C.G. e JULINS, D.S. (1981): Night - Soil Composting. World Bank, volume 10, 100p.

SINGLEY, M.E., HIGGINS, A.J., WARTENA, R., SINGH, A., CHEN, S., WHITSON, B. e CALLANAN, K. (1980): "Structural Characteristics of Compost Versus Aeration". In: Proc. Nat. Conf. on Municipal and Industrial Sludge Composting Material Handling. Information Transfer. In: New Carrollton, Maryland, Nov. pp. 14-16.

SINGLEY, E.M., HIGGINS, A.I. e ROSENGAUS, F.M. (1982): "Sludge Composting and Utilization: A Design and Operating Manual". NJAES, Rutgers University, New Jersey, p.295.

SKITT, J. (1972): "Composting". In: Disposal of Refuse and Other Waste, London, UK, pp. 87-105.

SOLYON, P. (1977): "Inter. Calibration of Methods for Chemical Analysis of Sludge". Vatten, Vol. 33(1), pp. 21-26.

STANFIELD, G. e IRVING, T.E. (1981): "A Suitable Replacement

for Teepol 610 in the Selective Isolation of Coliforms from Marine Waters and Sewage". Water Research. Vol. 15, pp. 469-474.

STENTIFORD, E.I. e PEREIRA NETO, J.T. (1985): "Simplified Systems for Refuse/Sludge Composts". Biocycle, Vol. 26, pp. 46-49.

SULER, D.J. e FINSTEIN, M.S. (1977): "Effect of Temperature, Aeration, Moisture and CO<sub>2</sub> Formation on Bench-Scale, Continuously Thermophilic Composting of Solid Waste". Appl. Environ. Microbiol. Vol. 33(2), pp. 345-350.

TIBAU, A.O. (1984): "Matéria Orgânica do Solo". In: Matéria Orgânica e Fertilizante do Solo. 3<sup>a</sup> edição, pp. 49-182.

YWA (1980): "Methods of Analysis". Yorkshire Water Authority 156 p.

ZUCCONI, F., FORTE, M. e BERTOLDI, M. de (1981a): "Evaluating Toxicity of Immature Compost". Biocycle, Vol. 22(2); pp. 54-57.

ZUCCONI, F., FORTE, M., MONACO, A. e BERTOLDI, M. de. (1981b): "Biological Evaluation of Compost Maturity". Biocycle, vol. 22, pp. 27-29.

ZUCCONI, F. e BERTOLDI, M. de. (1982): "Utilizzazione in Agricoltura dei Prodotti de Trasformazione dei Residui Solidi Urbani". Ingegneria Ambientale, Vol. 11(2), pp. 110-117.

ZUCCONI, F., MONACO, A., FORTE, M. e BERTOLD, M. de. (1984): "Phytotoxinas During the Stabilization of Organic Matter". Seminar on Composting Agricultural and Other Wastes, Oxford, Março, p. 14.