



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS NA**  
**COMPOSTAGEM DE DEJETOS DE SUÍNOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Maria Luísa Appendino Nunes**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Armando Borges de Castilhos Jr.**  
**CO-ORIENTADOR: Dr. Paulo Armando Victória de Oliveira**

**Florianópolis – SC, dezembro de 2003.**

# **AVALIAÇÃO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS NA COMPOSTAGEM DE DEJETOS DE SUÍNOS**

**Maria Luísa Appendino Nunes**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

Na área de Tecnologias de Saneamento Ambiental

*Dedico esta dissertação ao meu querido  
padrinho Severiano Pagotto (in memoriam) pela  
dedicação incondicional em sempre me ajudar na  
realização dos meus sonhos e aspirações.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que, dentro de suas possibilidades, contribuíram para a realização deste trabalho e desta forma tornaram possível sua concretização. Destas pessoas, agradeço em especial,

Aos meus pais Rubens e Leny e ao meu irmão Luís Roberto pelo amor e comprometimento em sempre me proporcionar crescimento pessoal,

Ao meu amigo Guilherme Francisco Schierholt Neto, pelo carinho, amizade e incentivo durante a fase experimental,

Ao meu orientador Armando Borges de Castilhos Jr. e co-orientador Paulo Armando V. de Oliveira, pela viabilização do presente trabalho e orientação fornecida,

Ao pesquisador Júlio César Pascale Palhares, pelo incentivo constante na realização deste trabalho,

Aos pesquisadores Airton Kunz, Doralice Paiva e Martha Higahashi, que sempre estiveram dispostos a ajudar,

A todos os funcionários da Embrapa Suínos e Aves que trabalharam na montagem da Unidade Experimental e no desenvolvimento do sistema de compostagem, em especial, ao amigo Carmo Holdfer,

A família Grapeggia, em especial a minha amiga Marcinha, pela amizade, apoio e acolhimento durante minha estadia em Concórdia.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	xi
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO .....	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 A Suinocultura no Brasil e no mundo.....	1
1.2 A utilização dos dejetos de suínos e seu impacto ambiental .....	2
2. OBJETIVOS DO TRABALHO .....	4
2.1 Objetivo Geral.....	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA .....	5
1. CARACTERÍSTICAS DOS DEJETOS DE SUÍNOS .....	5
2 PRINCIPAIS SISTEMAS DE MANEJO DE DEJETOS .....	7
2.1 Separação de fases .....	7
2.2 Armazenamento de dejetos .....	8
2.3 Sistemas de lagoas em série.....	8
3 SISTEMA DE CAMA SOBREPOSTA .....	9
4 COMPOSTAGEM .....	12
4.1 Definição.....	13
4.2 Principais fatores que afetam a compostagem .....	15
4.3 Aeração .....	15
4.3.1 Aeração Natural .....	17
4.3.2 Aeração Passiva.....	17
4.3.3 Aeração Ativa ou Forçada .....	18
4.3.4 Revolvimento .....	19
4.4 Temperatura .....	20
4.5 Umidade .....	21
4.6 Relação C/N .....	22

4.7 pH .....	25
4.8 Matérias – primas para a compostagem.....	25
4.9 Desenvolvimento do processo.....	27
4.10 Microorganismos envolvidos no processo .....	28
4.11 Compostagem de dejetos de suínos.....	28
<b>CAPÍTULO III – MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>32</b>
1. INTRODUÇÃO.....	32
2. EXPERIMENTO 1 .....	33
2.1 Local, época e materiais utilizados no experimento 1.....	33
2.2 Desenvolvimento do Experimento 1 .....	36
2.2.1 Fase 1 – Fase de Impregnação de Dejetos .....	37
2.2.1.1 TRATAMENTO 1 – Aplicação de dejetos em camadas.....	39
2.2.1.2 TRATAMENTO 2 – Aplicação de dejetos na betoneira .....	40
2.2.2 Fase 2 – Fase de Compostagem.....	42
2.2.2.1 TRATAMENTO A – Sistema de aeração passiva.....	43
2.2.2.2 TRATAMENTO B – Sistema de aeração forçada.....	44
2.3 Procedimento de Coleta de amostras e Análises realizadas .....	45
2.3.1 Temperatura .....	45
2.3.2 Dejeito escorrido (Fase de Impregnação de dejetos) .....	46
2.3.3 Coleta de amostras e análises realizadas .....	46
3. TESTE INTERMEDIÁRIO – AVALIAÇÃO DE UMIDADE IDEAL PARA COMPOSTAGEM .....	47
4. Experimento 2.....	48
4.1 Local, época e materiais utilizados no experimento 2.....	48
4.2 Desenvolvimento do Experimento .....	50
4.2.1 Fase 1 – Fase de Impregnação de dejetos.....	51
4.2.2 Fase 2 – Fase de Compostagem.....	57
4.3 Procedimento de Coleta de amostras e Análises realizadas .....	57
4.3.1 Temperatura .....	57
4.3.2 Dejeito escorrido.....	58
4.3.3 Coleta de amostras e análises realizadas .....	58
5. ANÁLISES FÍSICO – QUÍMICAS E QUÍMICAS QUANTITATIVAS – PROTOCOLO EXPERIMENTAL .....	59
5.1 Caracterização do dejeito utilizado (Sólidos Totais, Voláteis e fixos, pH, Carbono Orgânico e Nitrogênio Total).....	59

5.2 Umidade .....	59
5.3 pH .....	60
5.4 Carbono Orgânico.....	60
5.5 Nitrogênio Total .....	60
5.6 Relação C/N .....	61
5.7 Macro-nutrientes .....	61
5.8 Micro-nutrientes .....	61
<b>CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>62</b>
1. INTRODUÇÃO.....	62
2. EXPERIMENTO 1 .....	62
2.1 Fase 1 – Fase de Impregnação de dejetos.....	62
2.1.1 Temperatura .....	62
2.1.2 Características físico – químicas do material.....	64
2.1.3 Relação maravalha / dejetos .....	67
2.2 Fase 2 – Fase de Compostagem.....	70
2.2.1 Temperatura .....	70
2.2.2 Características físico – químicas do material.....	72
3. TESTE INTERMEDIÁRIO – AVALIAÇÃO DE UMIDADE IDEAL PARA COMPOSTAGEM DE DEJETO DE SUÍNO E MARAVALHA .....	75
3.1 Temperatura .....	75
3.2 Relação Substrato / Dejetos .....	75
3.3 Características Físico – Químicas do material.....	76
4 EXPERIMENTO 2.....	79
4.1 Fase 1 – Fase de Impregnação de dejetos.....	79
4.1.1 Temperatura .....	79
4.1.2 Características físico – químicas do material.....	81
4.1.3 Relação substrato / dejetos .....	84
4.2 Fase 2 – Fase de Compostagem.....	86
4.2.1 Temperatura .....	86
4.2.2 Características físico – químicas do material.....	87
5 DISCUSSÃO FINAL DOS DADOS OBTIDOS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS .....	89
<b>CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>92</b>
<b>CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>94</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma Geral da metodologia experimental empregada.....	32
Figura 2 – Vista geral da unidade experimental de compostagem da Embrapa Suínos e Aves (experimento 1). .....	33
Figura 3 – À esquerda, betoneira utilizada para a mistura dos materiais utilizados no tratamento 2. À direita, caixas de PVC-1000 L utilizadas na 1ª fase experimental e os recipientes de captação de dejetos não absorvidos.....	34
Figura 4 – À esquerda, sistema de aeração passiva (tratamento A da 2ª fase experimental). À direita, sistema de aeração ativa (tratamento B da 2ª fase experimental).....	35
Figura 5 – À esquerda, sistema de filtro de ar utilizado para medição das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido registradas no interior da instalação experimental. À direita, equipamento de leitura das temperaturas registradas pelos termopares para as temperaturas da massa em compostagem e da temperatura ambiente. ....	36
Figura 6 – Cronograma de atividades do experimento 1.....	37
Figura 7 – Caixas de PVC utilizadas durante a 1ª fase experimental (Fase de Impregnação de dejetos).....	38
Figura 8 – Aplicação de dejetos empregada no tratamento 1 (aplicação em camadas) durante a 1ª fase experimental do experimento 1. ....	39
Figura 9 – Utilização de betoneira para mistura e homogeneização dos dejetos no tratamento 2. ....	41
Figura 10 – Revolvimento do material em processo de impregnação de dejetos – Tratamento 2 – Aplicação na betoneira.....	42
Figura 11 – À esquerda, sistema de aeração passiva anteriormente à montagem da pilha A. À direita, pilha A equipada de sistema de aeração passiva. ....	43
Figura 12 – Esquema do sistema de aeração passiva – Tratamento A (Pilha A)..	44



Figura 13 – À esquerda, sistema de aeração ativa ou forçada anteriormente à montagem da pilha B. À direita, pilha B equipada de sistema de aeração ativa ou forçada. ....	45
Figura 14 – Esquema do sistema de aeração forçada – Tratamento B (Pilha B)..	45
Figura 15 – Plataforma de madeira usada como suporte das pilhas de compostagem.....	49
Figura 16 – Maravalha e serragem utilizadas como matérias-primas no experimento 2 (à esquerda). Chave seletora para monitoramento das temperaturas internas das pilhas de compostagem (à direita).....	50
Figura 17 – Cronograma de atividades do experimento 2.....	51
Figura 18 – Adição e revolvimento das pilhas de compostagem (2 <sup>a</sup> , 3 <sup>a</sup> e 4 <sup>a</sup> ) aplicações de dejetos. ....	57
Figura 19 – Temperaturas médias diárias nos tratamentos 1 e 2 (T1 e T2) – Média diária das temperaturas observadas nos 3 horários de monitoramento (8, 12 e 16 horas), durante o período de impregnação de dejetos do experimento 1. ....	63
Figura 20 – Comportamento da matéria seca nos tratamentos 1 e 2 durante a Fase de Impregnação de dejetos do Experimento 1 para os tratamentos 1 e 2 ...	66
Figura 21 – Comportamento do índice pH durante a Fase de Impregnação de dejetos do Experimento 1 para os tratamentos 1 e 2. ....	66
Figura 22 – Comportamento da relação C/N durante a Fase de Impregnação de dejetos do Experimento 1 para os tratamentos 1 e 2. ....	67
Figura 23 – Evolução das temperaturas médias das pilhas A e B durante a fase de compostagem do Experimento 1 (média diária obtida dos 3 horários de monitoramento) .....	70
Figura 24 – Temperatura dos pontos superiores (30cm) e inferiores (60cm) da pilha A durante a fase de compostagem do experimento 1. ....	71
Figura 25 – Comportamento da matéria seca nas pilhas A e B durante a Fase de Compostagem de dejetos do Experimento 1.....	73
Figura 26 – Comportamento do índice pH durante a Fase de Compostagem de dejetos para as pilhas A e B do Experimento 1 .....	74
Figura 27 – Comportamento da relação C/N durante a Fase de Compostagem de dejetos do Experimento 1 para as pilhas A e B.....	74
Figura 28 – Temperaturas médias observadas durante o teste intermediário nas pilhas de compostagem referentes aos tratamentos 1 (T1), 2 (T2) e 3 (T3). ....	75

Figura 29 – Comportamento da matéria seca nos tratamentos 1, 2 e 3 durante experimento intermediário.....	78
Figura 30 – Comportamento do índice pH durante o experimento intermediário para os tratamento 1, 2 e 3. ....	79
Figura 31 – Evolução das temperaturas médias observadas nas pilhas compostas de maravalha (tratamento 1) e serragem (tratamento 2). Média diária. Temperaturas médias, máximas e mínimas do ambiente durante a 1ª fase do experimento 2.....	80
Figura 32 – Comportamento da matéria seca nos tratamentos 1 e 2 durante experimento 2.....	83
Figura 33 – Comportamento do índice pH durante o experimento 2 para os tratamento 1 e 2. ....	84
Figura 34 – Temperaturas internas das pilhas de compostagem compostas por maravalha e dejetos (tratamento 1) e serragem e dejetos (tratamento 2) durante a segunda fase experimental. Temperatura médias, máximas e mínimas do Ambiente experimental.....	86
Figura 35 – Comportamento da matéria seca nos tratamentos 1 e 2 durante experimento 2.....	88
Figura 36 – Comportamento do índice pH durante o experimento 2 para os tratamento 1 e 2 (fase de compostagem).....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção média diária de dejetos por diferentes categorias de suínos	6
Tabela 2 – Composição média de dejetos de suínos.....	7
Tabela 3 – Eficiência (%) de remoção de um sistema de tratamento composto por decantador de palhetas, lagoa anaeróbias (1 e 2), lagoa facultativa e de aguapé.	9
Tabela 4 – Comparação da performance zootécnica, da taxa de músculo e do rendimento de carcaça dos animais criados sobre o piso ripado ou sobre cama de maravalha.....	11
Tabela 5 – Resultados observados de análises do acúmulo de nutrientes gerados nos sistema de cama sobreposta de maravalha ou palha, em sistema de crescimento e terminação de suínos durante 4 lotes sucessivos por um período de 1 ano. ....	12
Tabela 6 – Valores ou recomendações dos principais fatores envolvidos no processo de compostagem .....	15
Tabela 7 – Relação C/N após tratamento complementar do composto obtido pelo sistema de cama sobreposta. Dados obtidos de acordo com o tempo de maturação da cama, em leira estática e leira revirada. ....	23
Tabela 8 – Capacidade de absorção dos materiais de cama mais comuns:.....	26
Tabela 9 – Quantificação das matérias-primas inseridas no sistema de compostagem experimental em cada pilha referente aos tratamentos 1 e 2. ....	38
Tabela 10 – Metodologia de aplicação de dejetos e mistura dos mesmos aos substratos presentes nas caixas referentes ao tratamento 1 – Aplicação em camadas.....	40
Tabela 11 – Metodologia de aplicação de dejetos e mistura dos mesmos aos substratos presentes nas caixas referentes ao tratamento 2 – Aplicação na betoneira. ....	41
Tabela 12 – Teores de matéria seca (MS%), Nitrogênio total (Nt%), Carbono Orgânico (C. org%) e pH dos materiais em processo de impregnação de dejetos	

para os tratamentos 1 e 2, anteriormente (A) e posteriormente (P) a cada aplicação de dejetos do Experimento 1. ....	65
Tabela 13 – Evolução da matéria seca e da relação Carbono / Nitrogênio (C/N) durante a fase de Impregnação de dejetos do Experimento 1. ....	65
Tabela 14 – Relação maravalha / dejetos resultante das sucessivas aplicações quinzenais de dejetos a uma massa fixa de 80 kg de maravalha durante a fase de impregnação de dejetos do Experimento 1. ....	68
Tabela 15 – Quantidade de dejetos escorridos até as aplicações de dejetos, quantidade retornada ao sistema e respectivas perdas no tratamento 1. ....	68
Tabela 16 – Quantidade de dejetos escorridos até as aplicações de dejetos, quantidade retornada ao sistema e respectivas perdas no tratamento 2. ....	69
Tabela 17 – Teores de matéria seca (MS%), Nitrogênio total (Nt%), Carbono Orgânico (C. org%) e pH dos materiais em processo de compostagem para as pilhas A e B. ....	72
Tabela 18 – Evolução da relação Carbono / Nitrogênio (C/N) durante a fase de Compostagem do Experimento 1. ....	73
Tabela 19 – Características finais do material obtido das Pilhas A e B. ....	73
Tabela 20 – Massas de dejetos incorporadas em cada uma das aplicações de dejetos realizadas no teste intermediário nos tratamentos 1 (manutenção de umidade em 65%), 2 (manutenção de umidade em 70%) e 3 (manutenção de umidade em 75%). ....	76
Tabela 21 – Relação maravalha / dejetos atingida em cada uma das aplicações de dejetos desenvolvida no teste intermediário para os tratamentos 1, 2 e 3. ....	76
Tabela 22 – Teores de matéria seca (MS%), Nitrogênio total (Nt%), Carbono Orgânico (C. org%) e pH dos materiais durante o desenvolvimento do experimento intermediário (tratamentos 1, 2 e 3).....	77
Tabela 23 – Variação da relação Carbono Orgânico / Nitrogênio Total (relação C/N) durante o experimento intermediário .....	78
Tabela 24 – Temperaturas médias observadas durante a 1ª, 2ª, 3ª e 4ª aplicações de dejetos (A1, A2, A3 e A4) e seus revolvimentos intermediários (R1, R2, R3 e R4) para os tratamentos 1 (maravalha) e 2 (serragem). ....	81
Tabela 25 – Teores de matéria seca (MS%), Nitrogênio total (Nt%), Carbono Orgânico (C. org%) e pH dos materiais do experimento 2 (tratamentos 1 e 2) anteriormente (A) e posteriormente (P) ao desenvolvimento das aplicações de dejetos.....	81

Tabela 26 – Variação da relação Carbono Orgânico / Nitrogênio Total (relação C/N) após a 1ª aplicação (Dia 0) e após a 4ª aplicação de dejetos (dia 21) do experimento 2.....	83
Tabela 27 – Massas (kg) de matérias-primas utilizadas no decorrer do experimento 2, em função do cálculo de correção da umidade em 70% no decorrer das 4 aplicações de dejetos.....	85
Tabela 28 – Relação substrato / dejetos atingida após cada aplicação de dejetos para os tratamentos 1 e 2 do experimento 2.....	85
Tabela 29 – Teores de matéria seca (MS%), Nitrogênio total (Nt%), Carbono Orgânico (C. org%) e pH dos materiais do experimento 2 (tratamentos 1 e 2) durante a fase de compostagem do experimento 2. ....	87
Tabela 30 – Variação da relação Carbono Orgânico / Nitrogênio Total (relação C/N) durante a fase de compostagem do experimento 2. ....	87

## RESUMO

O sistema de produção de suínos é uma das atividades de maior impacto ambiental em regiões de alta concentração de animais. Por este motivo, tem-se discutido muito a implantação de sistemas de manejo de dejetos suínos na forma sólida, via desenvolvimento do processo de compostagem. A fim de se avaliar a implantação da compostagem para o tratamento de dejetos da suinocultura, este trabalho tem como objetivo principal padronizar formas de manejo adequadas para empreendimentos deste tipo, utilizando-se como substratos resíduos celulolíticos (maravalha e serragem). Para tanto, foram realizados 3 experimentos independentes. O experimento 1 avaliou duas formas de aplicação de dejetos suínos ao substrato maravalha (em camadas e com a utilização de betoneira) e duas formas de aeração às pilhas de compostagem originadas (passiva e mecânica). O experimento intermediário avaliou a capacidade suporte do substrato maravalha em absorver dejetos, mantendo-se três umidades diferentes (65, 70 e 75%). O experimento 2, comparou a maravalha e a serragem como substratos na compostagem de dejetos suínos, mantendo-se a umidade em 70%. No experimento 1, observou-se que a aplicação de dejetos de forma manual foi efetiva, atingindo-se maiores taxas de aplicação em comparação ao método mecânico (betoneira). Durante a 2ª fase do experimento 1 (fase de compostagem), não foram observadas diferenças quanto a relação C/N inicial e final nos dois métodos de aeração adotados. Os resultados obtidos no experimento 2 permitem concluir que a umidade de 70% na compostagem de dejetos suínos na forma líquida (cerca de 4% de matéria seca) e maravalha e serragem, foi eficaz, uma vez que não acarretou escoamento de dejetos excedente do sistema. Mantendo-se esta umidade, no experimento 2 foram realizadas 4 aplicações de dejetos semanais, com revolvimentos intermediários. A correção da umidade em 70% dentro de 4 semanas de aplicação, permitiu as taxas de aplicação (kg de substrato: kg de dejetos) de 1 : 3,40 e 1 : 2,55, para a maravalha e a serragem, respectivamente. Ao final do período analisado (86 dias), os materiais dos tratamentos 1 (maravalha) e 2 (serragem) apresentavam relação Carbono Orgânico / Nitrogênio Total de 40,07 e 46,73, respectivamente. Em conclusão, propõem-se a continuação dos estudos, realizando-se sistemas de compostagem em maior escala, confirmando-se assim as relações substrato: dejetos alcançadas no presente estudo.

## ABSTRACT

The swine production system is one of the largest environmental impact activities in regions of high concentration of animals. Therefore, there has been a great deal of discussion about the implementation of systems for managing swine manure in solid form, through the development of composting processes. The main purpose of this paper is to standardize managing systems that are adequate, in order to evaluate the implementation of the composting process for the treatment of swine manure. Cellulolytic wastes - wood shavings and sawdust - were used as bulking materials. Three independent experiments were made. Experiment 1 evaluated two forms of application of swine manure to wood shavings (in layers and with a concrete mixer) and two forms of aeration to the composting piles originated (passive and mechanical). The intermediate experiment evaluated the capacity of wood shavings to absorb manure, keeping three different humidities (65, 70 and 75%). Experiment 2 compared wood shavings and sawdust as bulking materials in the composting of swine manure, keeping a 70% humidity. In experiment 1, it was observed that the manual application of manure was effective, reaching bigger rates, compared to the mechanical method (concrete mixer). During the second phase of experiment 1 (composting phase) differences were not observed as to the initial and final CN rate (Organic Carbon/Total Nitrogen), in both aeration methods used. The results obtained in experiment 2 allow the conclusion that the 70% humidity was efficient in the composting of swine manure in the liquid form (about 4% of dry matter) and wood shaving and sawdust, as it did not cause flowing of the exceeding manure of the system. Keeping such humidity, four weekly applications of manure were made in experiment 2, with intermediate turnings. The correction of the humidity in 70 % within four weeks of application allowed the rates (kg bulking material: kg manure) of 1 : 3.40 and 1 : 2.25 for wood shaving and sawdust, respectively. At the end of the period analyzed (86 days), the materials of treatment 1 (wood shaving) and treatment 2 (sawdust) showed the C/N rate of 40,07 and 46,73, respectively. In conclusion, the studies should be continued, with composting systems on a larger scale, to confirm the rates (bulking material: manure) obtained in the present paper.

# **CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO**

## **1 INTRODUÇÃO**

### **1.1 A Suinocultura no Brasil e no mundo**

No âmbito internacional, a China é hoje o maior produtor mundial de carne suína, produzindo cerca de 42,78 milhões de toneladas (46,77% do total mundial) em 2001. No período de 1990 a 2001 a produção latino-americana de carne suína cresceu 68,2%, aumento percentual apenas superado pela China e correspondente a mais que o dobro do crescimento mundial. Os países que mais contribuíram para este aumento foram o Chile, o Brasil e o México. O Brasil é o único país da América Latina incluído na lista dos 10 maiores produtores mundiais de carne suína, sendo responsável por 7,5% das exportações mundiais. Algumas regiões como o Estado de Santa Catarina, destacam-se pela grande tecnificação de sua produção, exibindo taxa de desfrute de 188% em 2001 (ANUALPEC, 2003).

A Suinocultura é uma atividade importante do ponto de vista econômico e social, uma vez que se constitui em ferramenta de fixação do homem no campo e meio de geração de empregos diretos e indiretos, em toda a cadeia produtiva. O rebanho suíno nacional, em 2003 é estimado em 32.396.439 cabeças, concentrando na região Sul cerca de 13.889.514 cabeças (42,87% do rebanho nacional). (ANUALPEC, 2003).

O Estado de Santa Catarina é a região de maior expressão da suinocultura tecnificada na economia nacional, provocando efeitos multiplicadores de renda e geração de emprego em vários elos da cadeia de produção de proteína animal



(Santos Filho et al., 1999). De acordo com Miranda & Coldebella (2002), a Suinocultura em Santa Catarina constitui-se na segunda principal atividade na formação do valor bruto da produção agropecuária estadual, gerando 65 mil empregos diretos e o dobro deste valor de forma indireta. Por sua vez, a região oeste, com 26% da área total do Estado (25.215 km<sup>2</sup>) concentra 70% do rebanho e 90% do abate estadual.

Estes valores ilustram bem a importância da suinocultura para o Estado de Santa Catarina e justificam os esforços empregados pelos meios técnicos e científicos em contribuir para a geração do desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva no Estado, uma vez que este tipo de exploração é caracterizado pelos órgãos ambientais como atividade potencialmente causadora de degradação ambiental (FATMA, 2002).

## **1.2 A utilização dos dejetos de suínos e seu impacto ambiental**

A suinocultura é uma atividade de grande potencial poluidor, face ao elevado número de contaminantes gerados pelos seus efluentes, cuja disposição inadequada pode representar importante fonte de degradação dos recursos naturais. Desta forma, a disposição destes efluentes na natureza sem tratamento prévio, pode causar desequilíbrios ambientais bastante sérios.

A principal forma de utilização dos dejetos oriundos da suinocultura é através da aplicação nas lavouras. No entanto, em regiões como oeste de Santa Catarina, existe o agravante das propriedades possuírem áreas pequenas e, em grande parte, de topografia acidentada. Além disso, a forma extremamente diluída em que os dejetos são gerados torna o seu transporte e distribuição bastante oneroso aos produtores rurais. Desta forma, os dejetos produzidos acabam sendo aplicados na mesma área repetidas vezes, excedendo a capacidade do solo em reciclar a carga orgânica depositada. Estas aplicações demasiadas são preocupantes pois incluem o potencial de dispersão de patógenos, eutrofização das águas superficiais, contaminações por nitratos da água do solo, potencial de impactos por antibióticos e desinfetantes sobre a comunidade microbiana do solo (Boiran et al., 1996 apud Ra et al., 2000).

De acordo com Miranda & Coldebella (2002) na região oeste de Santa Catarina, cerca de 90% das fontes de abastecimento de água do meio rural

(humana e animal) estão contaminadas por coliformes fecais possuindo níveis preocupantes de nitratos.

Para a utilização em hortaliças, em especial, as folhosas, torna-se conveniente a fermentação e/ou compostagem dos dejetos de suínos, de forma a estabilizar o material orgânico, reduzir os riscos de disseminação de patógenos e aumentar a disponibilidade de nutrientes para as culturas (Sediyama et al., 2000).

Além das questões ambientais, deve-se ressaltar a questão econômica na escolha de um sistema de gerenciamento dos dejetos de suínos. De acordo com Oliveira et al., (2001), a baixa utilização do dejetos suíno como fertilizante agrícola decorre de sua composição extremamente diluída, o que inviabiliza economicamente a sua aplicação no solo. Segundo Chiuchetta & Oliveira (2002), o custo de distribuição do dejetos líquido como fertilizante agrícola para a cultura do milho, utilizando-se de distribuidores de 4000 L é de R\$155,10 /ha para uma distância de 1km. Quando esta distância do reservatório de dejetos até a lavoura passa de 1 para 7 km, o custo de distribuição de dejetos aumenta para R\$471,90. Neste mesmo trabalho, os autores também fizeram as estimativas para a distribuição dos dejetos na forma sólida (cama). Utilizando-se de distribuidores de 6000 L, tem-se um custo de R\$68,51/ha para uma distância de 1km do reservatório de dejetos até a lavoura. Para uma distância de 7 km estima-se um custo de R\$216,00/ha.

Outros estudos também concluíram que o método de acumulação dos dejetos e aplicação no solo como fertilizante nas lavouras vem sendo questionado intensamente por produtores e técnicos por encontrar limitações de ordem ambiental e econômica. Segundo Bley (2003) em uma distância de 2.250m, o valor agrônômico dos dejetos é anulado pelo custo de distribuição.

A elaboração de alternativas tecnológicas para o manejo e o tratamento dos dejetos de suínos deve levar em consideração todos os fatores expostos acima, de forma a adaptar as tecnologias propostas à região e à realidade sócio-econômica dos produtores rurais. Para tanto, faz-se necessária a sensibilização da população em geral sobre os aspectos poluentes dos dejetos, bem como agilizar os meios técnicos para o desenvolvimentos de sistemas que combinem a utilização racional do dejetos como fertilizante, a viabilidade econômica desta prática e a minimização dos efeitos poluidores.

## **2. OBJETIVOS DO TRABALHO**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar procedimentos operacionais na compostagem de dejetos de suínos utilizando-se maravalha e serragem como substratos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar o desempenho da maravalha como substrato da compostagem de dejetos de suíno;
- Avaliar a utilização de formas mecanizadas e manuais na mistura da maravalha e do dejetos de suíno;
- Comparar o método passivo e forçado na aeração das pilhas de compostagem;
- Comparar os dados obtidos em sistema de compostagem de dejetos de suíno previamente maturado e fresco.
- Comparar o desempenho da maravalha e da serragem em um mesmo sistema de compostagem de dejetos frescos de suíno.

## **CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA**

### **1 CARACTERÍSTICAS DOS DEJETOS DE SUÍNOS**

A quantidade total de urina e fezes produzida pelo suíno varia de acordo com o desenvolvimento ponderal dos animais, apresentando valores decrescentes de 8,5 a 4,9% em relação ao seu peso vivo / dia, para a faixa de 15 a 100 kg (Oliveira, 1993). Esta produção de dejetos é fortemente influenciada pela alimentação animal. Estima-se que o aumento da digestibilidade da matéria seca da dieta de 85 para 90% reduza em 30% a excreção de matéria seca nas fezes (Lima, 1996). O manejo, o tipo de bebedouro e o sistema de higienização adotado (frequência e volume de água utilizada), bem como, o número e categoria de animais também influenciam o volume de dejetos (Perdomo et al., 2001). O tipo de edificação utilizada nos sistemas de produção (existência de beiral, drenagem do local de armazenagem dos dejetos, etc.) também influencia no volume e composição dos dejetos produzidos (Diesel et al., 2002). A Tabela 1 apresenta, para as diferentes categorias de suínos, as quantidades médias de dejetos produzidas diariamente.

Tabela 1 – Produção média diária de dejetos por diferentes categorias de suínos

Categoria	Esterco (kg/dia)	Esterco + Urina (kg/dia)	Dejetos líquidos (L/dia)	Estrutura para estocagem (m <sup>3</sup> /animal/mês)	
				Esterco + Urina	Dejeto líquido
25 – 100kg	2,30	4,90	7,00	0,16	0,25
Porcas em reposição, cobrição e gestante	3,60	11,00	16,00	0,34	0,48
Porcas em lactação com leitões	6,40	18,00	27,00	0,52	0,81
Macho	3,00	6,00	9,00	0,18	0,28
Leitões	0,35	0,95	1,40	0,04	0,05
Média	2,35	5,80	8,60	0,17	0,27

Fonte: Oliveira (1993).

Segundo Konzen (2001), o conteúdo de sólidos dos dejetos poderá sofrer variações, dependendo da diluição causada pelo maior ou menor uso da água de limpeza no sistema de higienização. Os dejetos coletados em sistemas de piso ripado com fossos têm um conteúdo de matéria seca que varia de 2,6 a 3,5%. No manejo em lâmina d'água e canaletas, esta variação é de 1,7 a 2,6%.

Para uma correta utilização dos dejetos suínos, é necessário se conhecer o volume e a composição dos dejetos produzidos por dia, possibilitando-se assim um correto dimensionamento da estrutura de armazenamento e a subsequente estabilização das dejeções produzidas. A composição dos dejetos animais está associada ao sistema de manejo adotado. Os dejetos podem apresentar grandes variações na concentração de seus componentes, dependendo da diluição e da modalidade como são manuseados e armazenados. A Tabela 2 apresenta a compilação de vários trabalhos que caracterizaram a composição dos dejetos de suínos (Oliveira, 2002).

Tabela 2 – Composição média de dejetos de suínos.

Parâmetro	Konzen (1980) (Brasil)	Duarte et al., (1992) (Portugal)	Sevrin-Reyssac et al., (1995) (França)	Medri (1997) (SC/Brasil)	Cazarré (2000) (SC/Brasil)	Zanotelli (2002) (SC/Brasil)
pH	6,94	7,46	-	6,90	7,06	6,87
DQO total	98.640	21.670	80.000	21.647	20.005	26.387
DBO <sub>5</sub> total	52.270	7.280	40.000	11.979	-	-
NTK	6.000	2.150	8.100	2.205	2.487	2.539
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-	1.420	3.400	-	-	-
P total	2.500	-	7.100	633	541	1.215
Sólidos Totais	90.000	-	82.000	17.240	14.322	22.867
Sólidos Voláteis	75.000	-	66.000	10.266	9.304	16.855

## 2 PRINCIPAIS SISTEMAS DE MANEJO DE DEJETOS

### 2.1 Separação de fases

A separação de fases consiste em separar as partículas maiores contidas nos dejetos da fração líquida e conduzir à obtenção de uma fração líquida mais fluida e de uma fração sólida, com umidade próxima a 70% (Oliveira, 1993). Segundo Diesel et al., (2002) a separação de fases pode ser efetuada por processo de decantação, centrifugação, peneiramento e/ou prensagem, e a desidratação da parte líquida por vento, ar forçado ou ar aquecido.

Um pré tratamento, com uso de separadores de fase, além de valorizar os dejetos do ponto de vista de adubação orgânica (aumenta a concentração de nutrientes por volume), reduz os custos de tratamento, armazenamento e distribuição. Além disso, a presença de sistemas de separação de fases aumenta a vida útil das lagoas e esterqueiras, reduzindo a presença de maus odores (Perdomo et al., 2001).

Segundo Medri (1997), cerca de 30% da DBO<sub>5</sub> e 42% dos sólidos totais são removidos com a utilização de decantadores. O decantador de palhetas é um

dos mais eficientes e adequados para os pequenos e médios criadores, face ao baixo custo e facilidade de construção e operação.

## **2.2 Armazenamento de dejetos**

A armazenagem dos dejetos de suínos consiste em colocar os dejetos em depósitos adequados durante um determinado tempo, com objetivo de fermentar a biomassa e reduzir os patógenos dos mesmos. Por não ser um sistema de tratamento, fica aquém dos parâmetros exigidos pela legislação ambiental para lançamento em corpos receptores (rios, lagos) e a sua utilização como fertilizante requer cuidados especiais. Podem ser considerados sistemas de armazenamento de dejetos as esterqueiras, bioesterqueiras e os biodigestores (Diesel et al., 2002).

O principal meio de estocagem de dejetos é a utilização de esterqueiras. As esterqueiras são constituídas de uma câmara revestida, com tempo de retenção hidráulico previsto para 120 dias. Esgotada a capacidade da esterqueira, esta é esvaziada e os dejetos são utilizados como fertilizante orgânico (Oliveira, 1993).

As bioesterqueiras são compostas de dois compartimentos, sendo que no primeiro ocorre uma fase de fermentação anaeróbia da matéria orgânica e no segundo o armazenamento do fertilizante. As bioesterqueiras recomendadas pela EPAGRI, possuem um tempo de retenção hidráulico total de 135 dias (45 dias na câmara de fermentação e 90 a 120 dias no segundo compartimento). Segundo Diesel et al., (2002), a bioesterqueira consiste de uma adaptação da esterqueira convencional para melhorar a eficiência no tratamento do dejetos, através do aumento do tempo de retenção do mesmo.

As esterqueiras e bioesterqueiras são estruturas adequadas para o armazenamento dos dejetos, não podendo ser definidas como sistemas de tratamento (Gosmann, 1997).

## **2.3 Sistemas de lagoas em série**

O tratamento do efluente líquido pode ser realizado com o emprego de lagoas anaeróbias, facultativas e de aguapé ligadas em séries (Oliveira, 1993). As

lagoas têm o objetivo de remover a carga orgânica, nutrientes e os patógenos indesejáveis e deixar o efluente líquido de acordo com a legislação ambiental.

O uso de lagoas para o tratamento dos dejetos de suínos tem como principal objetivo a redução da carga orgânica contida no efluente (Dartora, 1998). No entanto, o tratamento com lagoas requer grandes áreas disponíveis para sua implantação.

A Embrapa Suínos e Aves, em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina, desenvolve já a algum tempo estudos que testam a eficiência de sistemas de lagoas em série para o tratamento de dejetos de suínos. Neste estudo foi utilizado um decantador de palhetas para a separação inicial da parte líquida do efluente. O tratamento é realizado através de três tipos de lagoas, ligadas em série. Destas, duas são anaeróbias, uma facultativa e a outra de aguapé. O sistema apresenta boa eficiência de remoção de poluentes, além de valorizar o uso agrônômico dos mesmos a custos razoáveis (Tabela 3).

Tabela 3 – Eficiência (%) de remoção de um sistema de tratamento composto por decantador de palhetas, lagoa anaeróbias (1 e 2), lagoa facultativa e de aguapé.

Unidade	pH	ST	SF	SV	DBO <sub>5</sub>	Nt	Pt	CF
Afluente	7,0	16 668	6 489	10 179	10 417	2 164	610	5,7x10 <sup>9</sup>
Decantador	-	40	38	41	25	16	38	33
Lag. Anaerobia-1	-	52	36	62	79	23	67	99
Lag. Anaerobia-2	-	23	12	35	57	21	40	99
Lag. Facultativa	-	41	39	43	47	59	35	93
Lag. Aguapé	-	41	45	33	51	50	46	79
Efluente	7,8	1 332	734	598	209	180	26	2,7x10 <sup>3</sup>
Final (%)		92	87	94	98	92	96	99,9

Onde: ST–sólidos totais, SF–fixos e SV–voláteis; DBO<sub>5</sub>–demanda bioquímica de oxigênio, Nt–nitrogênio e Pt–fósforo total, todos expressos em mg/L. CF – taxa de coliformes fecais, em NMP/100 ml.

Fonte: Costa et al., (1997).

### 3 SISTEMA DE CAMA SOBREPOSTA

Muitos estudos foram realizados nos últimos anos a fim de testar o uso de sistemas de cama sobreposta na suinocultura, tentando-se com isso amenizar os problemas decorrentes da disposição inadequada dos dejetos suínos em áreas de grande concentração de animais. Neste sistema, também chamado de “Deep Bedding”, os animais são criados em instalações rústicas compostas por um leito formado por maravalha, casca de arroz, palha ou bagaço-de-cana, que vão se



misturando com o esterco produzido pelos animais, o que leva ao processo de compostagem (Oliveira, 1999).

De acordo com Tiquia et al., (1997), o sistema de cama sobreposta é um método de criação de suínos onde estes são criados sobre uma cama, que contém uma mistura de serragem, inóculos de bactéria e dejetos suínos (fezes e urina) que uma vez depositados são rapidamente revolvidos, sofrendo uma compostagem in-situ.

Este sistema de produção teve sua origem na China em Hong Kong (Lo, 1992). Na Europa, esta tecnologia de produção de suínos em camas sobrepostas começou a ser estudada no final da década de 80 (Nicks et al., 1995).

Segundo Hill (2000), existem pelo menos 10 fatores que devem ser considerados na escolha dos substratos a serem utilizados nos sistemas de cama sobreposta, dentre eles a capacidade de absorção, a taxa de evaporação / retenção de água, o teor de carbono, a disponibilidade de carbono, a estrutura, a integridade estrutural, efeitos na saúde animal, a facilidade no manejo, a disponibilidade e o custo.

As bactérias naturalmente presentes nos dejetos degradam a matéria orgânica contida na cama através de reações aeróbias acompanhadas da produção de calor. Estudo desenvolvido por Oliveira et al., (1998) demonstrou que no processo de compostagem desenvolvido nas camas a água contida nos dejetos é praticamente toda eliminada na forma de vapor. Esta eliminação corresponde a 5,7 kg d'água por suíno/dia, enquanto que a quantidade de água ingerida ou gerada no sistema é em torno de 6,2 kg por suíno por dia. Entretanto, no sistema de criação convencional em piso ripado a totalidade da água ingerida ou gerada no sistema fica retida na fossa interna de dejetos ou nas esterqueiras.

Segundo Klemola & Malkki (1998), no sistema de cama sobreposta desenvolvido na Finlândia os suínos são mantidos em baias grandes (geralmente 50 animais por baia) em leitos com profundidade entre 50cm e 60cm. O dejetos é misturado ao substrato e logo se inicia o processo de compostagem, sendo produzido calor que associado a uma boa ventilação permite a evaporação do excesso de umidade. Segundo os autores, o volume de dejetos gerado desta forma é consideravelmente reduzido.

Estudos realizados por Oliveira (1999) demonstraram que o desempenho zootécnico de suínos criados sobre cama de maravalha quando comparado a sistemas de piso ripado (total ou parcial) não obtiveram diferenças significativas, sendo o peso médio dos animais ligeiramente superior no sistema de criação de suínos sobre camas (Tabela 4). Não houve diferença para o consumo de alimento, conversão alimentar, ganho de peso e a taxa de músculo, bem como para o rendimento de carcaça e a espessura de gordura nos animais criados em cama de maravalha e piso ripado.

Outros estudos realizados por Corrêa (1998) revelam uma tendência para menor ganho de peso nos animais criados sobre piso de concreto a medida que a temperatura do ambiente diminui (inverno) e maior ganho na época quente (verão) quando comparado ao sistema de cama sobreposta.

Tabela 4 – Comparação da performance zootécnica, da taxa de músculo e do rendimento de carcaça dos animais criados sobre o piso ripado ou sobre cama de maravalha.

Resultados médios	Média do Ano 1		Média do Ano 2	
	Ripado	Cama	Ripado	Cama
Peso Inicial (kg)	29,8±1,2	30,5±1,4	31,5±1,7	31,6±1,4
Peso 1ª medida (kg)	62,9±2,9	62,6±3,7	52,2±8,3	54,8±4,2
Peso 2ª medida (kg)	76,7±5,2	78,8±6,4	72,9±8,9	74,1±6,7
Peso final (kg)	99,9±7,5	102,3±7,9	95,6±12,6	95,8±10,3
Consumo Ração (kg)	189,7	191,8	187,3	184,2
Ganho de Peso (g/dia)	779	794	712	715
Conversão Alimentar	2,71	2,67	2,91	2,87
Taxa de Músculo (%)	60,3±2,4	60,9±1,8	58,7±3,5	60,5±1,6
Peso carcaça quente (kg)	81,7±5,6	82,7±7,7	78,1±10,2	77,8±8,4
Rendimento carcaça (%)	81,9±2,7	81,8±2,6	82,3±1,2	82,8±1,0

Fonte: Oliveira, 1999.

A comparação do Nitrogênio retido na cama e nos dejetos líquidos mostrou que somente 20 a 40% do N excretado pelos suínos se encontra retido na cama, enquanto que no piso ripado 70 a 75% do N se encontra retido nos dejetos líquidos, dividido em N orgânico e N amoniacal, respectivamente 30-40% e 70-60% (Oliveira, 1999). A diferença entre os dois sistemas é em função da emissão significativa de N<sub>2</sub> (40-60%) para o caso das criações sobre cama de maravalha. Independentemente do sistema de criação em torno de 20% do N contido nos dejetos é eliminado na forma de gás NH<sub>3</sub> e N<sub>2</sub>O. Para o caso do sistema de cama, as emissões de NH<sub>3</sub> e N<sub>2</sub>O são sensivelmente semelhantes. Porém, para o caso

do piso ripado as emissões da NH<sub>3</sub> são dominantes (Robin et al., 1999). O fósforo excretado pelos suínos se encontra totalmente armazenado nos dejetos líquidos para o caso de sistemas com piso ripado. Enquanto no sistema de cama de maravalha 58% do fósforo excretado pelos animais é retido na camada superficial com 15cm de profundidade da cama (Kermarrec, 1999).

Os resíduos de sistemas de produção sobre cama apresentam uma concentração muito maior de nutrientes quando comparados aos sistemas de produção de suínos sobre pisos ripados e uma relação C/N entre 14 e 18, viabilizando seu uso como fertilizante orgânico e facilitando sua distribuição na lavoura. Na Tabela 5, observa-se os resultados de estudo analisando a concentração de MS (matéria seca), N (nitrogênio), P (fósforo) e K (potássio), em sistema de criação de suínos em cama sobreposta de maravalha ou palha, após cada ciclo de crescimento e terminação durante um ano de criação sobre a mesma cama. Estes resultados demonstram a viabilidade do uso das camas como fertilizante orgânico e sua viabilidade econômica quando comparada aos sistemas convencionais de produção de suínos onde existe um excesso de água provocando uma elevada diluição dos dejetos (Oliveira et al., 2001).

Tabela 5 – Resultados observados de análises do acúmulo de nutrientes gerados nos sistema de cama sobreposta de maravalha ou palha, em sistema de crescimento e terminação de suínos durante 4 lotes sucessivos por um período de 1 ano.

<b>Maravalha</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>	<b>Lote 3</b>	<b>Lote 4</b>
MS (%)	57,1	42,2	37,7	43,4
N (kg/ton)	4,6	5,1	6,6	8,8
P (kg/ton)	2,1	3,6	4,9	7,2
K (kg/ton)	3,8	5,1	7,8	11,7
<b>Palha</b>	<b>Lote 1</b>	<b>Lote 2</b>	<b>Lote 3</b>	<b>Lote 4</b>
MS (%)	57,2	56,4	36,3	48,7
N (kg/ton)	9,4	14,2	8,9	12,2
P (kg/ton)	2,5	7,4	6,1	7,6
K (kg/ton)	15,1	19,6	11,1	17,6

Fonte: Oliveira et al., 2001.

#### **4 COMPOSTAGEM**

A compostagem dos dejetos de suínos é uma prática que vem crescendo significativamente nos últimos anos, em vários países da Europa. Esta técnica foi

desenvolvida como um método alternativo de manejo dos dejetos oriundos desta atividade e visa modificar as características químicas e físicas dos dejetos, dando origem a um produto final de alto valor agrônômico. Um dado indicativo de que o processo de compostagem é uma técnica promissora para o tratamento dos dejetos de suíno é a distribuição dos tipos de tratamentos desenvolvidos na França. Estima-se que o processo de compostagem seja desenvolvido em cerca de 17% das estações de tratamento biológico de dejetos suínos na França, o que representa em torno de 7% do volume total de dejetos produzido no país (Gerard, 2003).

A compostagem pode representar uma solução efetiva para os problemas da disposição dos dejetos de suínos em áreas de grande concentração de animais, uma vez que permite transferir este material para outras regiões carentes deste tipo de insumo.

Segundo Bernal et al., (1998), a compostagem é considerada uma maneira adequada de reciclar os compostos orgânicos na agricultura, de uma forma compatível com o meio ambiente. No entanto, a fim de obter um produto final com alto valor fertilizante, o processo de compostagem deve ser desenvolvido adequadamente.

#### **4.1 Definição**

A compostagem de resíduos orgânicos é, provavelmente, o mais antigo sistema de tratamento biológico utilizado pelo homem, sendo este processo utilizado por antigas civilizações como um método natural de reciclagem dos nutrientes, comumente presentes, nos resíduos resultantes de suas atividades diárias (Pereira Neto et al., 1985).

Define-se compostagem como sendo um processo controlado de decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, passando pelas seguintes fases: uma inicial e rápida de fitotoxicidade ou de composto cru ou imaturo, seguida pela fase de semicura ou bioestabilização, para atingir finalmente a terceira fase, a cura, maturação ou mais tecnicamente, a humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica, quando pode se dar por encerrada a compostagem. Durante todo o processo ocorre produção

de calor e desprendimento, principalmente de gás carbônico e vapor d'água (Kiehl, 1998). Este mesmo autor complementa esta definição de compostagem dizendo ser este um processo controlado pelo fato de se acompanhar e controlar a temperatura, a aeração e a umidade, entre outros fatores.

Para Haug (1980) não existe uma definição universal de compostagem. A compostagem é definida como a decomposição biológica e a estabilização das substâncias orgânicas sob condições que permitam o desenvolvimento de temperaturas termofílicas como resultado da produção biológica de calor com um produto final suficientemente estável para a estocagem e aplicação agrícola sem com isso gerar efeitos adversos ao meio ambiente. Desta forma, o principal objetivo da compostagem seria converter biologicamente os compostos orgânicos em formas estabilizadas e destruir organismos patogênicos, insetos, ovos de insetos e sementes de plantas.

Segundo Lau et al., (1992), a compostagem é uma versão acelerada do processo natural de decomposição dos compostos orgânicos, alcançado através do fornecimento de condições favoráveis para os microorganismos presentes na massa de compostagem (bactérias, actinomicetos e fungos).

Segundo Biddlestone et al., (1994), o processo de compostagem é uma complexa interação entre resíduos orgânicos, microorganismos, umidade e oxigênio. Desta forma, a taxa de maturação do composto durante o processo de compostagem é dependente de muitos fatores, sendo eles, o suprimento de nutrientes, o tamanho das partículas, a umidade, a resistência estrutural das matérias primas, aeração, agitação, pH e tamanho da pilha. Os valores e as recomendações aplicadas nos sistemas de compostagem no que se refere aos fatores relacionados anteriormente estão expostos na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores ou recomendações dos principais fatores envolvidos no processo de compostagem

<b>Fator</b>	<b>Valores ou recomendações</b>
Relação C/N dos resíduos	25:1 a 30:1
Tamanho das partículas	10 à 15mm para sistemas com revolvimento e aeração forçada e 50mm para pilhas com aeração natural
Umidade	50 a 60%
Fluxo de ar	0,6 a 1,8 m <sup>3</sup> de ar /dia <sup>-1</sup> /kg <sup>-1</sup> de sólidos voláteis ou manutenção de 10 a 18% de oxigênio
Temperatura	55°C
Tamanho da pilha	Qualquer comprimento. 1,5m de altura e 2,5m de largura para aeração natural. Este tamanho pode ser aumentado no caso de utilização de aeração forçada.

Fonte: Biddlestone et al., (1994).

#### **4.2 Principais fatores que afetam a compostagem**

Segundo Jakobsen (1992), o processo de compostagem depende de fatores físicos e químicos que irão condicionar o metabolismo microbiano. Dentre as condições físicas, destaca-se a porosidade uniforme dos materiais que permite uma adequada aeração do sistema. Dentre as condições químicas destaca-se a facilidade de decomposição dos materiais orgânicos.

#### **4.3 Aeração**

De acordo com a disponibilidade de oxigênio, a compostagem pode ser classificada em aeróbia e anaeróbia. A compostagem aeróbia é a decomposição dos substratos orgânicos na presença de oxigênio. Os principais produtos do metabolismo biológico são: dióxido de carbono, água e calor. A compostagem anaeróbia é a decomposição dos substratos orgânicos que ocorre na ausência de oxigênio (Kiehl,1985). Em contrapartida, Pereira Neto, (1996), define o processo de compostagem como aeróbio. De acordo com o autor, não se concebe tanto do ponto de vista técnico como do ponto de vista de impactos e inconvenientes, que a compostagem seja anaeróbia.

Segundo Haug (1980), os produtos metabólicos finais da decomposição anaeróbia são: metano, dióxido de carbono e numerosos intermediários tais como, ácidos orgânicos de baixo peso molecular. A compostagem anaeróbia apresenta significativa perda de energia por unidade de peso da matéria orgânica, quando comparada com a compostagem aeróbia. Além disso, a compostagem anaeróbia apresenta um alto potencial de emissão de maus odores devido à natureza de muitos dos metabólitos intermediários. Todos estes fatores fazem com que a maior parte dos sistemas de engenharia em compostagem sejam aeróbios.

Segundo Taiganides (1977), a taxa de aeração e a quantidade de ar inserida no material em compostagem precisam ser controlados. A taxa de aeração depende não apenas da natureza dos materiais em compostagem, dos fatores ambientais e do conteúdo de umidade, mas também do estágio em que se encontra o processo. A aeração pode ser variada durante o processo de compostagem. O uso de oxigênio é maior durante os primeiros dois ou três dias quando as condições de anaerobiose estão sendo neutralizadas. Altas taxas de aeração podem ser conferidas quando temperaturas termofílicas são alcançadas, usualmente após os primeiros dois dias. Quando o estágio de decomposição termofílica é completado, a taxa de aeração deve ser diminuída de forma a prevenir o resfriamento rápido da pilha de compostagem. Por causa do grande número de variáveis que afetam o requerimento de oxigênio em processos de compostagem, as taxas de aeração não podem ser especificadas para todas as situações.

De acordo com Lau et al., (1992), a aeração é essencial para a geração de calor metabólico dos microorganismos aeróbios. Um suprimento de ar adequado ao material a ser compostado é essencial para fornecer oxigênio e retirar o gás carbônico produzido (Peixoto, 1988, apud Goulart, 1997). No entanto, um suprimento excessivo de ar pode fazer com que a perda de calor seja mais intensa que a produção de calor microbiana.

Kiehl (1985) relata que na compostagem aeróbia deve-se garantir a presença de oxigênio do ar atmosférico evitando-se a compactação da massa e o encharcamento ou, como em certos processos industriais, injetando-se ou

aspirando-se ar sob pressão para renovação da atmosfera do interior do composto.

Segundo Fernandes et al., (1994), na compostagem os dois métodos mais comuns de aeração são o revolvimento das pilhas e o suprimento de ar forçado em pilhas estáticas. No entanto, outros autores recomendam a aeração natural como eficiente no caso de materiais com umidade relativamente baixa no início do processo de aeração (Haug, 1980 e Ishii et al., 1991 apud Fernandes, 1994).

Segundo Barrington et al., (2003), o material em compostagem pode ser aerado por um dos 3 métodos: pilhas estáticas naturais; passivas ou ativas (forçadas).

#### **4.3.1 Aeração Natural**

A aeração natural é mais barata e simples, não necessitando de estrutura alguma. Este tipo de aeração ocorre por simples difusão e convecção que ocorre na superfície exposta das pilhas (Fernandes et al., 1994).

Segundo Barrington et al., (2003), a aeração natural é considerada limitada, ao contrário da aeração passiva que é tão eficiente quanto a ativa e apresenta a vantagem de possuir menor custo.

#### **4.3.2 Aeração Passiva**

A aeração passiva requer de instalação de ductos sob a pilha de compostagem para maximizar o poder convectivo, originado da diferença de temperatura entre o material em compostagem e o ar ambiente. A aeração passiva promove uma maior taxa de compostagem em relação à aeração ativa, além de não sofrer efeitos negativos em decorrência de resfriamento da massa em compostagem e das perdas de N como ocorre na aeração ativa (Sartaj et al., 1997).

Fernandes et al., (1994) em experimento testando o processo de compostagem de aves utilizando-se palha como substrato e aeração passiva, provou ser este um método eficiente de aeração, atingindo-se temperaturas altas (70°C) entre 2 a 5 dias de compostagem.

Patni & Kinsman (1997) relatam que a compostagem em pilhas estáticas com aeração passiva é um método possível na remoção de água do dejetos de



suíno diluído, sendo este adicionado progressivamente nas pilhas de compostagem, com o aumento da temperatura.

#### **4.3.3 Aeração Ativa ou Forçada**

A utilização de aeração ativa requer a instalação de ductos sobre a pilha de compostagem e ventiladores que impulsionem o ar para dentro destes ductos e através da pilha de compostagem (Haug, 1993). Na aeração ativa, freqüentemente se utilizam de termopares para o controle da taxa de aeração, evitando-se resfriar o material em compostagem.

Segundo Pereira Neto et al., (1985), os sistemas de leiras estáticas aeradas – Aeração forçada – têm constituído um dos mais eficientes processos de baixo custo, para o tratamento de resíduos orgânicos (lixo urbano, lodo de esgoto, resíduos agrícolas, etc..). Neste sistema, o modo de aeração das leiras podem ser por injeção (positivo) ou sucção de ar (negativo), sendo o primeiro modo citado o mais vantajoso.

Segundo Barrington et al., (2003) o estudo do efeito da aeração passiva e ativa na compostagem de dejetos de suíno com 3 substratos diferentes (maravalha, palha e feno) em umidades de 60, 65 e 70% demonstrou que a aeração passiva foi tão eficiente quanto a aeração ativa em manter temperaturas estabilizadas em 55°C para todos os substratos utilizados e para as 3 umidades testadas. No entanto, a aeração ativa produziu picos de temperaturas ao redor de 70°C, enquanto na aeração passiva atingiu-se temperaturas de 57 a 65°C.

Lau et al., (1992), estudando modo, taxa e freqüência de aeração em sistemas de compostagem de dejetos suínos recomendou como ideal uma taxa de aeração de 0,04 a 0,08 L/min por kg de matéria volátil e um modo de aeração intermitente para sistemas deste tipo. Neste experimento, foram utilizadas as taxas de dejetos 5:1 (relação dejetos / substrato com base na massa) ou 1,25:1 (relação dejetos / substrato, com base no volume).

Tiquia & Tam (1998), em experimento comparando o revolvimento e a aeração ativa contínua na compostagem de cama oriunda de sistema de criação de suínos concluíram que a eficiência dos dois métodos de aeração testados foi similar. A cama nos dois tratamentos atingiu a maturidade no mesmo tempo (60 dias). Além disso, com este estudo verificou-se que para a aeração ativa não foi

necessária a adição de substratos, sendo o material passível de aeração por este método iniciando-se o processo com uma umidade de 60%. A perda de umidade verificada no final do período experimental não diferiu estatisticamente nos dois sistemas de aeração testados, sendo de 15 e 11% para as pilhas revolvidas e aeradas, respectivamente.

#### **4.3.4 Revolvimento**

Segundo Merkel, (1981), revolver a pilha de composto é essencial para o desenvolvimento da compostagem de forma rápida e sem a emissão de odores indesejáveis, características estas comuns em processos aeróbios e termofílicos. Desta forma, promove-se a decomposição rápida e uniforme da pilha de compostagem. O revolvimento é eficiente na redução da umidade e no fornecimento de oxigênio da massa de compostagem. Se o conteúdo de umidade estiver entre 50 e 60%, a pilha deverá ser revolvida em intervalos de 3 dias. Quando este teor ultrapassar o valor de 60%, recomenda-se esta prática com intervalos de 2 dias. Durante o reviramento, o calor é liberado para o meio ambiente na forma de vapor de água (Pereira Neto, 1996).

Tiquia et al., (1997), em experimento testando diferentes freqüências de aeração na compostagem de cama oriunda de sistema de criação de suínos, com umidade corrigida para 50% no início do período experimental, sugerem que revolver a pilha a cada 2 ou 4 dias é mais adequado ao processo de compostagem, quando comparada à freqüência de 7 dias. No entanto, os autores concluíram ser a freqüência de 2 dias demasiadamente trabalhosa para sistemas de compostagem, sendo portanto indicado o emprego de revolvimentos a cada 4 dias.

Esta recomendação está de acordo com o publicado por Pereira Neto (1996), que indica ser de 2 vezes por semana o ciclo de reviramento para a compostagem de resíduos urbanos ou agrícolas. Kiehl (1998) relata que o revolvimento do composto, ao mesmo tempo que introduz ar novo, rico em oxigênio, libera o ar contido na leira, saturado de gás carbônico gerado pela respiração dos organismos.

#### 4.4 Temperatura

O processo ou a fase do processo pode ser classificada em criófila, mesófila e termófila, de acordo com a temperatura. Na compostagem anaeróbia, o processo é criófilo pois nele não existe elevação da temperatura, a qual mantém-se próxima à reinante na água. Na compostagem aeróbia, a temperatura se eleva devido ao metabolismo exotérmico dos microorganismos. Sendo assim, a temperatura aumenta, alcançando níveis considerados mesófilos e termófilos. Sendo o metabolismo dos microorganismos na fermentação aeróbia exotérmico, ocorre um natural e rápido aquecimento da massa com a multiplicação da população microbiana. A faixa de temperatura considerada mesófila situa-se de 45 a 55°C. Acima de 55°C, o processo é classificado como termófilo. Quando a matéria prima é decomposta em pequeno volume, o calor criado pelo metabolismo dos microorganismos se dissipa e o material acaba não se aquecendo (Kiehl, 1998).

O desenvolvimento da temperatura é um bom indicativo da performance do processo de compostagem (Fernandes et al., 1994), variando significativamente no interior da pilha de compostagem, de acordo com as condições de aeração, principalmente. A temperatura é o fator mais importante para determinar se a operação do sistema se processa como desejável. A produção de calor em um material é indicativo de ocorrência de atividade biológica neste material e, por isso, indiretamente, do seu grau de decomposição. Os organismos envolvidos no processo de compostagem possuem uma faixa de temperatura ótima, na qual a atividade metabólica é maximizada. De acordo com Brady (1989), uma variação na temperatura provoca uma redução da população e da atividade metabólica dos microorganismos envolvidos, com conseqüente diminuição do tempo de decomposição da matéria orgânica. Tiquia et al., (1998), relatam que no final do processo de compostagem, não ocorre mais decomposição, estando as propriedades químicas do composto estabilizadas. Consequentemente, não ocorre mais produção de calor e a temperatura atinge níveis ambientais.

De acordo com Golueke (1981) apud Villani (1994), quando a temperatura atingir a faixa de 35°C, o material deve ser posto para maturar.

Segundo Rynk (1992), a taxa de aeração requerida para remover o calor pode ser 10 vezes maior do que aquela para suprir oxigênio. Desta forma, a

temperatura geralmente determina o quanto e com qual frequência a aeração é requerida.

Outra questão bastante importante relacionada com os padrões de temperaturas desenvolvidos nos processos de compostagem é a inativação de microorganismos patogênicos, porventura presentes nos materiais destinados ao processo. De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA, 1985, apud Turner, 2002), o tempo e a temperatura mínimos para a compostagem em pilhas estáticas aeradas e em reatores é de 55 °C por 3 dias consecutivos. Para pilhas de compostagem revolvidas, um mínimo de 55 °C deve ser mantido por 15 dias consecutivos, sendo o material revolvido pelo menos 5 vezes neste período. No entanto, Turner (2002) após experimento avaliando a inativação de organismos patogênicos na compostagem de dejetos de suíno e palha relata que a inativação destes microorganismos não é meramente dependente da temperatura, sendo influenciada também por outros fatores como umidade e natureza das matérias-primas.

#### **4.5 Umidade**

O teor de umidade é um dos principais fatores ambientais de interesse para o fornecimento de um meio de transporte de nutrientes dissolvidos para a atividade metabólica e fisiológica dos microorganismos (Stentiford, 1996 apud Tiquia et al., 1998). Além disso, a disponibilidade de água esta diretamente relacionada ao suprimento de oxigênio, o que também afeta a atividade microbiana.

Valores muito baixos de umidade podem causar a desidratação no interior da pilha de compostagem o que inibe o processo biológico, trazendo a estabilidade física, porém instabilidade biológica. Por outro lado, umidade altas podem promover condições de anaerobiose no interior das pilhas.

Segundo Tiquia et al., (1996), o teor de umidade afeta o padrão de temperatura e a atividade biológica durante a compostagem de cama de suíno.

Barrington et al., (2003) estudando o efeito da aeração passiva e ativa na compostagem de dejetos de suíno com 3 substratos diferentes (maravalha, palha e feno) em umidades de 60, 65 e 70% concluíram ser a umidade um fator determinante nos padrões de temperatura alcançados, principalmente no caso

dos substratos maravalha e palha. Neste estudo, no caso da maravalha, a umidade de 65% produziu temperaturas altas para ambos os regimes de aeração adotados (ativo e passivo). No caso da palha, a umidade mais alta (70%) proporcionou as temperaturas mais altas também para ambos os regimes de aeração. No entanto, neste mesmo trabalho, os autores concluíram que o fator umidade apenas teve efeito sobre a temperatura entre os dias 2 e 6. Os resultados deste trabalho permitiram concluir que a umidade de 70% corresponde à umidade máxima para os substratos utilizados (maravalha, palha e feno) e a de 60% corresponde àquela limite para a condução do processo de compostagem.

#### **4.6 Relação C/N**

O crescimento e diversidade da população microbiológica na massa de compostagem relaciona-se diretamente com a concentração de nutrientes. Estes fornecem material para a síntese protoplasmática e energia necessária para o crescimento celular, entre outras funções.

O equilíbrio da relação C/N é um fator de importância fundamental na compostagem, já que, o principal objetivo do processo é criar condições para fixar nutrientes, por forma a que possam ser posteriormente reciclados quanto da utilização do composto. Segundo Pereira Neto (1996), a relação Carbono / Nitrogênio satisfatória para a obtenção de uma alta eficiência nos processos de tratamento biológico dos resíduos sólidos orgânicos deve-se situar em torno de 30:1. Vários trabalhos de investigação neste âmbito específico tendem a demonstrar que esta taxa influencia positivamente a atividade biológica, diminuindo o período de compostagem.

Kiehl (1998), recomenda a faixa de 25:1 a 35:1, como ideal para a relação Carbono / Nitrogênio dos resíduos em processo de compostagem. Este mesmo autor classifica como fundamental a adição de materiais que corrijam esta relação.

Durante a compostagem, o conteúdo de matéria orgânica sofre uma diminuição, o que leva a uma redução do carbono orgânico. O Nitrogênio total, ou seja, o nitrogênio orgânico, nítrico e amoniacal aumenta em virtude da mineralização. Conseqüentemente, ocorre diminuição da relação C/N (Golueke, 1981 e Kiehl, 1985 apud Villani, 1994).

Dados obtidos por Goulart (1997) (Tabela 7) confirmaram que a relação C/N diminui com o processo de compostagem ocorrido nas camas de suínos, sendo diferente conforme o tipo de aeração.

Tabela 7 – Relação C/N após tratamento complementar do composto obtido pelo sistema de cama sobreposta. Dados obtidos de acordo com o tempo de maturação da cama, em leira estática e leira revirada.

<b>Dias</b>	<b>Leira estática</b>	<b>Leira revirada</b>
1	24,35	24,35
8	17,75	12,78
15	25,72	15,17
21	25,53	44,08
28	21,66	18,80
54	19,21	14,89
64	17,99	14,54
70	18,74	14,14
77	23,66	22,87
84	25,96	18,15
91	20,48	17,46

Fonte: Goulart (1997).

Segundo Kiehl, (1985) a matéria orgânica bioestabilizada é caracterizada, dentre outros parâmetros, exatamente pelo fato de apresentar uma relação C/N que indica o início do processo de mineralização do nitrogênio. Segundo este autor, a relação C/N que indica o início deste processo se dá a partir de 17/1. Por outro lado, compostos relativamente maduros podem apresentar valores de relação C/N superiores a 20 devida a parte do carbono orgânico se encontrar em moléculas resistentes à degradação, como a lignina e por isso, dificilmente disponível para os microrganismos do solo. Assim, a relação C/N não pode ser considerada um indicador absoluto do estado de maturação de um composto, e terá de ser interpretada sempre de acordo com as características iniciais dos materiais orgânicos (Brito, 2003). Segundo Jiménez & Garcia, (1989), como a relação C/N diminui durante o processo de compostagem até se considerar o composto estável, a relação (C/N final) / relação (C/N inicial) também diminui e, de acordo com estes autores, uma estimativa razoável para o composto maduro poderia ser 0,75 a 0,6.

Segundo Hsu & Lo (1999), as variações nas concentrações de cinzas e da relação C/N refletem a decomposição e estabilização da matéria orgânica durante

o processo de compostagem. Em experimento testando a compostagem de dejetos de suínos (fração sólida) em sistema de pilhas revolvidas, os autores observaram uma diminuição drástica da relação C/N, de 21 no início do período experimental para 11 em apenas 18 dias. Ao final do período experimental, o material apresentou relação C/N 7, após 50 dias de compostagem. No entanto, alguns autores questionam a utilização da relação C/N como parâmetro de estabilidade do composto. Segundo Tiquia et al., (1998), a relação C/N do composto depende das características do material no início do processo de compostagem, não podendo, portanto ser o único parâmetro utilizado no julgamento da maturidade do composto.

A relação C/N é um parâmetro que se obtém do cálculo dos dados obtidos da análise de carbono total pelo nitrogênio total, representando o numerador da relação obtida sempre por um número inteiro. No entanto, pode-se calcular a relação C/N tomando-se do teor de carbono orgânico, isto é, apenas o carbono de materiais que são passíveis de se decomporem pela compostagem (Kiehl, 1985).

A determinação de carbono orgânico fornece três informações: teor de matéria orgânica compostável, de matéria orgânica resistente a compostagem e a demanda química de oxigênio (DQO). O método utilizado para determinação do carbono orgânico oferece a vantagem de não oxidar a fração de matéria orgânica não decomponível durante o período de compostagem. Para o cálculo da DQO do material em processo de compostagem, Kiehl (1985) recomenda a utilização do valor de carbono orgânico obtido analiticamente e do fator 26,66, sendo:

$$\text{DQO (mg/g)} = \text{Carbono Orgânico \%} * 26,66$$

O cálculo demonstrado acima, recomendado por Kiehl, (1985), tem como fundamento medir a oxidação biológica ocorrida no composto, pela determinação da oxidação química em laboratório

No que diz respeito ao elemento nitrogênio, este pode ser encontrado na matéria orgânica e nos fertilizantes orgânicos nas formas orgânica, amoniacal e nítrica. Desta forma, a determinação de nitrogênio total refere-se aos teores destas 3 formas citadas anteriormente.

## 4.7 pH

Os principais materiais de origem orgânica utilizados como matéria-prima da compostagem são de natureza ácida (sucos vegetais, sangue, urina, fezes, etc.). Desta forma, uma leira de matéria orgânica tem inicialmente reação ácida. No início da decomposição, ocorre a chamada fase fitotóxica, caracterizada pela formação de ácidos orgânicos que tornam o meio mais ácido em relação ao inicial. Entretanto, esses ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam, reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina. Ocorre também a formação de ácidos húmicos que também reagem com os elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos. Como consequência, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, atingindo níveis superiores a 8,0 (Kiehl, 1998).

Experiências realizadas pelo Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental – LESA, da Universidade Federal de Viçosa – UFV indicam que a compostagem pode ser desenvolvida com uma faixa ampla de pH, entre 4,5 e 9,5, sendo os valores extremos regulados pelo metabolismo microbiano, que produzem subprodutos ácidos ou básicos em função da necessidade do meio (Pereira Neto, 1996). Esta faixa de valores excede um pouco daquela relatada por Bertoldi et al., (1983), apud Tiquia et al., (1998), na qual a compostagem se desenvolve em uma faixa ótima de 5,5 a 8,0.

Segundo Peixoto, (1988) apud Goulart, (1997), os microorganismos envolvidos no processo têm como faixa de desenvolvimento pH entre 6,5 a 8,0.

## 4.8 Matérias – primas para a compostagem

Muitos podem ser os materiais utilizados como matérias primas na compostagem. A utilização de apenas um material dificilmente será capaz de fornecer um balanceamento de nutrientes propício para o desenvolvimento do processo de compostagem, sendo portanto recomendada a utilização de uma série de materiais misturados em uma proporção ideal. Nas propriedades rurais é comum o desenvolvimento de compostagem utilizando-se mistura de dejetos e restos de culturas. Os materiais utilizados a fim de alcançar as características desejadas para o desenvolvimento do processo de compostagem, normalmente são denominados como materiais de enchimento ou fontes de carbono. Estes



materiais são adicionados com o intuito de ajustar a umidade, a relação carbono / nitrogênio ou a textura da massa de compostagem (Rynk, 1992).

Bhamidimarri & Pandey (1996), apud Tiquia & Tam (2000) classificam a serragem como um material ideal para ser utilizado como “agente de enchimento” na compostagem de dejetos de suínos, devido a sua característica de absorver umidade e fornecer porosidade adequada para a pilha de compostagem. Como pode ser observado em diversos estudos, a capacidade de absorção de água é uma característica bastante importante na escolha de substratos para a compostagem. Na Tabela 8, pode ser observada as características de alguns materiais utilizados na zona rural como cama.

Tabela 8 – Capacidade de absorção dos materiais de cama mais comuns:

<b>Material</b>	<b>Kg de água por Kg de cama</b>
Composto (30-50% de umidade)	1,5 a 2,5
Madeira como carvalho – serragem, maravalha, etc	1,5
Folhas	1,0 a 2,0
Casca de amendoim	2,0 a 2,5
Madeira como Pinus - serragem	2,5 a 3,0
Madeira como Pinus – maravalha	1,7 a 2,6
Palha ou feno (picada)	3,0 a 4,5
Palha ou feno (inteiro)	2,1 a 3,8

Fonte: Rynk (1992).

Um fator a ser considerado nos materiais destinados ao processo de compostagem é o tamanho das partículas que os compõem. Dentre os fatores de ordem técnica está a necessidade de se aumentar a porosidade de forma a facilitar a aeração dos materiais utilizados. Segundo Pereira Neto (1992), o tamanho ideal das partículas a serem compostadas é de 20 à 50mm. Kiehl (1985) também ressalta esta característica como importante em processos de compostagem. Segundo o autor, se condições como compactação e anaerobiose não prejudicassem o andamento do processo, as dimensões teoricamente ideais seriam as microscópicas. No entanto, em vista dos problemas expostos, este autor recomenda como condição ideal a dimensão das partículas variando dentro da faixa de 10 à 50mm.

Segundo levantamentos realizados no Estado de Santa Catarina, o Estado possui 1.425 serrarias, 1.675 fábricas de móveis e 840 empresas de beneficiamento de madeira. Esta mesma pesquisa constatou que o Estado

consome 13.980 m<sup>3</sup> de pinus, 800 mil de eucalipto e 105 de araucária. Estes dados permitem constatar o grande potencial do Estado em gerar resíduos oriundos da produção madeireira, dentre eles, em especial, a maravalha e a serragem, sendo desta forma materiais disponíveis para o uso como substratos na realização de compostagem.

#### **4.9 Desenvolvimento do processo**

Segundo Guardia et al., (1998), temperaturas baixas, coloração escura e ausência de maus odores podem caracterizar um composto estabilizado, mas são bastante imprecisos na definição do grau de estabilização destes materiais.

As concentrações de matéria orgânica e carbono orgânico diminuem durante a compostagem, indicando a degradação dos materiais orgânicos durante o processo. Esta degradação da matéria orgânica leva ao aumento da condutividade elétrica e da produção de compostos inorgânicos. O nitrogênio total também aumenta em termos de concentração devido à intensa degradação dos compostos de carbono, os quais diminuem o peso da massa em compostagem. A concentração de Nt aumenta durante a compostagem quando a perda de sólidos voláteis (matéria orgânica) é maior que a perda de NH<sub>3</sub> (Witter & Lopez-Real, 1987, apud Bernal, 1998).

Na compostagem de cama de suínos a diminuição do carbono total e da concentração de nitrogênio amoniacal coincide com o aumento do conteúdo de cinzas, nitrito e nitrato da cama (Tiquia et al., 1996). Esta tendência é resultado do processo de nitrificação e da oxidação do carbono em CO<sub>2</sub> realizado pelos microorganismos durante o processo de compostagem (Golueke, 1977). Tiquia et al., (1998), em experimento testando diferentes teores de umidade na compostagem de cama obtida de sistema de criação de suínos relataram que o aumento do nitrogênio total ocorreu durante a parte final do processo (a partir dos 55-60 dias). De acordo com os autores, isto ocorre pois o nitrogênio é o principal nutriente requerido pelos microorganismos na assimilação do substrato carbônico dos resíduos orgânicos.

A emissão de gases ocorrida durante o processo de compostagem é um fator importante a ser considerado. Segundo Barrington et al., (2002), a mistura do substrato aos dejetos e a conseqüente absorção da umidade é um importante

elemento no controle nas perdas de nitrogênio por volatilização durante o processo de compostagem. Os principais fatores que afetam as emissões gasosas em geral são o teor de nitrogênio total inicial, o regime de temperatura do material em compostagem e a frequência com a qual as pilhas são revolvidas.

De acordo com Rynk (1992) quando se deseja atingir condições ótimas de compostagem, deve-se realizar cálculos anteriormente ao estabelecimento das proporções de materiais a serem misturados para início do processo de compostagem.

#### **4.10 Microorganismos envolvidos no processo**

Segundo Biddlestone et al., (1994), o processo de compostagem é uma complexa interação entre resíduos orgânicos, microorganismos, umidade e oxigênio. Desta forma, quando o conteúdo de umidade e a concentração de oxigênio estiverem ambos em níveis adequados, a atividade microbiológica aumenta. Além do oxigênio e da umidade, os microorganismos responsáveis pelo processo necessitam para seu crescimento e reprodução de uma fonte de carbono, nitrogênio, fósforo, potássio e alguns elementos traços.

Segundo Kiehl (1998), os microorganismos, fungos e actinomicetos são os principais responsáveis pela transformação da matéria orgânica crua em húmus. Participam também da degradação da matéria orgânica outros organismos como algas, protozoários, nematóides, vermes, insetos e suas larvas. Contribuem para a degradação da matéria orgânica agentes bioquímicos como enzimas, hormônios e vírus. A natureza da comunidade microbiana, o número, as espécies e a intensidade da atividade da decomposição dependem das condições favoráveis reinantes.

Segundo McKinley & Vestal (1985), apud Tiquia & Tam (2000), a microbiota do composto determina a taxa da compostagem e produz a maior parte das modificações químicas e físicas do material.

#### **4.11 Compostagem de dejetos de suínos**

O uso de dejetos líquidos gerados na suinocultura, como fonte de nitrogênio para a compostagem de resíduos de culturas agrícolas tem sido identificada como alternativa promissora para a destinação desses resíduos poluentes. Segundo

Ayanaba, 1982 e Pratt & Castellanos (1981), apud Sedyama (2000), o teor de nitrogênio total dos resíduos de culturas agrícolas é baixo, situando-se na faixa de 10 a 15 g kg<sup>-1</sup>, enquanto que no dejetos de suínos esses teores alcançam de 40 a 50 g kg<sup>-1</sup> de matéria seca.

Especificamente na suinocultura, a compostagem dos dejetos é uma prática que vem crescendo em vários países da Europa. Esta técnica foi desenvolvida como um método alternativo de manejo dos dejetos oriundos desta atividade e visa modificar as características químicas e físicas dos dejetos, produzindo como produto final um elemento de alto valor agronômico, capaz de suprimir o uso de fertilizantes minerais.

De acordo com Fleming (2002), o uso da compostagem para o tratamento dos dejetos suínos na forma sólida é um método reconhecidamente comprovado. Por outro lado, muito pouco se sabe a respeito da utilização deste resíduo na forma líquida para o processo de compostagem. No intuito de viabilizar a compostagem do dejetos na forma líquida, iniciaram-se em 1998 na Universidade de Guelph (Canadá) estudos pilotos com a utilização de dejetos suíno e palha em sistemas com revolvimento mecânico. A utilização da palha mostrou-se favorável pois houve o desenvolvimento de temperaturas altas que promoveram a eliminação de grande parcela da água contida nos dejetos.

O método de compostagem dos dejetos vem sendo cada vez mais empregada pelos suinocultores localizados em zonas geográficas cujas águas estão fortemente poluídas por nitrato (Mazé et al., 1999) e por determinação da legislação torna-se impossível a ampliação de novas criações.

Estudos conduzidos por Lau (1992) e Mazé et al., (1999) demonstraram a viabilidade do uso de sistemas de compostagem para o tratamento dos dejetos líquidos de suínos. Resultado obtido em sistema de compostagem com aeração forçada estudado por Mazé et al., (1999), para o tratamento dos dejetos de suínos, permitiu concluir que é possível atingir uma absorção de 8 ton de dejetos líquidos para cada ton da mistura de maravalha e palha.

Estudos conduzidos na região da Finistère na França demonstraram a viabilidade do uso da compostagem para tratar 6000 m<sup>3</sup>/ano de dejetos. Em estações automatizadas é possível tratar para cada tonelada de maravalha ou palha 15 m<sup>3</sup> de dejetos líquidos, obtendo-se 4 toneladas de composto estabilizado

com relação C/N <20 e uma redução da metade do nitrogênio (Dorffer, 1998). Em sistemas de compostagem com o uso de palha em unidades de tratamento com área de 620 m<sup>2</sup>, desenvolvido pela Station Pilote Multi-Déchets Organiques (4 VAULX, 1999), foi demonstrado ser possível tratar 1.000 m<sup>3</sup> de dejetos por ano com uma quantidade incorporada de 12 m<sup>3</sup> de dejetos por toneladas de palha, obtendo-se de 250 a 300 toneladas de composto orgânico.

A compostagem de resíduos vegetais utilizando dejetos suínos como fonte de nitrogênio é uma técnica bastante promissora, haja vista que proporciona a disposição dos resíduos no solo, em uma forma mais estável, capaz inclusive de trazer efeitos benéficos à estrutura, resistência à erosão, capacidade de troca catiônica e ao nível nutricional do solo (Matos et al., 1998).

Segundo Sedyama (2000), a utilização de dejetos de suínos na compostagem de resíduos orgânicos proporcionou a produção de adubos de alto valor fertilizante que, quando aplicados ao solo em doses adequadas, torna-se excelente opção para a disposição desses resíduos no ambiente.

Para Costa (1985), o dejetos e o material palhoso devem ser colocados em proporções tais que dêem uma relação C/N próxima a 30:1, oferecendo desta forma as condições propícias para uma rápida decomposição. No entanto, Matos et al., (1998), testando a taxa de decomposição de diversas combinações de materiais palhosos com a utilização de águas residuárias da suinocultura como fonte de N, concluíram que o uso de bagaço de cana-de-açúcar, como único material palhoso, atingiu a mais rápida taxa de decomposição do material orgânico, apesar de possuir relação C/N inicial superior a 40:1. As outras combinações de materiais comparadas obtiveram taxas de decomposição menores, mesmo apresentando relação C/N inicial próxima a 30:1. Esta constatação sugere que é possível utilizar materiais de mais alta relação C/N inicial para serem compostados.

Segundo Matos et al., (1998), apesar do tempo necessário para a compostagem de diversos materiais palhosos e águas residuárias da suinocultura ter sido superior ao tempo descrito por outros autores (acima de 2 a 3 meses), a utilização destes materiais no processo de compostagem se mostra bastante interessante pois se constitui em ótima forma de destinação destes resíduos, proporcionando seu reaproveitamento.

Balsari & Airoidi (1998) em experimento avaliando o processo de compostagem utilizando-se dejetos suíno associado com palha de trigo e mistura de palha de trigo com sabugo de milho, utilizou a seguinte proporção de materiais: Na primeira aplicação (dia 0); 5,8m<sup>3</sup> de dejetos (6% de sólidos totais) foi adicionado à 1,25 ton de palha de trigo. Após 15 dias (dia 15), na ocasião da segunda aplicação, foi adicionado mais 3,3 m<sup>3</sup> de dejetos (8,2% de sólidos totais) nesta massa de compostagem. Na última aplicação (dia 36) foi adicionado mais 3,2 m<sup>3</sup> (1,7% de sólidos totais). A terceira aplicação de dejetos sofreu atraso de 1 semana devido à baixa absorção de dejetos ocorrida após a segunda aplicação. Desta forma, adotou-se a relação substrato / dejetos 1: 10, intercalando-se em 3 aplicações de dejetos. Nestas condições, a fração de dejetos suíno perdida na forma de percolato foi insignificante. A análise do sistema adotado neste experimento levou ao seguinte resultado: uma área de 2000 m<sup>2</sup> é capaz de manejar o dejetos produzido por uma unidade de terminação de suínos composta por 1.200 animais. O experimento teve a duração total de 169 dias, resultando na produção de 3840 kg de composto.

## CAPÍTULO III – MATERIAL E MÉTODOS

### 1 INTRODUÇÃO

Toda a parte experimental deste trabalho de mestrado esteve baseado no desenvolvimento de uma seqüência de experimentos envolvendo o processo de compostagem de dejetos de suíno, durante o período de maio a novembro de 2003 (Figura 1).

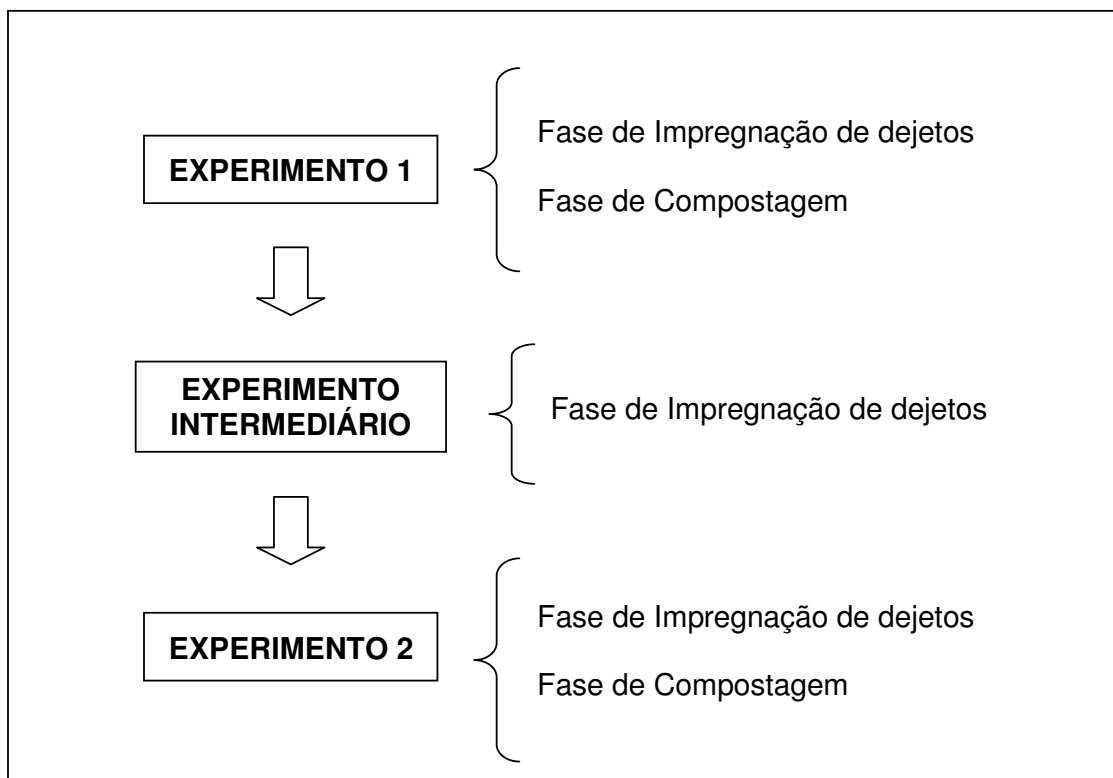


Figura 1 – Fluxograma Geral da metodologia experimental empregada.

Os experimentos 1 e 2 foram realizados em ordem cronológica de execução. No período intermediário a estes dois estudos, desenvolveu-se um outro experimento, sendo este importante para o estabelecimento de parâmetros para o delineamento do experimento 2. Desta forma, este experimento intermediário também será descrito, porém, de forma resumida, no item 3 deste capítulo.

## **2 EXPERIMENTO 1**

### **2.1 Local, época e materiais utilizados no experimento 1**

O experimento 1 foi conduzido na Unidade Experimental da Embrapa Suínos e Aves, tendo sido desenvolvido nos meses de maio a setembro de 2003. A edificação utilizada para o desenvolvimento do processo de compostagem proposto foi construída com cobertura em PVC transparente, piso e muretas internas em alvenaria e portões frontais metálicos. A edificação foi dividida longitudinalmente por muretas internas em alvenaria de 0,80m, ficando a área localizada ao meio, livre para o trânsito de pessoas e equipamentos. Na Figura 2 pode ser observada uma vista geral da instalação utilizada no experimento 1.



Figura 2 – Vista geral da unidade experimental de compostagem da Embrapa Suínos e Aves (experimento 1).

Durante a primeira fase do experimento 1, utilizou-se uma betoneira com capacidade para 400L (Figura 3), para a mistura dos substratos, conforme previsto em um dos tratamentos.



Foram utilizados como matérias-primas da compostagem, maravalha obtida de serrarias localizadas no município de Concórdia e dejetos de suíno armazenado oriundo de sistema de produção localizado ao lado da unidade experimental, composto de 20 matrizes em regime de ciclo completo. A maravalha utilizada neste experimento era oriunda de madeira de Pinus, possuindo o diâmetro geométrico médio de 3087  $\mu$  e um desvio padrão geométrico (DPG) de 2,72  $\mu$ .

Durante a primeira fase experimental, foram utilizadas 6 caixas de PVC com capacidade total de 1000L, previamente dispostas sob cavaletes que suspenderam as mesmas de forma inclinada. Cada caixa continha um orifício de 10mm de diâmetro localizado na extremidade de inclinação máxima. Sob estes orifícios, foram colocados recipientes plásticos de volume de cerca de 20 L com a finalidade de armazenar o líquido previsto como escoado do sistema. Este sistema pode ser visualizado na Figura 3.



Figura 3 – À esquerda, betoneira utilizada para a mistura dos materiais utilizados no tratamento 2. À direita, caixas de PVC-1000 L utilizadas na 1ª fase experimental e os recipientes de captação de dejetos não absorvidos.

Para a montagem da segunda fase do experimento 1, foram utilizados tubos de PVC de diâmetro de 100mm parcialmente perfurados no sistema de aeração das pilhas de compostagem. Além disso, para um dos tratamentos, utilizou-se um ventilador comercial (3350 RPM e 1/3 CV), equipado com um sistema de desvio de ar, de forma a permitir a entrada de um fluxo de ar pré-determinado (Figura 4).



Figura 4 – À esquerda, sistema de aeração passiva (tratamento A da 2ª fase experimental). À direita, sistema de aeração ativa (tratamento B da 2ª fase experimental).

Em ambas as fases experimentais, o monitoramento da temperatura ambiente foi realizado por meio de um termohigrômetro, para a medição das temperaturas de bulbo seco e úmido, constituído de sensores de temperatura formado de termopares (Co-Cu) do tipo T (Figura 5). A temperatura no interior das caixas/pilhas de compostagem foi medida por termopares (Co-Cu) do tipo T. Na fase 1, foi monitorada a temperatura de 2 pontos do material contido nas caixas de PVC. Estes dois pontos localizavam-se paralelamente à 25cm de profundidade. Já na fase 2, a temperatura das pilhas foi monitorada em 6 pontos localizados a duas alturas diferentes: à 30cm e à 60cm de profundidade (3 pontos à 30cm e 3 pontos à 60cm de profundidade).

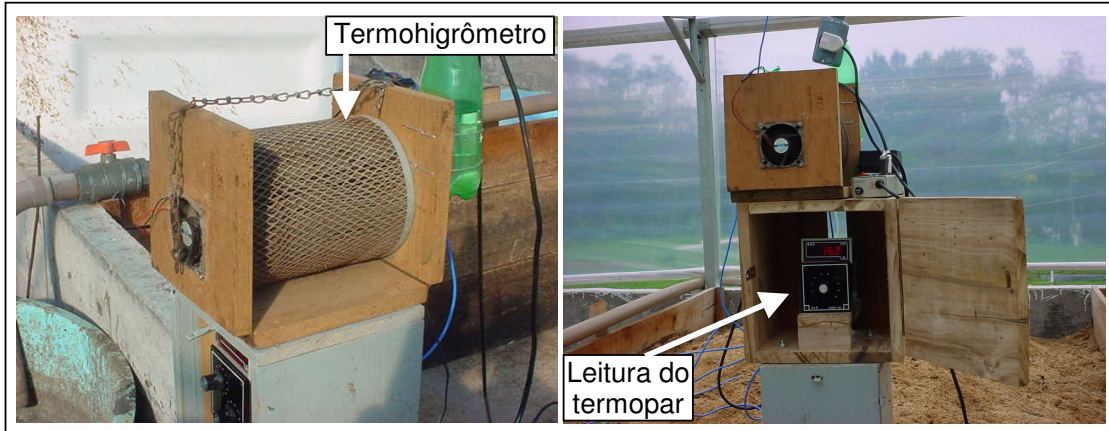


Figura 5 – À esquerda, sistema de filtro de ar utilizado para medição das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido registradas no interior da instalação experimental. À direita, equipamento de leitura das temperaturas registradas pelos termopares para as temperaturas da massa em compostagem e da temperatura ambiente.

## 2.2 Desenvolvimento do Experimento 1

O sistema de compostagem proposto para ser estudado no experimento 1 realizou-se em 2 fases distintas, sendo elas *Fase de Impregnação de dejetos* e *Fase de Compostagem*. Cada uma destas fases contou com a avaliação de 2 tratamentos distintos. Na fase de Impregnação, os tratamentos foram denominados 1 e 2, sendo eles definidos por mistura em camadas e mistura em betoneira, respectivamente. Na fase 2, os tratamentos foram denominados A e B, aeração passiva e aeração ativa, respectivamente.

O cronograma de atividades do experimento 1 está esquematizado abaixo na Figura 6:

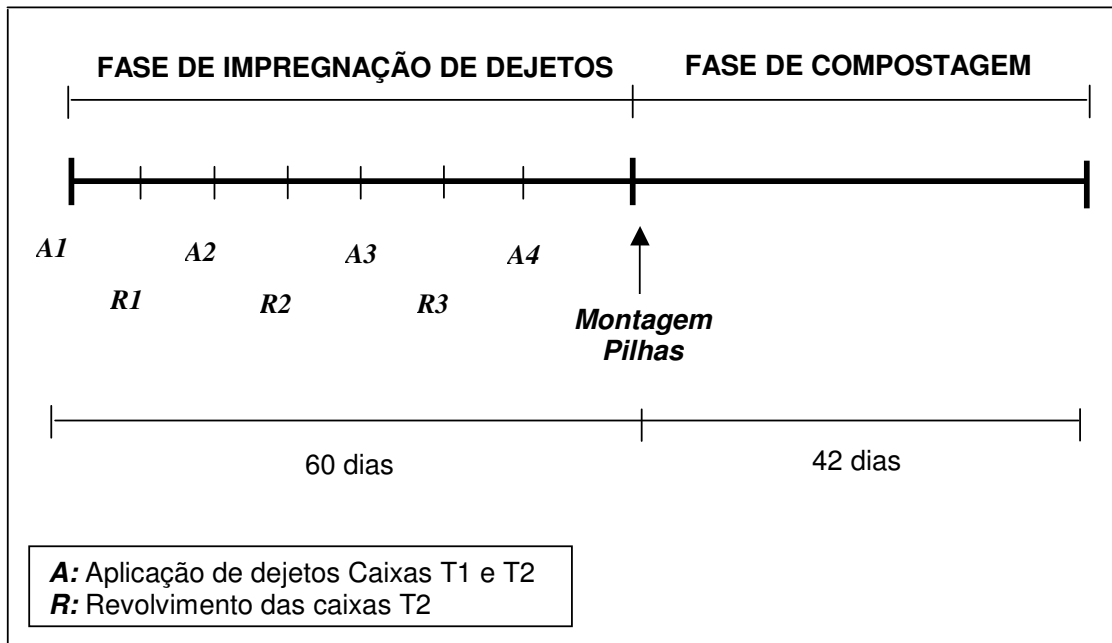


Figura 6 – Cronograma de atividades do experimento 1.

### 2.2.1 Fase 1 – Fase de Impregnação de Dejetos

Nesta fase foram desenvolvidos dois tratamentos que diferiram entre si quanto à forma de incorporação dos dejetos à massa em compostagem. Os métodos de aplicação de dejetos utilizados foram os seguintes: Aplicação de dejetos em camadas (tratamento 1) e aplicação de dejetos com mistura em betoneira (tratamento 2). Em ambos os tratamentos, os dejetos foram inseridos ao substrato em 4 aplicações distintas, com intervalos de 15 dias entre elas. Apenas para o tratamento 2 (mistura em betoneira), foram realizados revolvimentos intermediários às aplicações. Como pode ser observado na Figura 6 (cronograma de atividades do experimento 1), esta fase teve duração de 60 dias, sendo concretizada com a montagem das pilhas da segunda fase.

Esta maneira de proceder a incorporação dos dejetos de forma intercalada (4 aplicações de dejetos) teve como base os resultados satisfatórios de alguns trabalhos realizados com estes tipos de matérias-primas (4 VAULX, 1999 e Balsari & Airoidi, 1998).

As quantidades de maravalha, dejetos e chorume (dejetos escorridos) que foram adicionados ao sistema estão expostos na Tabela 9.

Tabela 9 – Quantificação das matérias-primas inseridas no sistema de compostagem experimental em cada pilha referente aos tratamentos 1 e 2.

Aplicação	Dia	Tratamento 1 – Camadas			Tratamento 2 – Betoneira		
		Maravalha (Kg)	Dejeto (kg)	Escorrido* (kg)	Maravalha (Kg)	Dejeto (kg)	Escorrido* (kg)
1 <sup>a</sup>	0	80	280	-	80	280	
	14	-	93,3	-	-	93,3	
2 <sup>a</sup>	15	-	93,3	-	-	93,3	
	16	-	93,3	-	-	93,3	
3 <sup>a</sup>	28	-	93,3	-	-	93,3	-
	29	-	93,3	-	-	23,3	69,9**
	30	-	-	93,3**	-	-	93,3**
4 <sup>a</sup>	42	-	-	140	-	-	140
	44	-	113	27	-	83	57
Total		80	859,6			759,6	

Apenas durante o intervalo entre a 1<sup>a</sup> e a 2<sup>a</sup> aplicação, o retorno de dejeto excedente (chorume) se deu com uma frequência diária, no restante do período experimental, este procedimento foi realizado durante as a ocasião das aplicações de dejeto.

Somente durante o período de impregnação de dejetos, os materiais relacionados na Tabela 9 foram mantidos nas caixas de PVC (Figura 7), de forma a proporcionar a possibilidade de maior controle de todo o material que foi inserido e escorrido do sistema.



Figura 7 – Caixas de PVC utilizadas durante a 1<sup>o</sup> fase experimental (Fase de Impregnação de dejetos).

Durante este período, o dejeto escorrido e coletado foi retornado ao sistema. A forma de procedimento de retorno deste líquido variou na primeira quinzena de aplicação (após a 1<sup>a</sup> aplicação de dejetos), sendo este líquido



retornado ao sistema diariamente. A partir da 2ª quinzena (após a 2ª aplicação de dejetos), o líquido coletado foi pesado e armazenado em caixas extras, para posterior retorno ao sistema. Desta forma, na 3ª e na 4ª aplicações de dejetos, foram acrescentados à massa de compostagem todo o volume escoado desde a aplicação antecedente (após a 2ª e 3ª aplicações, respectivamente) e uma massa de dejetos suficiente para completar os 280 kg de dejetos previstos para cada aplicação. Apenas o líquido escoado após a 4ª aplicação de dejetos não foi retornado ao sistema, sendo considerado como perda ou excedente do volume aplicado.

Conforme dito, a diferenciação dos 2 tratamentos realizados durante a fase de impregnação no experimento 1 se deu quanto a forma de incorporação dos dejetos à massa em compostagem. Cada um dos tratamentos contou com 2 repetições, totalizando 3 caixas de PVC para cada um dos tratamentos.

#### **2.2.1.1 TRATAMENTO 1 – Aplicação de dejetos em camadas.**

O método de agregação de dejetos na massa de maravalha seca (1ª aplicação de dejetos) ou previamente umedecida (2ª, 3ª e 4ª aplicações) foi totalmente manual. De acordo com a aplicação em questão, foi adotado um determinado método de incorporação dos dejetos, tentando-se com isso, aumentar a capacidade de absorção de dejetos pelo sistema. No entanto, em todas estas ocasiões o método de aplicação para este tratamento foi manual, utilizando-se pá e regador (este último desprovido de bico de aspersão) (Figura 8).



Figura 8 – Aplicação de dejetos empregada no tratamento 1 (aplicação em camadas) durante a 1ª fase experimental do experimento 1.

A Tabela 10 mostra resumidamente o método empregado para realizar a incorporação de dejetos, de acordo com a aplicação.

Tabela 10 – Metodologia de aplicação de dejetos e mistura dos mesmos aos substratos presentes nas caixas referentes ao tratamento 1 – Aplicação em camadas.

<b>Aplicação</b>	<b>Método</b>
1 <sup>a</sup>	A maravalha e o dejetos foram colocados em cada caixa em camadas, de forma ao conteúdo iniciar e terminar com maravalha. Para isso, foram intercaladas 7 camadas de 11,4 kg de maravalha e 6 camadas de 46,6 kg de dejetos.
2 <sup>a</sup>	A quantia total de dejetos prevista para esta aplicação foi colocada em 3 dias consecutivos. A quantia total de dejetos foi dividida igualmente nestes dias, sendo aplicada da seguinte forma: todo o material das caixas foi retirado e revolvido sobre o piso da plataforma. Em seguida, o dejetos foi sendo colocado em camadas de 23,3kg, intercalando-se com camadas de cama, de forma a completar 4 camadas iguais de cama e 4 camadas 23,3kg de dejetos, começando-se com cama e terminando-se com dejetos.
3 <sup>a</sup>	A mesma metodologia empregada anteriormente foi repetida na 3 <sup>a</sup> aplicação, porém, de forma a aplicar o dejetos nos 2 primeiros dias e o dejetos escorrido no terceiro. Este dejetos escorrido aplicado é resultante do escorrimento ocorrido no período compreendido entre a 2 <sup>a</sup> aplicação de dejetos (23/05) e o início da 3 <sup>a</sup> aplicação (04/06).
4 <sup>a</sup>	A mesma metodologia empregada anteriormente foi repetida na 4 <sup>a</sup> aplicação

As 3 caixas relativas ao tratamento 1 mantiveram-se estáticas por um período de 14 dias (intervalo entre a 1<sup>a</sup> e a 2<sup>a</sup> aplicação) e 12 dias (intervalo entre a 2<sup>a</sup> e a 3<sup>a</sup> e entre a 3<sup>a</sup> e a 4<sup>a</sup> aplicações), não sendo realizados revolvimentos nos intervalos entre as aplicações de dejetos.

### **2.2.1.2 TRATAMENTO 2 – Aplicação de dejetos na betoneira**

O método de agregação de dejetos na massa de maravalha seca (1<sup>a</sup> aplicação) e na cama já úmida (2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> aplicações) foi mecânico, utilizando-se uma betoneira comercial de 400L de capacidade máxima (Figura 9).



Figura 9 – Utilização de betoneira para mistura e homogeneização dos dejetos no tratamento 2.

Do mesmo modo que explicado para o tratamento 1, a forma de incorporação dos dejetos variou conforme a aplicação. Os diferentes manejos de aplicação adotados no decorrer da fase de impregnação, para o tratamento 2 estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11 – Metodologia de aplicação de dejetos e mistura dos mesmos aos substratos presentes nas caixas referentes ao tratamento 2 – Aplicação na betoneira.

<b>Aplicação</b>	<b>Método</b>
1 <sup>a</sup>	Nesta aplicação, para cada uma das três pilhas que compõem este tratamento foram realizadas 4 batidas na betoneira, cada uma delas composta de um total de 20 kg de maravalha e 70 kg de dejetos. Após o término de toda a adição de dejetos, o conteúdo da betoneira permaneceu em mistura por 1 minuto. Desta forma, cada batida teve uma duração média de 6 minutos. O material após mistura foi colocado no chão e de lá transportado com pá para as caixas
2 <sup>a</sup>	Nesta aplicação, o total de dejetos previsto foi inserido em 3 dias consecutivos. Da mesma forma, foram executadas 4 batidas na betoneira para o conteúdo total de cada caixa, contendo 23,3 kg de dejetos e ¼ do conteúdo da caixa, de forma à misturar homogeneamente todo o material.
3 <sup>a</sup>	A mesma metodologia empregada anteriormente foi repetida na 3 <sup>a</sup> aplicação, porém, de forma a aplicar o dejetos nos 2 primeiros dias e o dejetos escorrido no terceiro.
4 <sup>a</sup>	A mesma metodologia empregada anteriormente foi repetida na 4 <sup>a</sup> aplicação

Conforme pode ser visualizado na Figura 10, sete dias após o término da 1<sup>a</sup> aplicação e cinco dias após a 2<sup>a</sup> e a 3<sup>a</sup> aplicações foram realizados os



revolvimentos do material contido nas 3 caixas relativas ao tratamento 2, porém este procedimento se deu de forma manual, ou seja, todo o material contido nas caixas foi retirado, revolvido e colocado manualmente.



Figura 10 – Revolvimento do material em processo de impregnação de dejetos – Tratamento 2 – Aplicação na betoneira

### 2.2.2 Fase 2 – Fase de Compostagem

A fase 2 denominada fase de compostagem teve início no dia 60. Nesta fase, todo o material contido nas caixas que compõem os tratamentos 1 e 2 foi misturado e transportado para o lado oposto da unidade experimental, local onde foi agrupado em duas pilhas que formaram os tratamentos A e B (pilhas A e B) da fase de compostagem do experimento 1. A pilha oriunda do agrupamento de todo o material obtido do tratamento 1 (aplicação de dejetos por camadas) da fase de impregnação de dejetos será denominada a partir daqui como “pilha A” e aquela obtida da junção do material das caixas do tratamento 2 (aplicação na betoneira) será denominada “pilha B”.

As pilhas A e B sofreram tratamentos diferenciados no que diz respeito à aeração fornecida à massa em compostagem. A pilha A foi provida de um sistema de aeração passiva e a pilha B contou com um sistema de aeração forçada ou mecânica. Desta forma, o objetivo da fase 2 foi o de testar dois sistemas de aeração na compostagem de dejetos de suínos misturados ao substrato maravalha.

A montagem das pilhas A e B se deu 18 dias após a conclusão da 4ª e última aplicação de dejetos, sendo esta ocasião definida como o dia 0 da fase de compostagem. Todo o líquido escorrido durante este período de 18 dias entre a

conclusão da 4ª aplicação de dejetos e a montagem das pilhas para a fase de compostagem foi considerado perdido sendo posteriormente descartado.

### **2.2.2.1 TRATAMENTO A – Sistema de aeração passiva.**

O material oriundo das caixas pertencentes ao tratamento 1 da primeira fase experimental (aplicação de dejetos por camadas), formaram a pilha referente ao tratamento A da 2ª fase experimental. Anteriormente à montagem da pilha A, todo o material foi revolvido e pesado, sendo retirada uma amostra representativa para posterior análise. As dimensões da pilha formada foram as seguintes: 3,2m de comprimento; 2,0m de largura e 1,0m de altura. A pilha foi montada sob um sistema de aeração passiva, conforme exposto esquematicamente nas Figuras 11 e 12. Este sistema consistiu de uma tubulação parcialmente perfurada (cano de 100mm) localizada longitudinalmente sob as pilhas de compostagem (Sartaj et al., 1997; Fernandes et al., 1994).



Figura 11 – À esquerda, sistema de aeração passiva anteriormente à montagem da pilha A. À direita, pilha A equipada de sistema de aeração passiva.

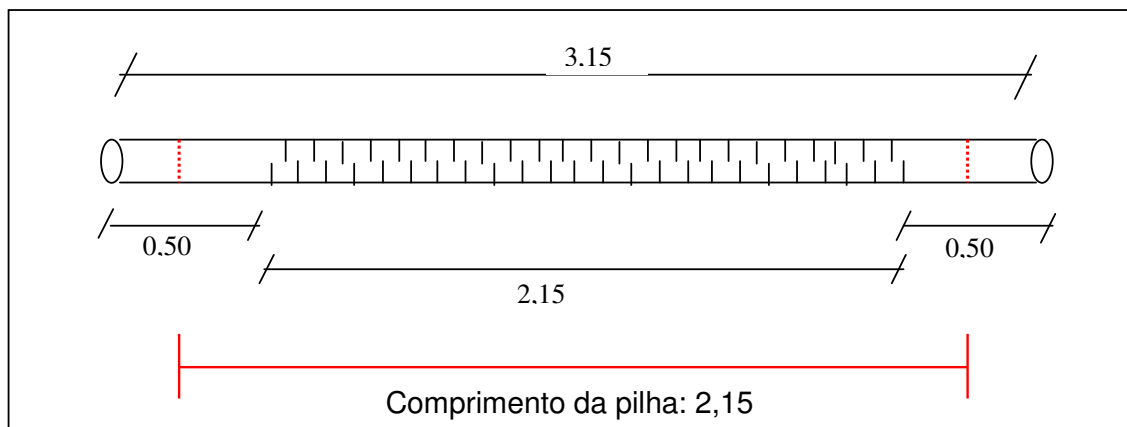


Figura 12 – Esquema do sistema de aeração passiva – Tratamento A (Pilha A).

### 2.2.2.2 TRATAMENTO B – Sistema de aeração forçada

O material das caixas 4, 5 e 6 que formavam o tratamento 2 da 1ª fase experimental (aplicação na betoneira) foi utilizado para a montagem da pilha B da fase de compostagem. Diferentemente do que foi conduzido no tratamento A, a pilha referente ao tratamento B foi equipada com sistema de aeração forçada ou mecânica. Este sistema consistiu de uma bomba acoplada a um cano de 100mm parcialmente perfurado, conforme demonstrado nas Figuras 13 e 14. A vazão do ar foi calibrada em 11 m<sup>3</sup>/s. A bomba foi ligada diariamente durante 15 minutos, automaticamente das 17:30 às 17:45.

As dimensões da pilha B são as seguintes: 3,3m de comprimento; 1,80m de largura e 0,80m de altura.



Figura 13 – À esquerda, sistema de aeração ativa ou forçada anteriormente à montagem da pilha B. À direita, pilha B equipada de sistema de aeração ativa ou forçada.

## 2.3 Procedimento de Coleta de amostras e Análises realizadas

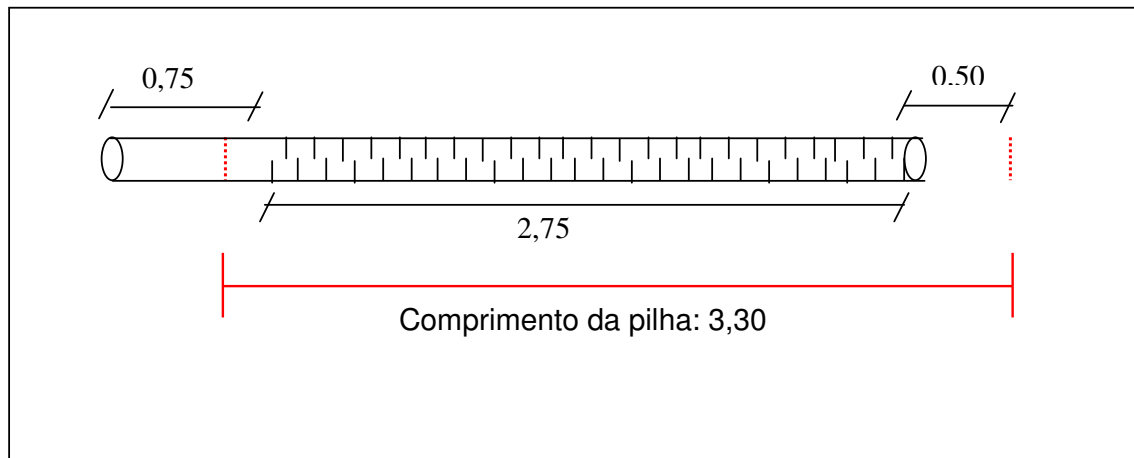


Figura 14 – Esquema do sistema de aeração forçada – Tratamento B (Pilha B).

### 2.3.1 Temperatura

Durante o período de impregnação de dejetos à massa de compostagem foi realizado o monitoramento do material contido nas caixas que formaram os

tratamentos 1 e 2 quanto à temperatura interna. Os dois pontos de monitoramento da temperatura interna localizavam-se paralelamente à 25cm de profundidade. A temperatura foi mensurada por meio de termopares (Cu-Co), com uma frequência de 3 vezes ao dia (8:00, 12:30 e 16:30).

Durante a fase 2 (fase de compostagem), a temperatura do interior das pilhas foi monitorada nos mesmos horários, às 8:00, 12:30 e 16:30h em 6 pontos de cada pilha, localizados paralelamente à 30cm e à 60cm de profundidade. Da mesma forma, a mensuração das temperaturas foi realizada utilizando-se de termopares do tipo T (Cu-Co).

### **2.3.2 Dejeito escorrido (Fase de Impregnação de dejetos)**

Durante o período de impregnação de dejetos, como dito anteriormente, todo o líquido escoado das caixas foi coletado e medido de 24 em 24 horas.

### **2.3.3 Coleta de amostras e análises realizadas**

Durante a fase 1 (fase de Impregnação de dejetos) foi realizada a coleta semanal de amostras dos materiais contidos nas caixas de impregnação de dejetos. Para isso, abriu-se um orifício na região central das caixas de onde o material foi retirado em três parcelas, correspondendo a três alturas diferentes (superficial, 20cm e 50cm). Algumas amostragens coincidiram com as datas de aplicação de dejetos. Nestas, o material foi coletado anterior e posteriormente ao procedimento de aplicação de dejetos. Dos materiais coletados foram realizadas análises dos parâmetros: teor de matéria seca, nitrogênio total, carbono orgânico e pH.

A partir da fase 2 (fase de compostagem), as amostragens se deram nos dias 0, 7, 14, 23 e 42., sendo manualmente perfurados dois pontos da pilha, de onde material de 3 profundidades diferentes foi extraído para posterior homogeneização e retirada de uma amostra única e representativa da pilha. As análises realizadas permaneceram as mesmas realizadas na fase anterior (teor de matéria seca, carbono orgânico, nitrogênio total e pH). Apenas após o término do período experimental foi realizada análise mais completa do composto (teor de matéria seca, nitrogênio total, carbono orgânico, pH, Ca, Cu, Fe, P, Mg, K, Na e Zn).

### **3 TESTE INTERMEDIÁRIO – AVALIAÇÃO DE UMIDADE IDEAL PARA COMPOSTAGEM**

Neste teste intermediário avaliou-se o desempenho da manutenção de 3 umidades distintas na compostagem de dejetos suíno e maravalha. Por limitação técnica, assim como no experimento 1, desenvolveu-se este estudo com dejetos de suíno (lodo) previamente maturado em esterqueira.

O teste intermediário era composto de 6 pilhas de compostagem compostas por maravalha e dejetos suíno pré-maturado em 3 proporções distintas, formando assim 3 tratamentos diferentes:

*Tratamento 1: Manutenção de umidade da pilha em 65%*

*Tratamento 2: Manutenção de umidade da pilha em 70%*

*Tratamento 3: Manutenção de umidade da pilha em 75%*

O experimento foi realizado no mesmo local descrito a seguir no item 4 (experimento 2). A metodologia de cálculo utilizada para o ajuste da umidade do sistema na ocasião das aplicações de dejetos foi o mesmo adotado no experimento seguinte (experimento 2), sendo portanto descrito em detalhe no item 4.

O experimento intermediário (teste de umidade) foi desenvolvido em apenas uma fase (fase de impregnação de dejetos), visando apenas avaliar a capacidade do substrato em absorver dejetos. A incorporação de dejetos se deu em um período de 45 dias, com as aplicações desenvolvidas em intervalos semanais, sempre seguindo o parâmetro de correção das umidades, conforme o tratamento em questão.

A incorporação dos dejetos foi realizada com o auxílio de pás, sendo esta forma de aplicação semelhante a desenvolvida no experimento 2.

Não foram realizados revolvimentos intermediários às aplicações, permanecendo as pilhas estáticas por um período de 1 semana.

Realizaram-se análises semanais do material contido nas pilhas de compostagem, dos parâmetros matéria seca e pH. O material foi analisado também para os parâmetros carbono orgânico e nitrogênio total no início do experimento e ao final do período estudado (dias 0 e 42).

Os resultados que serão expostos no capítulo IV serviram de base para o delineamento do experimento 2, a seguir apresentado. O parâmetro considerado para este delineamento foi o teor de umidade a ser adotado no experimento 2 (manutenção de umidade em 70%).

## **4 Experimento 2**

### **4.1 Local, época e materiais utilizados no experimento 2**

O experimento 2 foi realizado em edificação localizada na Unidade Experimental da Embrapa Suínos e Aves, tendo sido desenvolvido nos meses de agosto a outubro de 2003. A instalação utilizada para o desenvolvimento do processo de compostagem proposto é aberta nas laterais e possui a cobertura em telhas de cimento amianto, possuindo um pé direito de 3 metros. A instalação foi adaptada com uma plataforma suspensa de madeira, impermeabilizada por uma lona plástica, ficando as pilhas sobre esta, conforme pode ser observado na Figura 15. Esta plataforma foi projetada de forma a possibilitar a captação de dejetos excedente aplicado.

Os materiais utilizados no experimento foram maravalha, serragem e dejetos frescos de suíno armazenados por 5 dias. O dejetos foi coletado diretamente da canaleta de dejetos existente sob a baia de 35 animais em fase de terminação (aproximadamente 150 dias de idade) e transportado até a unidade experimental, onde foi descarregado em caixas de PVC e utilizados no mesmo dia para a montagem do experimento. As características físico-químicas do dejetos utilizado para incorporação na massa em compostagem variaram no decorrer das 4 aplicações, não sendo possível o ajuste dos sólidos contidos nos mesmos em virtude da impossibilidade de padronização do manejo realizado na unidade de produção, onde realizou-se a coleta. Em média, o dejetos utilizado tinha pH 7,19; 41,29 g/L de sólidos totais; 37,77 g/L de sólidos voláteis; 22,37 g/L de sólidos fixos, 3.340 mg/L de nitrogênio total e 2.403,1 mg/L de nitrogênio amoniacal.





Figura 15 – Plataforma de madeira usada como suporte das pilhas de compostagem.

A maravalha e a serragem foram adquiridas em estabelecimentos madeireiros da região, sendo estas duas matérias-primas oriundas de madeiras mistas. A maravalha utilizada possuía o diâmetro geométrico médio (DGM) de 2641  $\mu$ , com um desvio padrão geométrico (DPG) de 2,61  $\mu$ . A serragem utilizada apresentava-se com a granulometria, expressa em diâmetro geométrico médio, de 706  $\mu$ , com o respectivo desvio padrão geométrico de 2  $\mu$ . As matérias-primas apresentavam matéria seca de 85,5 e 67 % para a maravalha e para a serragem, respectivamente (Figura 16).

Para monitoramento da temperatura interna das pilhas, foram utilizados termopares do tipo T (Cu-Co), sendo cada pilha equipada com um ponto de controle da temperatura interna da massa de compostagem. Da mesma forma que no experimento 1, os termopares foram instalados em um medidor de temperatura com chave seletora para 10 pontos (Figura 16).





Figura 16 – Maravalha e serragem utilizadas como matérias-primas no experimento 2 (à esquerda). Chave seletora para monitoramento das temperaturas internas das pilhas de compostagem (à direita).

#### 4.2 Desenvolvimento do Experimento

O sistema de compostagem proposto foi analisado por um período de 86 dias, sendo realizada a montagem de 4 pilhas de compostagem, duas delas compostas de maravalha e dejetos (tratamento 1) e 2 delas compostas de serragem e dejetos (tratamento 2).

Da mesma forma como delineado no experimento 1, o experimento 2 possuiu duas fases distintas: Fase de Incorporação de dejetos e Fase de compostagem. No entanto, evidentemente, o processo de compostagem teve início logo após o início da 1ª fase. A título de se distinguir a fase em que se objetivou determinar a capacidade máxima de incorporação de dejetos nos dois substratos avaliados e a fase de compostagem propriamente dita, das duas matérias-primas originadas da 1ª fase, optou-se pela separação do experimento nestas duas fases, para melhor didaticamente expor os dados obtidos do mesmo. O desenvolvimento experimental está descrito a seguir, na Figura 17.

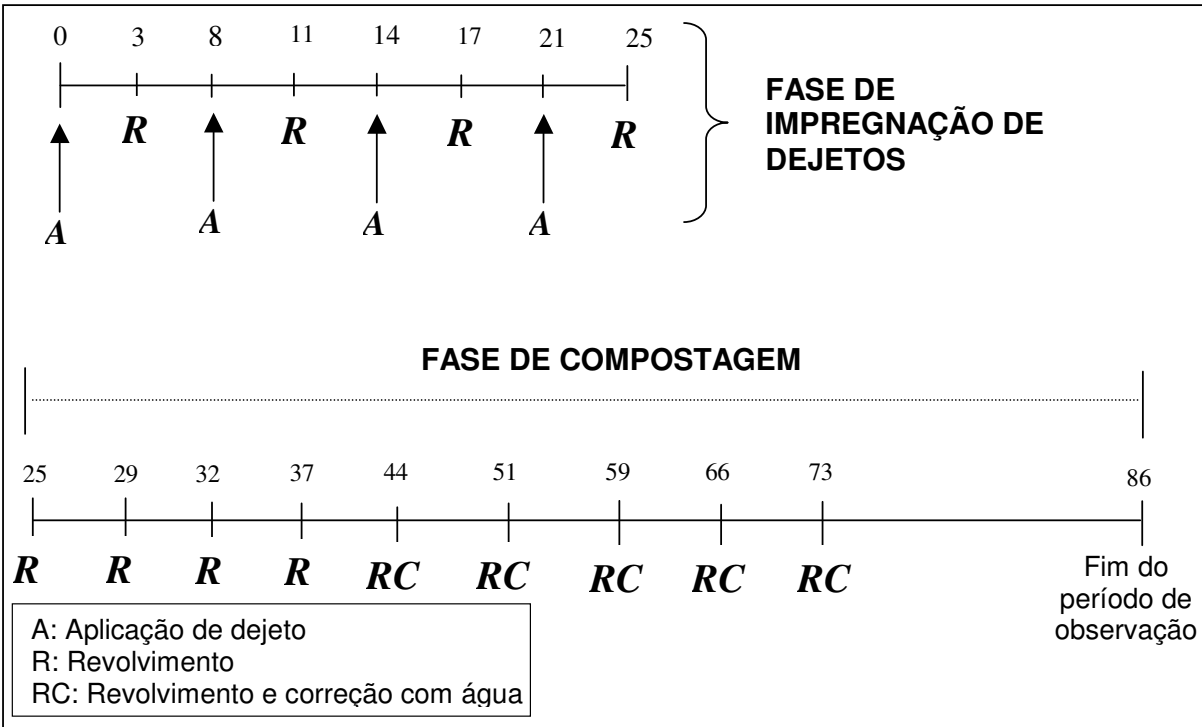


Figura 17 – Cronograma de atividades do experimento 2.

#### 4.2.1 Fase 1 – Fase de Impregnação de dejetos

Denominou-se de fase de impregnação, o período experimental onde foi realizada a adição de dejetos a uma massa fixa de maravalha (tratamento 1) e serragem (tratamento 2). Este período teve a duração de 24 dias, sendo as aplicações realizadas semanalmente. Os dejetos excedentes e conseqüentemente escorridos das pilhas de compostagem foram reaplicados também semanalmente, 3 dias após as aplicações. As massas de maravalha e serragem foram fixadas em 120 kg e a massa de dejetos adicionada nas aplicações foi aquela suficiente para corrigir a umidade da mistura em 70%. Conforme exposto mais adiante nos resultados, as massas de dejetos aplicadas entre os tratamentos 1 e 2 (1ª aplicação), foram bastante distintas. Isto se deu devido à diferença de umidade das matérias-primas utilizadas. As aplicações que se sucederam (2ª, 3ª e 4ª) foram baseadas também na correção da umidade em

70%, sendo esta estabelecida de acordo com a umidade das pilhas e do dejetos utilizado no dia de cada aplicação.

O cálculo da massa de dejetos a ser adicionada aos substratos em cada uma das aplicações baseou-se na fórmula descrita a seguir (Rynk, 1992).

$$R = \frac{Um_r - Um_s}{Um_d - Um_r}$$

Onde,

*R = Relação Dejetos / Substrato\**

*Um\_r = Umidade resultante da mistura (%)*

*Um\_d = Umidade do dejetos (%)*

*Um\_s = Umidade do substrato (maravalha ou serragem) (%)*

\* Relação dejetos / substrato expressa em kg de dejetos / kg de substrato (maravalha ou serragem).

Para melhor visualização da metodologia citada, estão apresentados abaixo os cálculos utilizados na 1ª aplicação de dejetos:

### **1ª aplicação**

Na 1ª aplicação, utilizou-se dos valores de umidade das matérias primas secas (maravalha e serragem) e do dejetos utilizado para estimativa da quantidade de dejetos a ser adicionada às pilhas de compostagem. A partir de uma massa pré fixada de maravalha e serragem, cada pilha foi montada após cálculo da relação dejetos / substrato necessária para correção das umidades em 70%. Os valores utilizados foram os seguintes:

- **Percentual de umidade do dejetos: 96 %**
- **Percentual de umidade da maravalha: 14,53 %**
- **Percentual de umidade da serragem: 33,00 %**
- **Massa (kg) pré fixada de maravalha: 120**
- **Massa (kg) pré fixada de serragem: 120**

Seguindo-se a fórmula descrita por Rink, (1992), chegou-se no seguinte cálculo:

MARAVALHA (Tratamento 1)

$$R = 70 - 14,53 / 96 - 70$$

$$R = 2,13$$

SERRAGEM (Tratamento 2)

$$R = 70 - 33 / 96 - 70$$

$$R = 1,42$$

O valor expresso acima pela letra R significa a massa de dejetos a ser adicionada para cada kg de substrato contido na pilha. Considerando-se um valor pré fixado de 120 kg dos substratos contidos nas pilhas de compostagem, tem-se os seguintes totais de dejetos aplicados na 1ª aplicação:

MARAVALHA (tratamento 1)

Massa de dejetos aplicados:  $120 * 2,13 = 256 \text{ kg}$

SERRAGEM (tratamento 2)

Massa de dejetos aplicados:  $120 * 1,42 = 170,8 \text{ kg}$

Para o cálculo da 1ª aplicação de dejetos, utilizou-se dos valores de umidade de cada matéria-prima utilizada, pré-determinada analiticamente em laboratório (maravalha e serragem) e por medida indireta, lançando-se mão do densímetro (dejetos).

#### Demais aplicações

Nas demais aplicações, este mesmo cálculo foi realizado utilizando-se os valores de sólidos da cama de cada pilha e do dejetos disponível no dia. Para agilidade do processo, utilizou-se uma metodologia diferenciada para determinação do teor de matéria seca das pilhas (matéria seca rápida), sendo este parâmetro determinado no mesmo dia de aplicação de dejetos. O teor de sólidos do dejetos utilizado foi estimado indiretamente por meio de um densímetro,

conforme tabela de conversão (Oliveira, 1993). Após estimada a relação cama: dejetos necessária para a correção de umidade, este valor foi multiplicado pela massa aproximada de cada pilha, sendo assim previstas as respectivas massas de dejetos a serem adicionadas em cada pilha. No valor considerado como massa total de cada pilha de compostagem também foi considerada a perda de massa decorrente da evaporação d'água no intervalo entre as aplicações. O cálculo da perda de massa decorrente da evaporação e da massa das pilhas em cada aplicação está demonstrado a seguir:

### **CÁLCULO DA PERDA DE MASSA POR EVAPORAÇÃO**

$$PM = (Ma * \% Pu) / 100$$

Onde,

*PM*: Perda de massa da pilha por evaporação desde a última aplicação

*Ma*: Massa da pilha após aplicação anterior

*%Pu*: Percentual de perda de umidade após aplicação anterior

### **CÁLCULO DA MASSA DA PILHA**

$$Mp = (Ms + Md) - PM$$

Onde,

*Mp*: Massa da pilha antes da aplicação

*Ms*: Massa de substrato contida na pilha (maravalha ou serragem)

*Md*: Massa de dejetos aplicado até a data

*PM*: Perda de massa da pilha por evaporação desde a última aplicação

Após calculadas as massas de cada pilha, a quantidade de dejetos a ser inserida foi estimada a partir do seguinte cálculo:

### **CÁLCULO MASSA DE DEJETO A SER INSERIDA**

$$D = Mp * R$$

Onde,

*D* = Massa de dejetos a ser inserido

*Mp* = Massa da pilha antes da aplicação

*R* = Relação dejetos / substrato

*Exemplo:*

Segue abaixo como exemplo de cálculo, a metodologia empregada para a pilha 1 do tratamento 1 (maravalha) na 2ª aplicação de dejetos, onde os valores de umidade da cama e do dejetos eram os seguintes:

- Percentual de Umidade da cama (antes 2ª aplicação): 64,43
- Percentual de Umidade do dejetos a ser utilizado na 2ª aplicação: 94

A relação dejetos / cama necessária para correção da umidade em 70% foi calculada da seguinte forma:

$$R = 70 - 64,43 / 94 - 70$$

$$R = 0,23$$

Em seguida, calculou-se a perda de massa por evaporação no período entre a 1ª a 2ª aplicação:

$$PM = (Ma * \% Pu) / 100$$

$$PM = (376,02 * 5,57) / 100$$

$$PM = 20,94 \text{ kg}$$

A partir do valor calculado acima (perda de massa por evaporação), determinou-se a massa da pilha:

$$Mp = (Ms + Md) - PM$$

$$Mp = (120 + 256) - 20,94$$

$$Mp = 355,07 \text{ kg}$$

O cálculo da quantidade de dejetos a ser inserida na 2ª aplicação, levou em conta a relação dejetos / cama necessária para a correção da umidade em 70% (R) e a massa da pilha, estimada acima (Mp), conforme demonstrado a seguir:

$$D = Mp * R$$

$$D = 355,07 * 0,23$$

$$D = 82,40$$

A primeira aplicação de dejetos foi realizada utilizando-se de uma betoneira comercial, com capacidade para 400 L. A fim de se atingir uma correta homogeneidade dos materiais antes da montagem das pilhas estudadas, a mistura das matérias-primas (maravalha seca + dejetos ou serragem seca + dejetos) foi efetuada de forma parcelada, sendo o material colocado na betoneira em 6 vezes, cada uma contendo 20 kg de maravalha e 42,67 kg de dejetos, no caso do tratamento 1 (maravalha) e 20 kg de serragem e 20,46 kg de dejetos, no caso do tratamento 2 (serragem).

Nas demais aplicações, a incorporação dos dejetos se deu de forma não mecanizada, utilizando-se de pá, conforme pode ser apresentado na foto da Figura 18. Nestas ocasiões, a quantidade de dejetos calculada com base na correção da umidade da massa em 70% foi pesada e vagarosamente adicionada à massa em compostagem, sendo esta constantemente revolvida, com a utilização de pás. Objetivando-se uma maior praticidade no manejo de aplicação e revolvimento, a unidade experimental foi projetada de forma a permitir que as pilhas fossem sendo alternadas de compartimento para compartimento a medida que o experimento foi se desenvolvendo. Este detalhe foi bastante importante em garantir a possibilidade de uma homogeneização eficiente do material. Além disso, a mudança constante de local garantiu um menor efeito climático decorrente do posicionamento de cada repetição que compôs os tratamentos estudados.

As pilhas foram revolvidas após 3 dias de cada aplicação de dejetos, sendo realizadas as aplicações às segundas-feiras e os revolvimentos às quintas-feiras. Desta forma, a massa em compostagem sofreu aeração por revolvimento a cada 3 dias (da aplicação ao revolvimento) e a cada 4 dias (do revolvimento à próxima aplicação). Como dito anteriormente, o ciclo de aplicações de dejetos durou 24 dias. Neste período de 24 dias está incluída a última reaplicação de dejetos excedente que se deu 3 dias após a 4ª aplicação de dejetos.



Figura 18 – Adição e revolvimento das pilhas de compostagem (2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup>) aplicações de dejetos.

#### **4.2.2 Fase 2 – Fase de Compostagem**

Após o término do período de Impregnação de dejetos, as pilhas de compostagem continuaram a ser revolvidas com um intervalo de 7 dias . Este período foi denominado de fase de Compostagem, tendo a duração de 60 dias. Foram realizadas correções de umidade da massa de compostagem a partir do dia 18 da 2<sup>a</sup> fase experimental, durante a realização do 8<sup>o</sup> revolvimento (5<sup>a</sup> revolvimento após o início da 2<sup>a</sup> fase experimental – fase de compostagem).

O cálculo para correção da umidade das pilhas esteve também baseado na fórmula descrita por Rink, (1992), sendo as correções ajustadas para a umidade de 65%. A estimativa da umidade das pilhas era realizada semanalmente, pela metodologia de matéria seca rápida, sendo realizadas as coletas anteriormente a realização de revolvimento e adição de água para a correção das umidades das pilhas.

#### **4.3 Procedimento de Coleta de amostras e Análises realizadas**

##### **4.3.1 Temperatura**

Os equipamentos utilizados para monitoramento da temperatura da massa em compostagem foram os mesmos empregados no experimento 1, já descritos



acima no item 2.2.3.1. As temperaturas foram monitoradas com uma frequência de 3 vezes ao dia, nos mesmos horários adotados no experimento 1. A temperatura foi medida em um ponto mediano das pilhas, ou seja em uma profundidade média correspondente à metade da altura das pilhas de compostagem (cerca de 35cm).

#### **4.3.2 Dejeito escorrido**

Durante a fase de impregnação, os dejetos excedentes e conseqüentemente escorridos de cada pilha (chorume) foram pesados diariamente e retornados na ocasião dos revolvimentos das pilhas.

#### **4.3.3 Coleta de amostras e análises realizadas**

Durante a 1ª fase experimental (fase de impregnação de dejetos), as amostras foram coletadas anteriormente às aplicações de dejetos, para realização do procedimento de determinação do teor de matéria seca rápida. Outra amostra foi coletada após as adições de dejetos. O método de coleta foi o mesmo nas duas amostragens, sendo retiradas manualmente 4 sub-amostras de 4 pontos da pilha de compostagem, duas delas superficiais e as outras duas profundas (cerca de 30cm). As sub-amostras retiradas foram colocadas em um recipiente onde foram homogeneizadas e compuseram a amostra única que foi imediatamente encaminhada ao laboratório de análises físico-químicas da Embrapa Suínos e Aves.

Já na 2ª fase experimental (período de compostagem), o esquema de coleta de amostras seguiu a frequência semanal, ocorrendo após a realização dos revolvimentos. Após o dia 18, quando começaram a ser realizadas as correções da umidade com água esta coleta se deu anteriormente ao manejo de revolvimento das pilhas.

As análises realizadas na cama foram as seguintes: matéria seca, carbono orgânico, nitrogênio total e pH. No dejeito utilizado, foram avaliados sólidos totais, voláteis e fixos, nitrogênio total e amoniacal e carbono orgânico, seguindo metodologia descrita no Standart Methods (APHA, 1995).

Os percentuais de matéria seca e o pH da cama foram estimados durante todo o período de Impregnação de dejeito, com uma frequência semanal. Além destas determinações, após a primeira e a última aplicações de dejetos,

analisaram-se também os percentuais de nitrogênio total e carbono orgânico das pilhas de compostagem.

Durante a fase de compostagem, realizaram-se semanalmente as determinações de matéria seca e pH das pilhas, sendo no dia 30 da 2ª fase e ao final do experimento realizadas também as estimativas dos percentuais de nitrogênio total e carbono orgânico.

## **5 ANÁLISES FÍSICO – QUÍMICAS E QUÍMICAS QUANTITATIVAS – PROTOCOLO EXPERIMENTAL**

### **5.1 Caracterização do dejetos utilizado (Sólidos Totais, Voláteis e fixos, pH, Carbono Orgânico e Nitrogênio Total)**

Os sólidos totais (ST), os sólidos voláteis (SV) e os sólidos fixos (SF) podem ser definidos em uma amostra como sendo suas frações constituídas pela matéria seca, pela matéria orgânica e pela matéria mineral, respectivamente. Seus teores foram obtidos através de análise gravimétrica realizando-se as pesagens da amostra antes e após os procedimentos de secagem em estufa e calcinação em mufla.

O procedimento para obtenção dos sólidos totais da amostra consistiu em utilizar 70 ml de dejetos, que foram colocados em um cadinho e levados a estufa 90°C até estarem completamente secos, quando foram enviados para estufa 105°C por duas horas. Para determinação dos Sólidos Voláteis, a amostra após retirada da estufa foi calcinada na mufla a 550°C por duas horas. Os pesos foram anotados e conforme a diferença entre eles calculou-se tem os Sólidos Totais, Voláteis e fixos (APHA, 1995).

O valor de pH, carbono orgânico e nitrogênio total dos dejetos foram determinados a partir de metodologia padrão do laboratório de análises físico-químicas da Embrapa Suínos e Aves (APHA, 1995).

### **5.2 Umidade**

Para a análise do teor de umidade das camas foi realizada a determinação da pré matéria seca, onde aproximadamente 100g do material amostrado foi colocado em bandeja metálica e seco em estufa 60°C por 48 horas. Do material

pré-seco foi retirado 3g, que foram mantidos por 2 horas em estufa 110°C (APHA, 1995). Os cálculos realizados para obtenção do teor de matéria seca dos materiais levou em consideração as perdas de peso na realização da pré secagem a 65°C e da secagem (110° C).

Para a determinação rápida do teor de umidade das camas foi realizada a metodologia descrita a seguir: Em cadinhos de louça, foram pesadas cerca de 10 g de cada amostra, sendo estas levadas posteriormente para estufa ventilada a 100°C por 4 horas. Após este período, os cadinhos foram retirados e, imediatamente colocados em dessecador por 30 minutos. Em seguida, os cadinhos foram pesados e desta forma foi realizado o cálculo padrão de matéria seca. Esta metodologia foi previamente testada, sendo realizadas pesagens seguidas, até a verificação da constância nos pesos de horas consecutivas.

### **5.3 pH**

Para determinação do pH das camas foi utilizado um pH/metro portátil modelo HI 8014 (HANNA Instrumentos). A leitura deste parâmetro foi realizada após suspensão de 10g de amostra em 100ml de água destilada.

### **5.4 Carbono Orgânico**

O procedimento de análise seguiu o recomendado pelo Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa Solos (Silva, 1999). Este método tem como princípio a oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico. O procedimento para determinação do teor de carbono orgânico realizado foi o seguinte:

Utilizou-se 0,3g de amostra, na qual foi adicionado dicromato de potássio e ácido sulfúrico/ortofosfórico. A amostra foi digerida por 30 minutos, sendo posteriormente realizada a titulação com sulfato ferroso do material acrescido de 3 gotas de indicador ferroin (APHA, 1995).

### **5.5 Nitrogênio Total**

Para determinação do parâmetro nitrogênio total das camas foi realizado o método Kjeldahl. Neste método foram utilizados 0,5g de amostra, na qual eram adicionados catalisador e Ácido Sulfúrico p.a. 95-97%. Posteriormente, a amostra

foi digerida a 400°C por 35 a 45 minutos, sendo em seguida realizado o processo de destilação a vapor, onde a amostra era inserida juntamente com a solução indicadora e destilada por 3 minutos. Por fim foi realizada titulação com ácido sulfúrico 0,05N mantendo a solução com amostra em constante agitação (APHA, 1995).

## **5.6 Relação C/N**

A relação C/N foi calculada a partir do cálculo dos dados analíticos dos itens 5.4 e 5.6.

$$\textit{Relação C/N} = \textit{C. Org} / \textit{N total}$$

## **5.7 Macro-nutrientes**

Para determinação dos nutrientes fósforo e potássio, utilizou-se da metodologia padrão do laboratório de análises físico-químicas da Embrapa – CNPSA, realizando-se a leitura dos resultados em Spectrofotômetro de chama (absorção atômica). O preparo da amostra se deu com a pesagem de 1 g de amostra seca a 65°C, queima em mufla (500-600°C) por 3 horas, solubilização com 10 ml de ácido clorídrico 50%, filtragem em balão de 100 ml e diluição anterior à leitura.

## **5.8 Micro-nutrientes**

O procedimento para a determinação dos micro nutrientes foi semelhante ao de macro nutrientes relatado acima, porém utilizando-se de 3g de amostra.

## **CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **1 INTRODUÇÃO**

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes aos seguintes experimentos:

- EXPERIMENTO 1 (fases de impregnação de dejetos e compostagem)
- TESTE INTERMEDIÁRIO
- EXPERIMENTO 2 (fases de impregnação de dejetos e compostagem)

### **2 EXPERIMENTO 1**

#### **2.1 Fase 1 – Fase de Impregnação de dejetos**

##### **2.1.1 Temperatura**

Os resultados expostos na Figura 19 ilustram as temperaturas médias diárias observadas durante a primeira fase experimental do material contido das caixas de PVC. Os resultados expostos estão apresentados na forma de média diária (média dos 3 horários de leitura para cada um dos tratamentos).

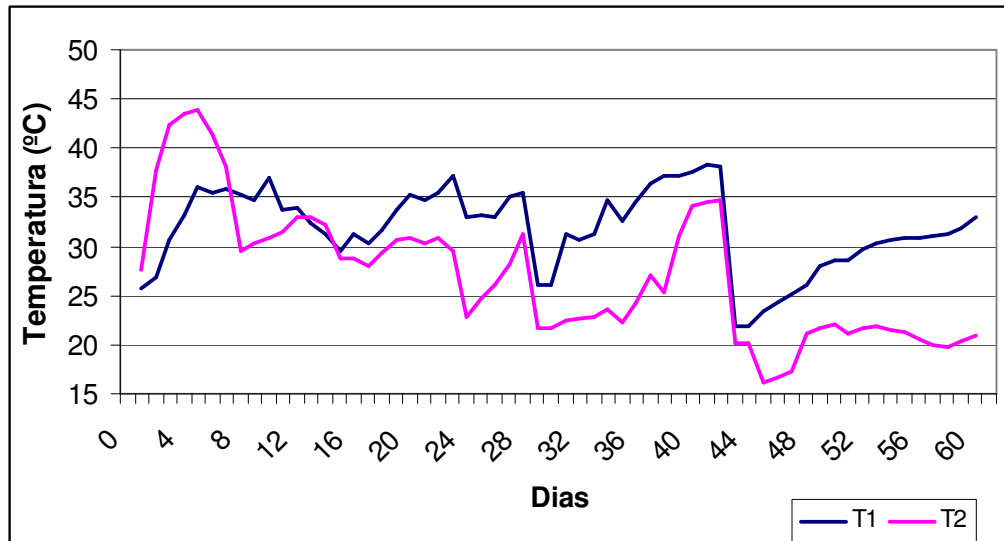


Figura 19 – Temperaturas médias diárias nos tratamentos 1 e 2 (T1 e T2) – Média diária das temperaturas observadas nos 3 horários de monitoramento (8, 12 e 16 horas), durante o período de impregnação de dejetos do experimento 1.

A análise da temperatura média do material em processo de impregnação de dejetos mostra uma variação notável nos padrões observados nos tratamentos 1 e 2 (T1 e T2). Após a primeira aplicação de dejetos (dia 0), o método de mistura empregado no tratamento 2 (utilização de betoneira) originou um material mais homogêneo, o que provavelmente influenciou no desenvolvimento preliminar do processo de compostagem, demonstrado nas maiores temperaturas desenvolvidas no mesmo. Diferentemente, o material originado do tratamento 1 (aplicação em camadas), apresentou um padrão de temperatura média inferior em relação ao tratamento 2, mostrando uma dificuldade em promover a mistura manual do dejetos em um substrato seco, como se apresentava a maravalha utilizada no experimento na primeira aplicação (dia 0). No entanto, a observação dos dados obtidos do monitoramento da temperatura durante todo o período impregnação demonstra um comportamento distinto durante o período posterior à segunda aplicação de dejetos, ocasião em que no tratamento 1 foi promovida a mistura manual do material, que, previamente umedecido pela primeira aplicação, absorveu de forma mais eficiente o dejetos aplicado nas seguintes aplicações. Este fato é demonstrado pelas maiores temperaturas observadas no tratamento 1, após a 2ª aplicação de dejetos.

Os revolvimentos semanais realizados no tratamento 2 não apresentaram efeito positivo para melhorar a performance do sistema. Conforme observado na

Figura 19, o revolvimento realizado no tratamento 2 no dia 7 (7 dias após a primeira aplicação), se deu em um período em que a temperatura do material já se encontrava em declínio e, a realização do revolvimento apenas teve o efeito de resfriar a massa, não promovendo nenhum aumento da temperatura. Este fato continuou a ser observado durante toda a primeira fase experimental. Em contrapartida, as temperaturas observadas na massa resultante das aplicações manuais e sem revolvimento semanal (T1), mantiveram-se mais altas em relação ao tratamento mecânico com revolvimento semanal (T2) do período compreendido entre o dia 7 (primeiro revolvimento do tratamento 2) e o final do período de impregnação de dejetos.

A observação dos dados obtidos do monitoramento das temperaturas tanto no tratamento 1 como no tratamento 2, permitem constatar que o processo desenvolvido não se enquadra nos padrões de sistemas de compostagem clássicos. Isso pode ser justificado de diferentes formas, sendo a principal delas a utilização de dejetos já estocados e portanto previamente maturados. Além disso, o emprego de volume consideravelmente pequeno para processos deste tipo, também influenciaram no comportamento atípico do sistema proposto.

Estas causas podem ser melhor justificadas quando se comparam os dados expostos acima (experimento 1) com os dados obtidos no experimento 2, descritos e discutidos no item 4 do presente capítulo.

### **2.1.2 Características físico – químicas do material**

A Tabela 12 apresenta a evolução dos parâmetros matéria seca, Nitrogênio total, Carbono Orgânico e pH durante a primeira fase experimental, de acordo com a diminuição da relação maravalha / dejetos para os tratamentos 1 e 2. Os resultados apresentados referem-se ao material anterior e posteriormente à aplicação de dejetos que se deu com uma frequência quinzenal, para ambos os tratamentos.

A Tabela 13 apresenta a evolução da relação Carbono / Nitrogênio (C/N) e da matéria seca do material durante a primeira fase experimental. A análise da Tabela 13 e da Figura 22 permite constatar a redução da relação C/N durante o período de impregnação de dejetos. Esta redução foi mais intensa no tratamento 2, quando se comparam valores iniciais e finais. Enquanto para o tratamento 1

houve a redução da relação C/N de 44,77 (após 1ª aplicação) para 31,09 (anteriormente à fase de compostagem), no tratamento 2 esta redução foi de 59,50 para 33,40 . No entanto, a relação C/N final apresentou-se menor para o tratamento 1, sendo este fato explicado pela maior inserção de dejetos neste tratamento.

Tabela 12 – Teores de matéria seca (MS%), Nitrogênio total (Nt%), Carbono Orgânico (C. org%) e pH dos materiais em processo de impregnação de dejetos para os tratamentos 1 e 2, anteriormente (A) e posteriormente (P) a cada aplicação de dejetos do Experimento 1.

Aplicação A/P		TRATAMENTO 1			
		MS (%)	Nt (%)	C-org (%)	pH
1	A				
	P	24,30	0,239	10,70	8,64
2	A	29,57	0,192	14,63	7,28
	P	22,84	0,239	10,71	8,52
3	A	29,75	0,254	12,70	6,96
	P	23,61	0,252	9,68	8,12
4	A	29,29	0,303	11,34	7,28
	P	21,94	0,239	8,21	7,64

Aplicação A/P		TRATAMENTO 2			
		MS (%)	Nt (%)	C-org (%)	pH
1	A				
	P	26,68	0,205	12,20	8,65
2	A	29,15	0,226	14,24	6,87
	P	21,83	0,253	10,42	8,48
3	A	27,78	0,252	11,72	6,96
	P	19,82	0,202	8,35	7,39
4	A	27,11	0,253	10,57	7,57
	P	20,39	0,271	7,60	7,96

Tabela 13 – Evolução da matéria seca e da relação Carbono / Nitrogênio (C/N) durante a fase de Impregnação de dejetos do Experimento 1.

Dia	TRATAMENTO 1		TRATAMENTO 2	
	MS (%)	Relação C/N	MS (%)	Relação C/N
0	24,30	44,77	26,68	59,50
7	28,06	67,73	27,32	62,89
14	29,57	76,19	29,15	63,09
16	22,84	44,81	21,83	41,25
23	27,89	47,24	27,19	45,11
28	29,75	49,99	27,78	46,57
30	23,61	38,40	19,82	41,35
35	25,69	35,46	25,83	41,76
42	29,29	37,42	27,11	41,71
44	21,94	34,34	20,39	28,04
Antes fase 2	28,33	31,09	26,90	33,40



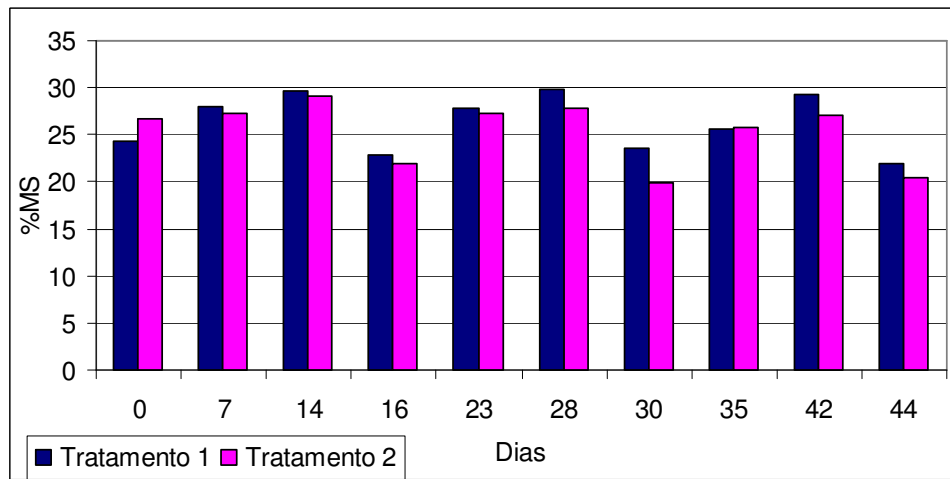


Figura 20 – Comportamento da matéria seca nos tratamentos 1 e 2 durante a Fase de Impregnação de dejetos do Experimento 1 para os tratamentos 1 e 2

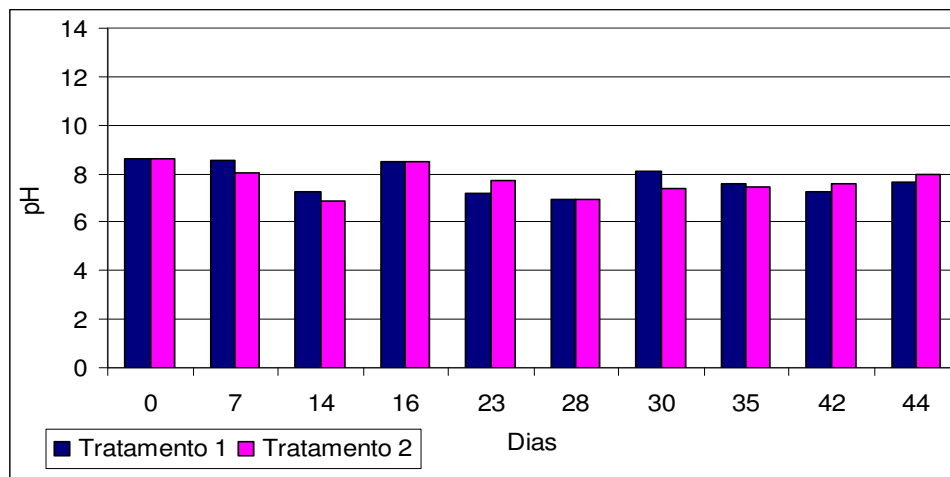


Figura 21 – Comportamento do índice pH durante a Fase de Impregnação de dejetos do Experimento 1 para os tratamentos 1 e 2.

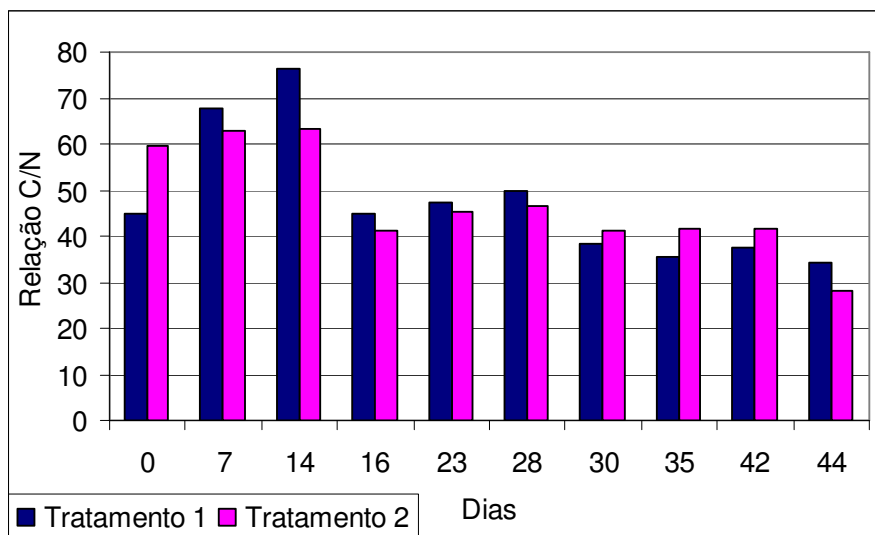


Figura 22 – Comportamento da relação C/N durante a Fase de Impregnação de dejetos do Experimento 1 para os tratamentos 1 e 2.

Na Figura 21 pode ser observado o comportamento do índice pH durante a fase de impregnação de dejetos. A análise do gráfico evidencia um padrão uniforme deste parâmetro durante toda a fase monitorada. O índice pH das camas manteve-se na faixa de 7,0 e 8,5; tanto para o tratamento 1 (T1), como para o tratamento 2 (T2).

A faixa de pH mantida no material durante a fase de impregnação de dejetos, está de acordo com a citada por Pereira Neto (1996), como sendo adequada para processos de compostagem (4,5 e 9,5).

### 2.1.3 Relação maravalha / dejetos

Na Tabela 14 pode ser observada a evolução da relação maravalha / dejetos obtida após as sucessivas aplicações de dejetos, levando-se em consideração o dejetos excedente escorrido reaplicado ou não. Apenas após a 4ª aplicação, o volume escorrido de dejetos excedente não retornou ao sistema, sendo portanto não considerado no cálculo da relação maravalha / dejetos total obtida após a conclusão da fase de impregnação de dejetos. Além disso, foi considerado também como perda, uma parcela do dejetos escorrido no período

entre a segunda e a terceira aplicações de dejetos. Nas Tabelas 15 e 16 estão detalhadas as quantidades escorridas após cada aplicação de dejetos, as quantidades retornadas ao sistema e suas respectivas perdas, no caso específico da ocasião da 3ª aplicação. Como pode ser observado, cerca de 40% do dejetos excedente escorrido após a 2ª aplicação foi perdido e portanto não retornado ao sistema na 3ª aplicação, conforme deveria em condições desejáveis. A Tabela 15 se refere ao tratamento 1 e a Tabela 16 ao tratamento 2.

Tabela 14 – Relação maravalha / dejetos resultante das sucessivas aplicações quinzenais de dejetos a uma massa fixa de 80 kg de maravalha durante a fase de impregnação de dejetos do Experimento 1.

Aplicação	Tratamento	Período	Maravalha / dejetos
1	1	Depois	1:3,5
	2	Depois	1:3,5
2	1	Antes	1:3,5
		Depois	1:7,0
	2	Antes	1:3,5
		Depois	1:7,0
3	1	Antes	1:4,18
		Depois	1:8,50
	2	Antes	1:3,51
		Depois	1:7,44
4	1	Antes	1:6,40
		Depois	1:9,92
	2	Antes	1:4,96
		Depois	1:8,48
<b>Anterior ao início da 2ª fase</b>	<b>1</b>		<b>1:7,44</b>
	<b>2</b>	-	<b>1:5,44</b>

Tabela 15 – Quantidade de dejetos escorrido até as aplicações de dejetos, quantidade retornada ao sistema e respectivas perdas no tratamento 1.

Aplicação	Período	Dejetos Escorrido (kg)	Perdido (kg)	Maravalha Rel Mar: Dej
1	Depois	280		80 3,5
2	Antes		Retorno total	80 3,50
	Depois	280		80 7,00
3	Antes		159,6 66,3	80 4,18
	Depois	186,6		80 8,50
4	Antes		168,5	80 6,40
	Depois	113		80 9,92
<b>Antes Fase 2</b>				<b>80 7,44</b>

Tabela 16 – Quantidade de dejetos escorridos até as aplicações de dejetos, quantidade retornada ao sistema e respectivas perdas no tratamento 2.

Aplicação	Período	Dejeto (kg)	Escorrido (kg)	Perdido (kg)	Maravalha (kg)	Rel Mar:Dej
1	Depois	280			80	3,50
2	Antes		Retorno total		80	3,50
	Depois	280			80	7,00
3	Antes		198,1	81,5	80	3,51
	Depois	116,6			80	7,44
4	Antes		198,5		80	4,96
	Depois	83			80	8,48
<b>Antes Fase 2</b>					<b>80</b>	<b>5,48</b>

Conforme podem ser observadas nas Tabelas 15 e 16, as quantidades aplicadas de dejetos em ambos os tratamentos foram menores que aquelas citadas por Mazé et al., (1999), onde para sistemas de compostagem de dejetos suínos e mistura de maravalha e palha foram atingidas relações substrato: dejetos próximas a 1 : 8. Os valores atingidos também são bastante inferiores aos obtidos por Balsari & Airoidi (1998), onde para a compostagem de dejetos suínos *in natura* e palha de trigo e sabugo de milho foram atingidas relações substrato/dejeto de 1 : 10. Ainda assim, pode-se dizer que as taxas de aplicação desenvolvidas no experimento 1, foram excessivas, uma vez que o material atingiu níveis altos de umidade após cada aplicação. Além disso, grande quantidade de dejetos foi escorrida do sistema entre as aplicações e após o término delas. No tratamento 1, os percentuais de umidade atingidos após cada uma das aplicações foram os seguintes: 75,70; 77,16; 76,39 e 78,06, para a 1ª, 2ª, 3ª e 4ª aplicações, respectivamente. No tratamento 2, estes níveis foram maiores (Figura 20), apesar da menor taxa de aplicação desenvolvida. Os valores de umidade após cada aplicação no tratamento 2 foram os seguintes: 73,32; 78,17; 80,18 e 79,61. A manutenção de umidades altas no experimento 1, teve influência direta no padrão de temperatura desenvolvido no período de impregnação de dejetos (Figura 19). Apenas entre a primeira e a segunda aplicação e para o tratamento 2, a temperatura do sistema excedeu 40°C, mostrando que o parâmetro umidade foi decisivo no desenvolvimento de temperaturas termofílicas, uma vez que neste período, o teor de umidade era menor (75,7 para o tratamento 1 e 73,2 para o tratamento 2).

## 2.2 Fase 2 – Fase de Compostagem

### 2.2.1 Temperatura

A seguir serão apresentados os resultados obtidos do monitoramento da temperatura das pilhas A e B que compuseram a segunda fase experimental. Conforme explicado no *item 2.3.1 do Capítulo III*, a temperatura de cada pilha foi medida em 6 pontos diferentes. A evolução da temperatura exposta na Figura 23 refere-se à média de todos os pontos monitorados nas pilhas A e B, sendo 3 destes pontos localizados à 30cm de profundidade e 3cm à 60cm. Utilizando-se das médias obtidas dos 3 pontos localizados em cada profundidade das pilhas, a Figura 24 apresenta o comportamento da temperatura dos pontos superiores (à 30cm de profundidade) e inferiores (à 60cm de profundidade) para cada um dos tratamentos A e B, respectivamente.

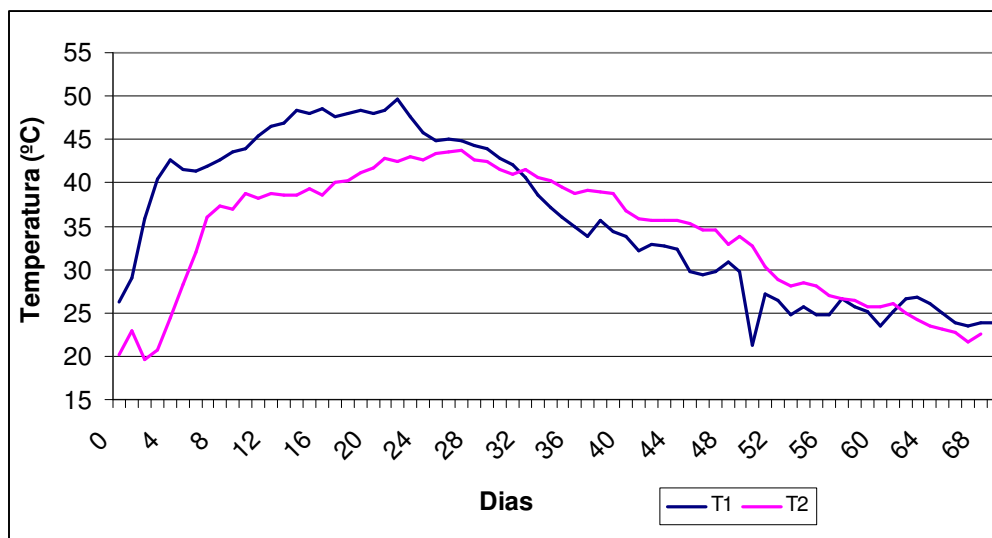


Figura 23 – Evolução das temperaturas médias das pilhas A e B durante a fase de compostagem do Experimento 1 (média diária obtida dos 3 horários de monitoramento)

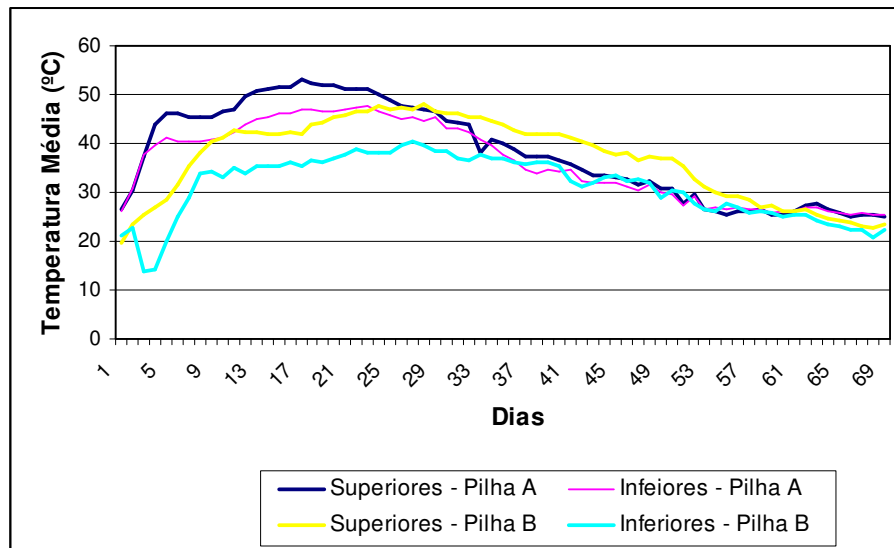


Figura 24 – Temperatura dos pontos superiores (30cm) e inferiores (60cm) da pilha A durante a fase de compostagem do experimento 1.

A análise dos gráficos apresentados acima, permite constatar comportamentos distintos dos dois tratamentos avaliados no experimento 1. Nos primeiros 30 dias da segunda fase experimental, denominada período de compostagem, a pilha oriunda da incorporação manual dos dejetos e equipada com sistema de aeração passiva (tratamento 1 ou A) apresentou temperaturas superiores em relação à pilha B, a qual foi montada com o material advindo da mistura mecanizada e equipado nesta fase com sistema de aeração forçada. Ao redor do dia 30, este comportamento foi modificado, ficando as duas pilhas com temperaturas semelhantes e próximas à temperatura ambiente. Apenas por volta do dia 55 as temperaturas médias das pilhas atingiram níveis ambientes.

A análise da Figura 24 permite verificar a constância de maiores temperaturas nos pontos localizados à 30cm de profundidade, em relação àqueles localizados à 60cm e, portanto monitorados em pontos mais profundos da pilha de compostagem. Este fato é mais evidente no caso da pilha mantida sob sistema de aeração ativa ou forçada, onde a diferença média das temperaturas monitoradas nestes dois pontos é maior. Este comportamento de maiores temperaturas nos pontos superiores é verificado até o dia 50 para a pilha A e 55

para a pilha B, quando para ambos os tratamentos a temperatura do material em compostagem atinge níveis ambientais.

A temperatura média de todo o período da fase de compostagem (70 dias) foi de 36,9°C para a pilha A e de 34°C para a pilha B. Até o dia 42 da segunda fase experimental, a temperatura média da pilha A foi de 42,9 e a da pilha B de 37,5.

### 2.2.2 Características físico – químicas do material

A evolução das características físico-químicas dos materiais das pilhas A e B durante a segunda fase experimental está exposta na Tabela 17.

Tabela 17 – Teores de matéria seca (MS%), Nitrogênio total (Nt%), Carbono Orgânico (C. org%) e pH dos materiais em processo de compostagem para as pilhas A e B.

Dia	Pilha A				Pilha B			
	MS (%)	N (%)	C. ORG (%)	pH	MS (%)	N (%)	C. ORG (%)	pH
0	28,328	0,335	10,403	6,64	26,903	0,298	9,954	7,18
7	30,301	0,348	9,958	7,08	29,443	0,288	10,109	7,2
14	26,298	0,338	9,93	6,96	29,682	0,34	11,415	7,09
23	30,602	0,397	11,775	6,86	29,27	0,371	11,829	7,27
42	36,158	0,467	14,481	6,84	33,061	0,418	13,569	7,08

Verificou-se um aumento do teor de matéria seca maior na pilha equipada com sistema de aeração passiva (pilha A), fato este ocorrido em menor grau na pilha testada com aeração forçada (pilha B) durante o período de 42 dias. Isso pode ser justificado quando se compara os padrões de desenvolvimento de temperaturas termofílicas nos tratamentos A e B, sendo a temperatura média mantida na pilha A significativamente maior quando comparada à pilha B (42,9°C contra 37,5°C). A evolução do teor de matéria seca pode ser verificado também na Figura 25.

A relação Carbono Orgânico / Nitrogênio Total (relação C/N) durante a fase de compostagem do experimento 1 pode ser observada na Tabela 18 e na Figura 27. Verifica-se uma constância dos valores expostos, caracterizando a estabilização do material analisado, o que não está de acordo com as temperaturas verificadas no mesmo período.

Tabela 18 – Evolução da relação Carbono / Nitrogênio (C/N) durante a fase de Compostagem do Experimento 1.

<b>Dia</b>	<b>Pilha A</b>	<b>Pilha B</b>
0	31,1	33,4
7	28,6	35,1
14	29,4	33,6
23	29,7	31,9
42	31,0	32,5

Na Tabela 19 podem ser observadas as características finais do material obtido das Pilhas A e B, após 42 dias de processo de compostagem.

Tabela 19 – Características finais do material obtido das Pilhas A e B.

<b>Parâmetro</b>	<b>Pilha A</b>	<b>Pilha B</b>
MS (%)	36,16	33,06
N (%)	0,467	0,418
C. ORG. (%)	14,48	13,57
pH	6,84	7,08
Cu (%)	0,052	0,044
Fe (%)	0,521	0,434
P (%)	2,36	2,29
Mg (%)	0,979	0,960
Mn (%)	0,063	0,056
K (%)	0,276	0,327
Na (%)	0,045	0,042
Zn (%)	0,162	0,145
Ca (%)	3,65	3,27

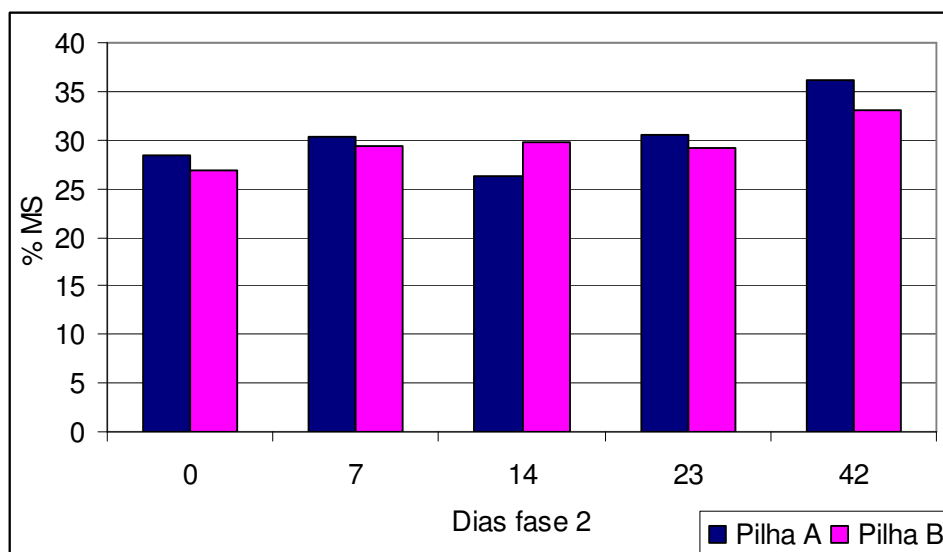


Figura 25 – Comportamento da matéria seca nas pilhas A e B durante a Fase de Compostagem de dejetos do Experimento 1.



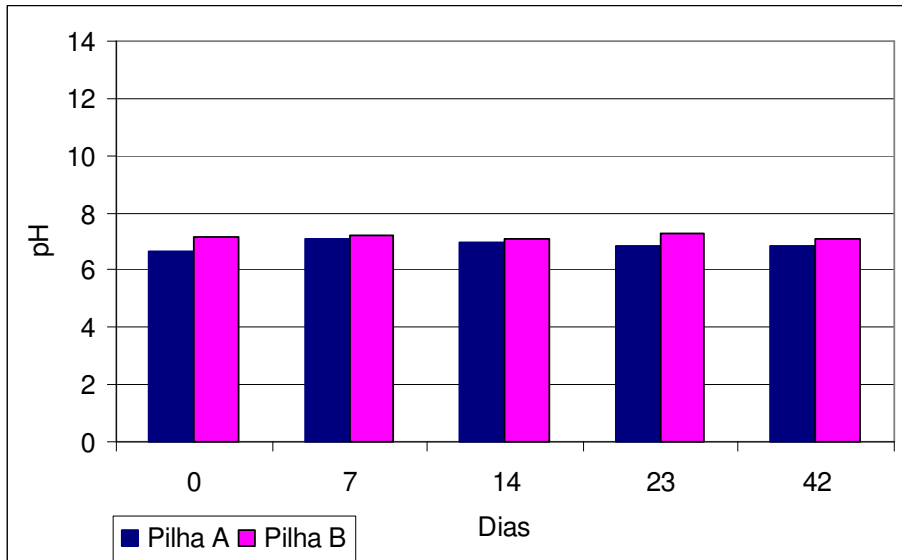


Figura 26 – Comportamento do índice pH durante a Fase de Compostagem de dejetos para as pilhas A e B do Experimento 1

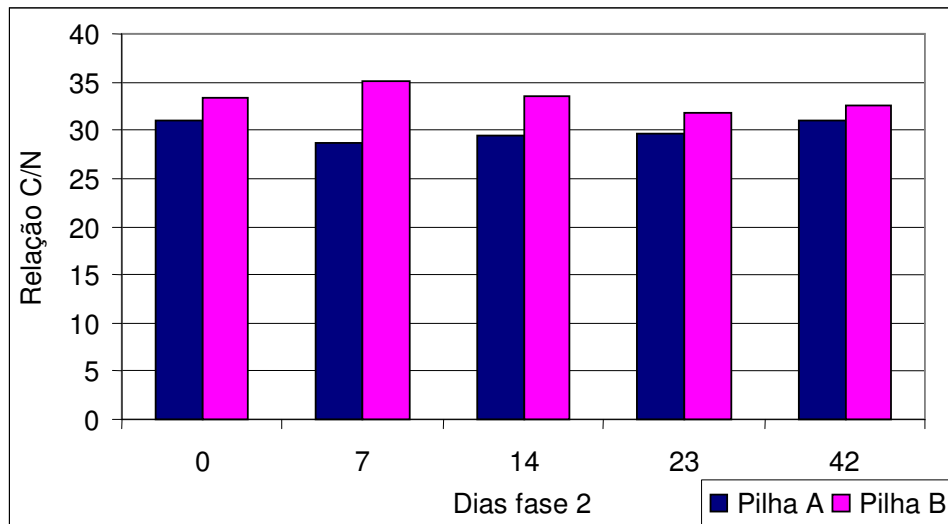


Figura 27 – Comportamento da relação C/N durante a Fase de Compostagem de dejetos do Experimento 1 para as pilhas A e B.

### 3 TESTE INTERMEDIÁRIO – AVALIAÇÃO DE UMIDADE IDEAL PARA COMPOSTAGEM DE DEJETO DE SUÍNO E MARAVALHA

#### 3.1 Temperatura

A temperatura média observada durante todo o período experimental das pilhas referentes aos tratamentos 1, 2 e 3 está apresentada na Figura 28.

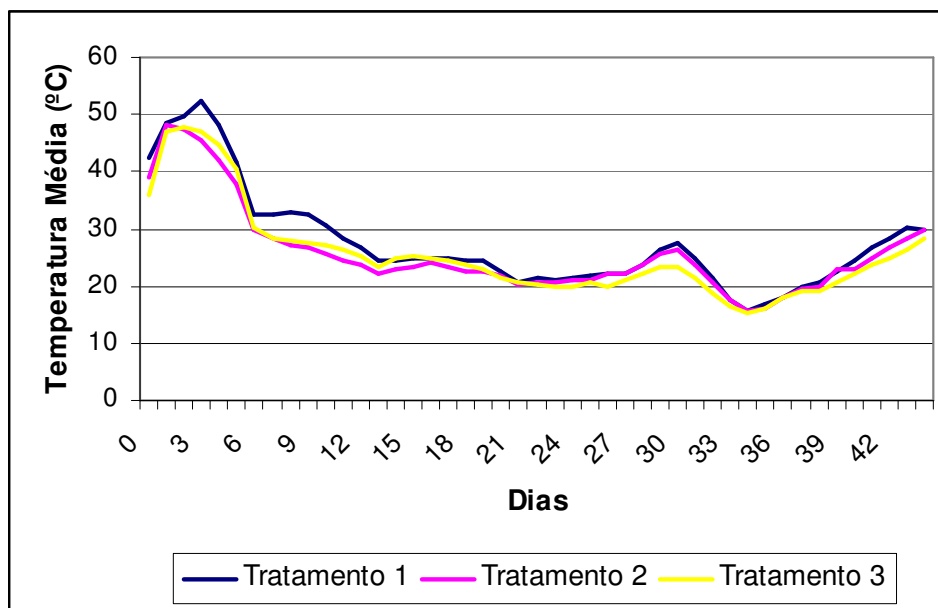


Figura 28 – Temperaturas médias observadas durante o teste intermediário nas pilhas de compostagem referentes aos tratamentos 1 (T1), 2 (T2) e 3 (T3).

Conforme pode ser observado na Figura 28, em todos os tratamentos ocorreu aumento da temperatura imediatamente após a 1ª aplicação de dejetos. Após isso, as temperaturas mantiveram-se em queda, não atingindo novamente níveis termofílicos após a 2ª aplicação de dejetos (dia 7).

Atribui-se a predominância de temperaturas baixas durante o período experimental ao dejetos utilizados serem previamente maturados.

#### 3.2 Relação Substrato / Dejetos

Conforme anteriormente descrito, a aplicação de dejetos realizada no experimento intermediário se deu em um período de 42 dias, sendo as incorporações realizadas semanalmente, de acordo com a umidade da cama pré-

determinada analiticamente (matéria seca rápida) e do dejetos, estimada pelo uso do densímetro.

A manutenção da umidade do sistema em 65, 70 e 75% (tratamentos 1, 2 e 3), resultou na inserção de dejetos exposta na Tabela 20. Na Tabela 21 estão expostas as relações Maravalha/Dejeto atingidas após cada uma das aplicações de dejetos.

Tabela 20 – Massas de dejetos incorporadas em cada uma das aplicações de dejetos realizadas no teste intermediário nos tratamentos 1 (manutenção de umidade em 65%), 2 (manutenção de umidade em 70%) e 3 (manutenção de umidade em 75%).

Tratamento	Maravalha (kg)	Dejeto (kg)						
		Dia 0	Dia 7	Dia 14	Dia 21	Dia 28	Dia 35	Dia 42
1	50	100,0	16,5	-	0,2	4,4	7,0	2,2
2	42,8	107,2	15,6	6,4	6,0	5,2	4,5	4,4
3	37,5	112,5	14,8	35,8	0,9	14,0	15,0	5,3

Tabela 21 – Relação maravalha / dejetos atingida em cada uma das aplicações de dejetos desenvolvida no teste intermediário para os tratamentos 1, 2 e 3.

Tratamento	Relação Maravalha / Dejeto						
	Dia 0	Dia 7	Dia 14	Dia 21	Dia 28	Dia 35	Dia 42
1	0,5	2,3	2,3	2,3	2,4	2,6	<b>2,6</b>
2	0,4	2,9	3,0	3,2	3,3	3,4	<b>3,5</b>
3	0,3	3,4	4,3	4,4	4,7	5,1	<b>5,3</b>

Conforme esperado, pode-se observar uma maior inserção de dejetos nas pilhas mantidas em umidades maiores (70 e 75%). Os valores de relação Maravalha / Dejetos relevantes no estudo como um todo são aqueles obtidos no dia 21 (após a 4ª aplicação), já que tanto no experimentos 1 como no 2 foram realizadas apenas 4 aplicações de dejetos.

### 3.3 Características Físico – Químicas do material

A evolução das características físico-químicas dos materiais no experimento intermediário está exposta na Tabela 22.

Tabela 22 – Teores de matéria seca (MS%), Nitrogênio total (Nt%), Carbono Orgânico (C. org%) e pH dos materiais durante o desenvolvimento do experimento intermediário (tratamentos 1, 2 e 3)

<b>MÉDIA TRATAMENTO 1</b>				
<b>Dia</b>	<b>MS (%)</b>	<b>Nt (%)</b>	<b>C-org (%)</b>	<b>pH</b>
0	34,24	0,243	15,42	8,435
7	37,64			7,555
14	35,23			6,675
21	36,16			6,43
28	35,96			6,305
35	36,13			6,17
42	35,39	0,267	14,42	6,26
<b>MÉDIA TRATAMENTO 2</b>				
<b>Dia</b>	<b>MS (%)</b>	<b>Nt (%)</b>	<b>C-org (%)</b>	<b>pH</b>
0	29,32	0,203	13,13	8,6
7	31,66			7,6
14	31,90			6,6
21	30,83			6,5
28	30,19			6,4
35	30,87			6,1
42	30,37	0,227	12,15	6,2
<b>MÉDIA TRATAMENTO 3</b>				
<b>Dia</b>	<b>MS (%)</b>	<b>Nt (%)</b>	<b>C-org (%)</b>	<b>pH</b>
0	26,96	0,221	10,95	8,6
7	29,17			7,6
14	28,92			6,7
21	28,34			6,6
28	28,34			6,6
35	27,30			6,3
42	26,33	0,239	9,84	6,5

Na Tabela 22 pode ser observada a manutenção dos níveis de matéria seca (%MS) durante todo o período experimental conforme previsto, uma vez que as pilhas foram corrigidas semanalmente para as umidades pré estabelecidas (65, 70 e 75%, para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente). A evolução deste parâmetro pode ser observado na Figura 31.

A Tabela 23 apresenta a variação da relação Carbono Orgânico / Nitrogênio Total no início e no final do período total do experimento intermediário (0 e 42<sup>o</sup> dia).

Tabela 23 – Variação da relação Carbono Orgânico / Nitrogênio Total (relação C/N) durante o experimento intermediário

Dia	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
0	63,5	64,7	49,5
42	54,1	53,6	41,2

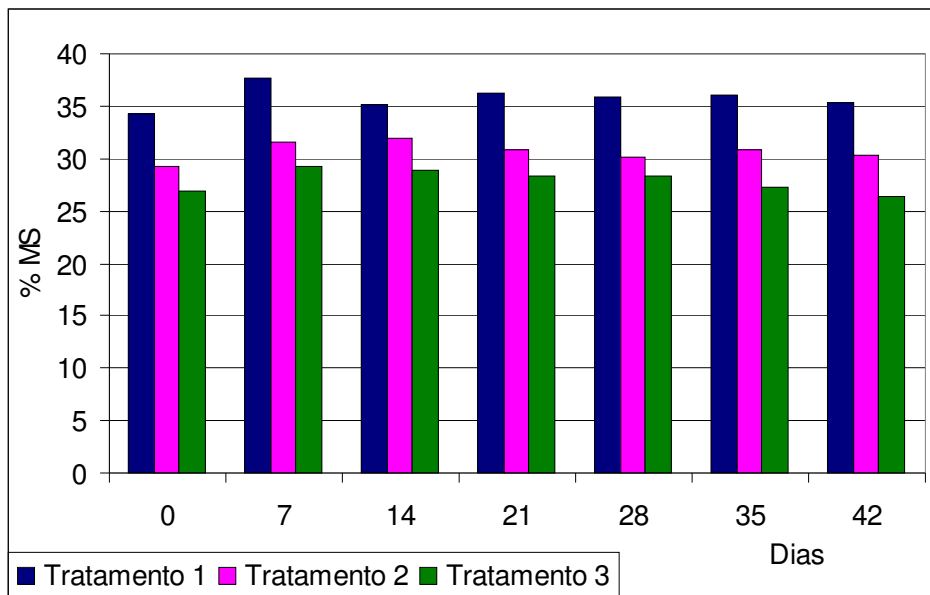


Figura 29 – Comportamento da matéria seca nos tratamentos 1, 2 e 3 durante experimento intermediário.

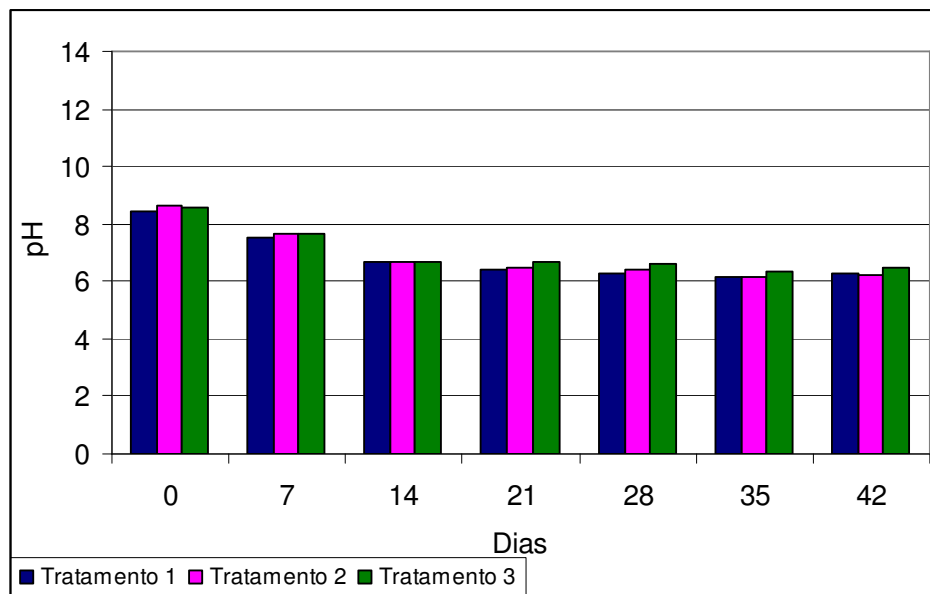


Figura 30 – Comportamento do índice pH durante o experimento intermediário para os tratamentos 1, 2 e 3.

Na Tabela 23, podem ser observadas as relações C/N obtidas após 42 dias de experimento. Nota-se ao final do período experimental, relações C/N menores para os tratamentos com maiores taxas de aplicação de dejetos. No tratamento 3 foi observada a maior redução da relação C/N ao final do período (dia 42). Atribuiu-se isso à menor relação maravalha / dejetos atingida neste tratamento (1 : 5,3 contra 1 : 2,6 no tratamento 1 e 1 : 3,5 no tratamento 2).

Na Figura 30 pode-se observar o índice pH médio do material contido nas pilhas dos tratamentos 1, 2 e 3, anteriormente às aplicações de dejetos realizadas semanalmente. Verifica-se uma redução do índice pH durante o desenvolvimento do experimento intermediário, fato este não verificado nos experimentos 1 e 2.

## **4 EXPERIMENTO 2**

### **4.1 Fase 1 – Fase de Impregnação de dejetos**

#### **4.1.1 Temperatura**

A Figura 31 apresenta o comportamento da temperatura observado na primeira fase do experimento 2, ou seja, no período onde foram realizadas as 4 aplicações de dejetos previstas e suas respectivas reaplicações de dejetos excedente. Os resultados referem-se à temperatura média diária obtida nos 3 horários de monitoramento diário (8, 12 e 16 horas). Na Figura 31 também estão expostas as temperaturas médias, máximas e mínimas do ambiente, no mesmo período.

No início do período experimental, ou seja, após a primeira aplicação de dejetos, constatou-se temperaturas maiores das pilhas de maravalha, sendo este comportamento modificado logo no segundo dia. Na Figura 31 podem ser observadas maiores temperaturas para o tratamento 1 (maravalha) somente nos

intervalos entre aplicação e revolvimento subsequente (entre os dias 0 a 3, 7 a 11 e 14 a 17), comportamento este alterado após a 4ª aplicação de dejetos (dia 17 até o término da fase de impregnação de dejetos).

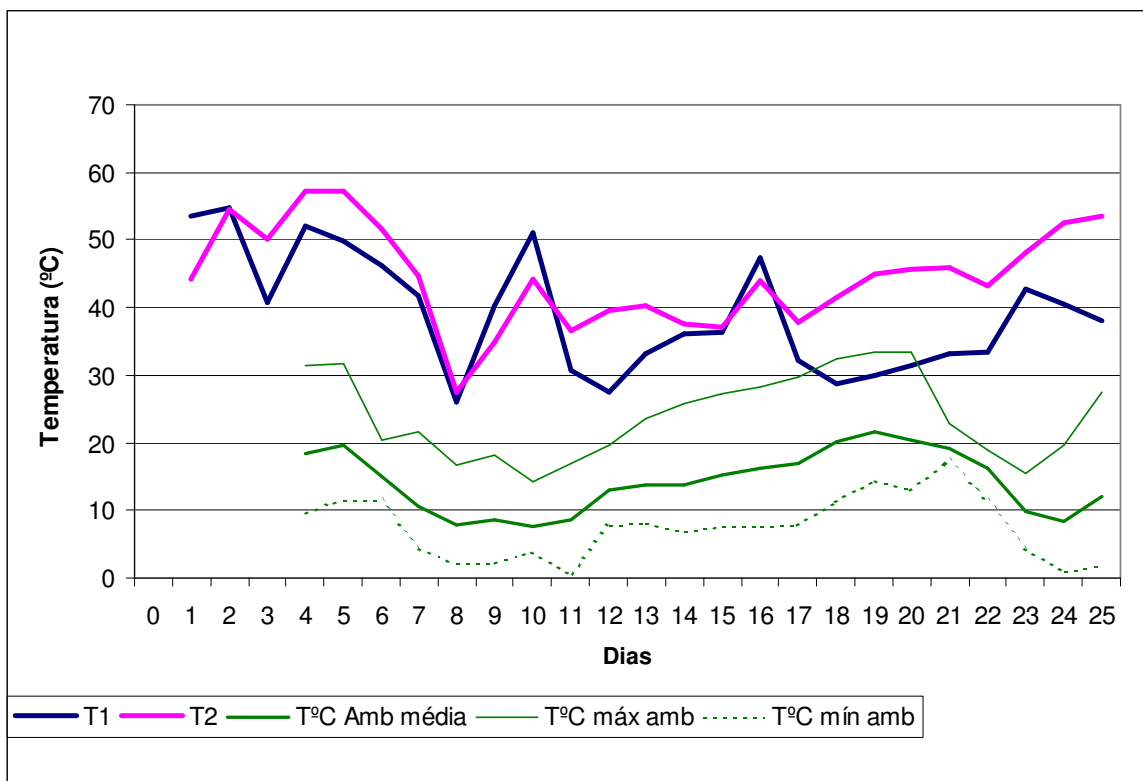


Figura 31 – Evolução das temperaturas médias observadas nas pilhas compostas de maravalha (tratamento 1) e serragem (tratamento 2). Média diária. Temperaturas médias, máximas e mínimas do ambiente durante a 1ª fase do experimento 2.

No que diz respeito a maior temperatura das pilhas de serragem, esta se deu predominantemente durante a fase de impregnação de dejetos, sendo encontradas maiores diferenças no final da primeira fase experimental, mais precisamente após o 3º revolvimento. Esta maior temperatura é mais significativa após o 3º revolvimento, período este em que as pilhas compostas de serragem e dejetos (tratamento 2) apresentam diferença de temperatura média superior a 10°C. Estes mesmos dados podem ser analisados na Tabela 24, onde estão

expostas as temperaturas médias dos dois tratamentos estudados nos intervalos entre todas as aplicações e revolvimentos realizados.

A análise dos dados de temperatura obtidos permite concluir que nas ocasiões dos revolvimentos, as pilhas formadas por serragem (T2) apresentavam-se com temperaturas em elevação, ao contrário do ocorrido com as pilhas compostas de maravalha (T1). Este comportamento foi diferente na ocasião das aplicações, quando ambos os tratamentos apresentavam temperaturas em queda. Apenas na 4ª aplicação isso não foi observado, estando as temperaturas de ambos os tratamentos em elevação.

Tabela 24 – Temperaturas médias observadas durante a 1ª, 2ª, 3ª e 4ª aplicações de dejetos (A1, A2, A3 e A4) e seus revolvimentos intermediários (R1, R2, R3 e R4) para os tratamentos 1 (maravalha) e 2 (serragem).

Período	Temperatura Tratamento 1 (°C)	Temperatura Tratamento 2 (°C)
A1 a R1	54,1	50,5
R1 a A2	45,1	50,8
A2 a R2	40,1	36,7
R2 a A3	30,4	37,4
A3 a R3	42,4	41,3
R3 a A4	29,9	42,9
A4 a R4	37,6	47,7

#### 4.1.2 Características físico – químicas do material

A evolução das características físico-químicas dos materiais na 1ª fase do experimento 2 está exposta na Tabela 25.

Tabela 25 – Teores de matéria seca (MS%), Nitrogênio total (Nt%), Carbono Orgânico (C. org%) e pH dos materiais do experimento 2 (tratamentos 1 e 2) anteriormente (A) e posteriormente (P) ao desenvolvimento das aplicações de dejetos.

Aplicação		TRATAMENTO 1			
		MS	N	C Org	pH
1	A	S			S
	P	31,34	0,187	13,79	8,28
2	A	34,83			8,99
	P	28,79			8,84
3	A	32,38			9,03
	P	29,61			8,88
4	A	32,02			7,40
	P	27,25	0,286	15,85	7,74
		TRATAMENTO 2			



Aplicação		MS	N	C Org	pH
1	A	-			S
	P	32,99	0,179	13,91	8,58
2	A	36,25			8,97
	P	29,05			8,79
3	A	33,28			7,51
	P	28,14			8,53
4	A	31,60			7,88
	P	26,43	0,191	12,22	8,87

A análise do teor de matéria seca apresentado na Tabela 25 foi efetuado anterior e posteriormente às aplicações de dejetos, como forma de avaliar a performance do sistema em perder umidade entre as aplicações e assim permitir o incremento de dejetos sucessivamente no decorrer da fase de impregnação. Este incremento de dejetos foi efetuado tomando-se por base a correção da umidade do sistema em 70%.

A análise dos dados obtidos dos teores de matéria seca do material após as aplicações de dejetos mostra que a correção das umidades foi realizada de forma satisfatória, uma vez que os valores de matéria seca apresentados não diferiram da meta proposta (30% de matéria seca ou 70% de umidade). Diferentemente do obtido nas demais aplicações, na 1ª aplicação, o teor médio de umidade das pilhas, tanto no tratamento 1 como no 2, ficou abaixo da meta de 70%. Em todas as outras aplicações, os teores de umidade ficaram acima desta meta (Tabela 25).

Os valores satisfatórios de correção das umidades estão relacionadas com a eficácia do método de determinação da matéria seca anteriormente às correções de umidade via aplicação de dejetos. Esta metodologia, conforme descrita no item 5.2 do Capítulo III, foi padronizada em laboratório, em experimento antecedente a este estudo como sendo um método eficiente e rápido.

Nota-se com os dados expostos na Tabela 25 uma perda média de umidade maior para a maravalha apenas na ocasião do intervalo entre a 1ª e a 2ª aplicação, situação esta invertida posteriormente. Este fato pode ser atribuído pela ocorrência de temperaturas maiores quando do revolvimento 1 (após primeira aplicação) para as pilhas de maravalha. O registro de temperaturas

médias superiores a 50°C em dias de revolvimento só ocorreu para o tratamento 1 (maravalha) e na ocasião do primeiro revolvimento das pilhas.

A relação Carbono Orgânico / Nitrogênio Total (relação C/N) do material no início (após a 1ª aplicação) e no final (após a 4ª aplicação) da 1ª fase experimental está exposta na Tabela 26.

A menor relação C/N atingida pelo tratamento 1 (maravalha), ao final do período de Impregnação de dejetos, se deve à maior inserção de dejetos realizada nas pilhas que compuseram este tratamento (Tabela 26).

Tabela 26 – Variação da relação Carbono Orgânico / Nitrogênio Total (relação C/N) após a 1ª aplicação (Dia 0) e após a 4ª aplicação de dejetos (dia 21) do experimento 2.

<b>Dia</b>	<b>Tratamento 1</b>	<b>Tratamento 2</b>
0	75,03	77,60
21	55,22	64,09

A evolução do teor de matéria seca anteriormente às aplicações de dejetos da 1ª fase experimental está exposta na Figura 32.

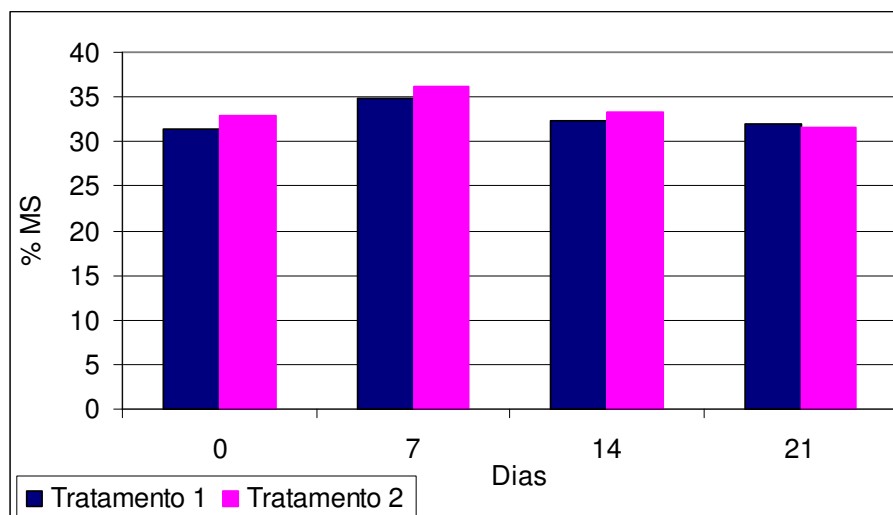


Figura 32 – Comportamento da matéria seca nos tratamentos 1 e 2 durante experimento 2.

A evolução do índice pH anteriormente às aplicações de dejetos está exposta na Figura 33.

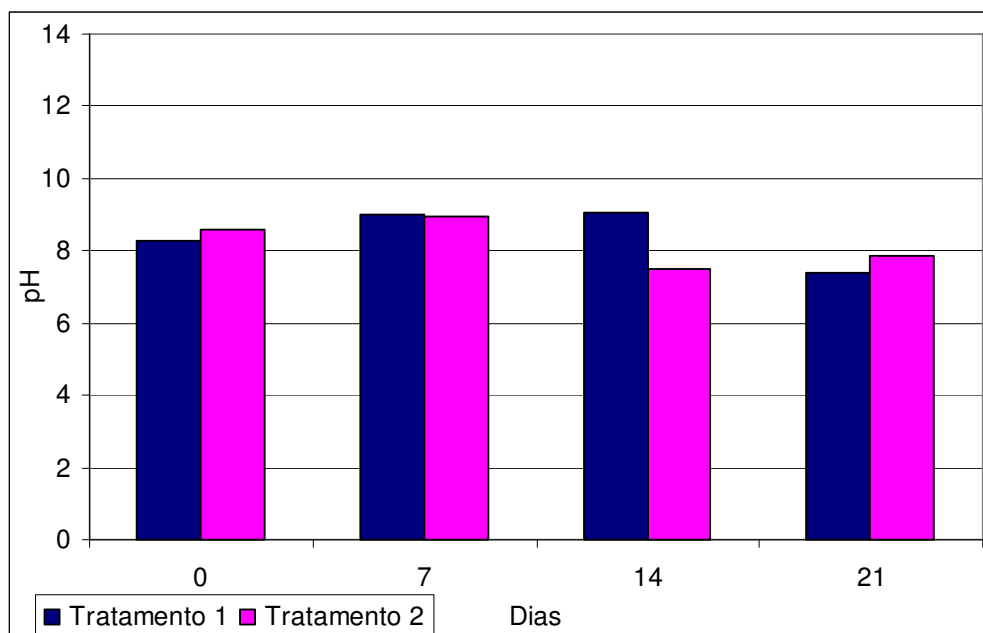


Figura 33 – Comportamento do índice pH durante o experimento 2 para os tratamento 1 e 2.

#### 4.1.3 Relação substrato / dejetos

Conforme descrito na metodologia exposta no item 4.2.1 do Capítulo III, as massas de dejetos inseridas ao sistema de compostagem realizado no experimento 2 esteve baseado na correção das umidades de cada pilha em 70%. As massas de dejetos foram calculadas de acordo com a perda de umidade ocorrida no sistema no intervalo entre as aplicações, que se deram de forma semanal, durante um período de 4 semanas.

Na Tabela 27 pode ser observada a quantificação das matérias-primas utilizadas durante a montagem do experimento 2.

Tabela 27 – Massas (kg) de matérias-primas utilizadas no decorrer do experimento 2, em função do cálculo de correção da umidade em 70% no decorrer das 4 aplicações de dejetos

Tratamento	Substrato (kg)	Dejeto			
		0	7	14	21
1	120	256,0	83,0	42,3	26,6
2	120	170,8	70,6	45,4	19,8

Na Tabela 28 podem ser observadas as relações substrato: dejetos atingidas após cada aplicação de dejetos.

Tabela 28 – Relação substrato / dejetos atingida após cada aplicação de dejetos para os tratamentos 1 e 2 do experimento 2.

Tratamento	Relação Substrato / Dejetos			
	0	7	14	21
1	2,13	2,83	3,18	3,40
2	1,42	2,01	2,39	2,55

Todo o dejetos escorrido após as aplicações de dejetos foi retornado na ocasião dos revolvimentos intermediários. Este retorno de dejetos foi efetivo em absorver o resíduo aplicado em excesso nas pilhas de compostagem. Isso pode ser comprovado pelo fato de que não houve, com exceção da 4ª aplicação, retorno de dejetos excedente após os revolvimentos.

Assim como exposto para o experimento 1, as relações substrato: dejetos atingidas no experimento 2 ficaram aquém do esperado, quando se faz um comparativo com os dados já expostos de sistemas de compostagem desenvolvidos (Mazé et al., 1999 e Balsari & Airoldi, 1998). No entanto, apesar das taxas aplicadas no experimento 2 estarem abaixo das referências citadas e do obtido no experimento 1, ocorreu no experimento 2 uma melhor performance do sistema, uma vez que não houve escorrimento demasiado de dejetos excedente e, aquele escorrido foi retornado e completamente absorvido na ocasião dos revolvimentos intermediários. Além disso, as temperaturas desenvolvidas nas pilhas de compostagem, evidenciam a ocorrência de atividade biológica intensa durante o experimento 2. Esta maior atividade biológica se deve em parte ao fator umidade, que esteve mais próximo ao ideal, quando comparado ao observado no experimento 1.

## 4.2 Fase 2 – Fase de Compostagem

### 4.2.1 Temperatura

Da mesma forma, o material das pilhas de compostagem foi monitorado quanto às temperaturas internas com uma frequência de 3 vezes ao dia. O comportamento das temperaturas após o período de impregnação de dejetos está demonstrado na Figura 34.

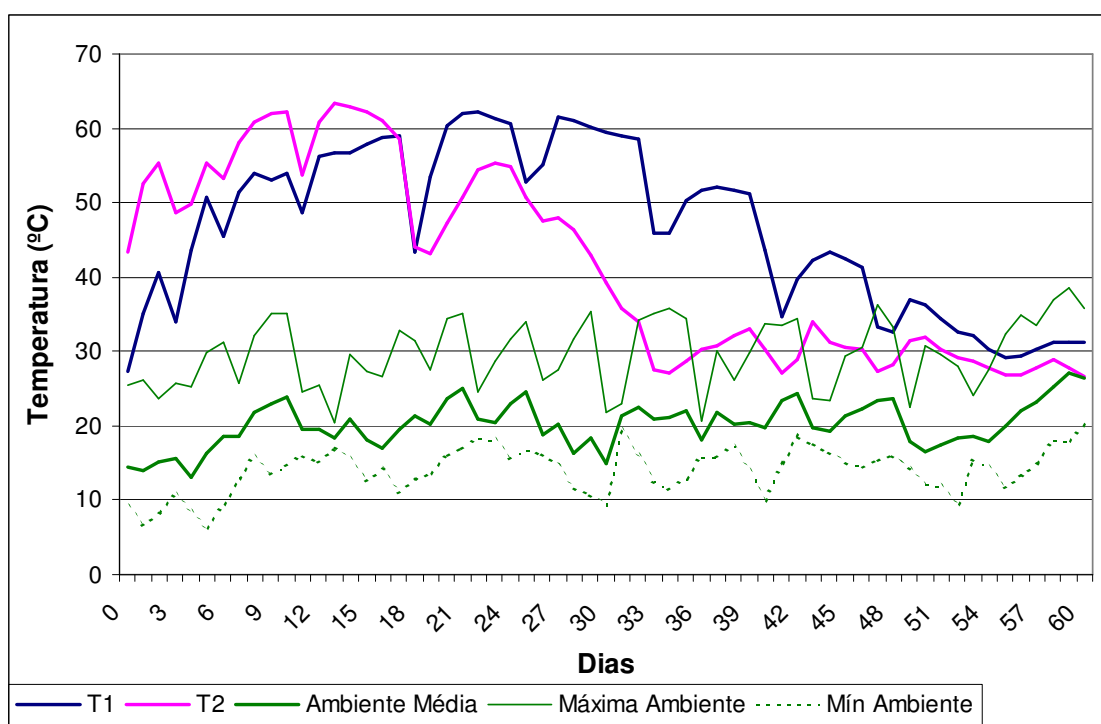


Figura 34 – Temperaturas internas das pilhas de compostagem compostas por maravalha e dejetos (tratamento 1) e serragem e dejetos (tratamento 2) durante a segunda fase experimental. Temperatura médias, máximas e mínimas do Ambiente experimental.

Na Figura 34 podem ser observadas temperaturas maiores para o tratamento 2 (serragem) até o dia 18 da 2ª fase experimental. A partir daí, o tratamento 1 (maravalha) passa a apresentar níveis maiores de temperatura. Este comportamento evidencia que o tratamento 2 (serragem) atinge o início da estabilização biológica mais cedo em comparação ao tratamento 1 (maravalha).

Para ambos os tratamentos, verifica-se a estabilização das temperaturas internas das pilhas ao final do período observado (dia 60 da 2ª fase experimental), indicando o término do período de compostagem ativa em todas as pilhas monitoradas. A comparação entre os tratamentos mostra que o tratamento 1 permanece com temperatura superior em relação ao tratamento 2, muito provavelmente devido ao menor volume das pilhas que compuseram o tratamento 2 (serragem). Neste período final, este menor volume pode ter sido decisivo em maiores perdas de calor pelas pilhas do tratamento 2.

#### 4.2.2 Características físico – químicas do material

A evolução das características físico-químicas dos materiais na 2ª fase do experimento 2 está exposta na Tabela 29.

Tabela 29 – Teores de matéria seca (MS%), Nitrogênio total (Nt%), Carbono Orgânico (C. org%) e pH dos materiais do experimento 2 (tratamentos 1 e 2) durante a fase de compostagem do experimento 2.

<b>TRATAMENTO 1</b>				
<b>Dia</b>	<b>MS (%)</b>	<b>N (%)</b>	<b>C. org (%)</b>	<b>pH</b>
Antes	27,25	0,286	15,85	7,74
33	34,69	0,353	16,02	7,28
60	34,18	0,429	17,23	7,1
<b>TRATAMENTO 2</b>				
<b>Dia</b>	<b>MS (%)</b>	<b>N (%)</b>	<b>C. org (%)</b>	<b>pH</b>
Antes	26,20	0,191	12,22	8,87
33	35,94	0,369	17,51	8,69
60	32,48	0,340	15,88	8,67

A Tabela 30 apresenta a variação da relação Carbono Orgânico / Nitrogênio durante o período de compostagem do experimento 2 (dias 0, 33 e 60 da 2ª fase experimental).

Tabela 30 – Variação da relação Carbono Orgânico / Nitrogênio Total (relação C/N) durante a fase de compostagem do experimento 2.

<b>Dia</b>	<b>Tratamento 1</b>	<b>Tratamento 2</b>
0	55,22	64,09
33	45,47	47,52
60	40,07	46,73

A Tabela 30 mostra uma menor relação C/N no tratamento 1 (maravalha) ao final do período analisado do experimento 2. Este fato pode ser primeiramente

justificado pela maior inserção de dejetos no tratamento 1 (maravalha). No entanto, nota-se que houve uma maior redução da relação C/N no tratamento 2 (serragem), possivelmente devido à maior disponibilidade de carbono para a degradação na serragem.

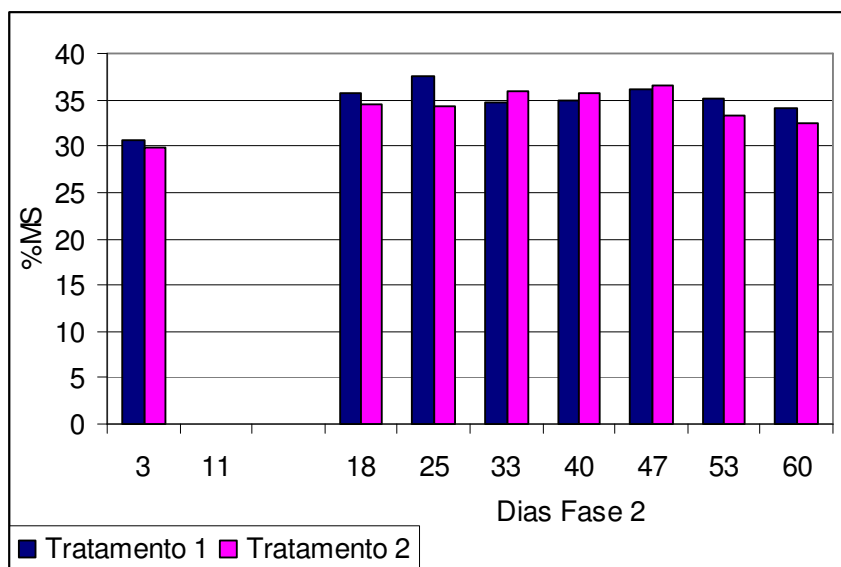


Figura 35 – Comportamento da matéria seca nos tratamentos 1 e 2 durante experimento 2.

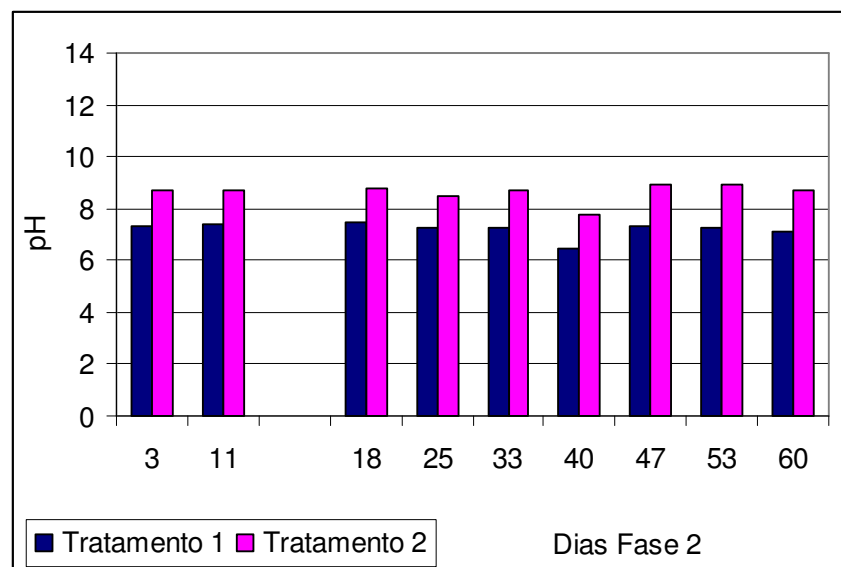


Figura 36 – Comportamento do índice pH durante o experimento 2 para os tratamentos 1 e 2 (fase de compostagem).

## **5 DISCUSSÃO FINAL DOS DADOS OBTIDOS DOS EXPERIMENTOS REALIZADOS**

A baixa quantidade de sólidos contida nos dejetos utilizados nos experimentos realizados levou a uma série de dificuldades, dentre elas a impossibilidade de correção da relação C/N da mistura substrato / dejetos, sem com isso saturar o material, tornando-o excessivamente úmido. Diversos estudos demonstram a importância de se iniciar o processo de compostagem com materiais adequados ao desenvolvimento microbiano, ao metabolismo celular e a consequente decomposição da matéria orgânica de maneira eficiente (curto espaço de tempo). No entanto, a correção das características da mistura que originou a relação substrato / dejetos atingida priorizou o parâmetro umidade no estabelecimento do manejo realizado durante a fase de impregnação de dejetos. O controle da umidade de forma prioritária acabou por originar uma mistura com alta relação C/N. O processo de compostagem de materiais com alta relação C/N pode significar em ineficiência do processo, porém, pode-se dizer que o processo de compostagem desenvolvido em ambos os experimentos se deu de forma satisfatória em termos de relação C/N inicial, uma vez que o material utilizado apresentava-se altamente resistente à degradação microbiana (alto teor de lignina). Isso ocorre porque em materiais com elevada quantidade de lignina, deve



ser considerada uma relação C/N mais elevada no início da compostagem, podendo-se dizer que, nestes casos, uma relação C/N inicial de 30 conduziria a que parte do nitrogênio não fosse utilizado por falta de carbono disponível (Brito, 2003)

O formato e o volume das pilhas/caixas de compostagem interferiram nos resultados obtidos nos experimentos analisados. Além disso, os parâmetros adotados para a quantificação do dejetos inserido nos sistemas desenvolvidos nos experimentos 1 e 2 diferiram entre si. No caso do experimento 1, a massa inserida foi arbitrária, levando-se em consideração dados de literatura. Diferentemente, no experimento 2, a quantidade inserida esteve baseada na correção da umidade das pilhas em 70%. Este fato deu origem a comportamentos diferenciados no experimento 1 e 2 uma vez que, conforme já relatado, as umidades mantidas nos dois sistemas analisados foi diferente (cerca de 80% no experimento 1 e 70% no experimento 2). Outro diferencial entre os dois experimentos desenvolvidos foi com relação ao esquema de revolvimento dos materiais. Na primeira fase do experimento 1, o material foi revolvido semanalmente e quinzenalmente nos tratamentos 1 e 2 respectivamente. Diferentemente do ocorrido no experimento 2, sendo neste desenvolvido um esquema de revolvimentos intercalados às aplicações (primeira fase experimental). A realização de revolvimentos entre as aplicações durante a fase de impregnação de dejetos propiciou o retorno de todo o dejetos aplicado em demasia e conseqüentemente escorrido das pilhas de compostagem. Durante todo o período experimental, as pilhas do experimento 2 sofreram revolvimentos.

No experimento 1, a manutenção da umidade do material em níveis próximos a 80% durante o período de Impregnação de dejetos acarretou escorrimento de dejetos excedente, resfriamento e saturação da massa, comportamentos estes não desejados em projetos de sistemas de compostagem. Em contrapartida, o desenvolvimento dos estudos posteriores foi bastante importante pois permitiu concluir que a umidade mantida durante o processo em 70% mostrou-se satisfatória tanto para a maravalha como para a serragem.

A utilização de dejetos fresco e revolvimentos intermediários às aplicações nos sistemas de compostagem permitem realizar maiores taxas de aplicação de dejetos. No experimento intermediário (utilização de dejetos maturado) atingiu-se

uma relação maravalha / dejetos de 1 : 3,2 após 4 aplicações semanais, sem revolvimentos intermediários. Esta relação substrato / dejetos no experimento 2 (utilização de dejetos frescos), após 4 aplicações de dejetos, realizando-se revolvimentos intermediários foi de 1 : 3,4.

Apesar da relação substrato / dejetos ter sido maior no experimento 1 (menor inclusão de dejetos na mesma massa fixa de substrato) considera-se melhor a performance do experimento 2 sendo o processo desenvolvido neste, melhor controlado, sem a geração de efluentes contaminados (dejetos excedentes).

## **CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Os resultados obtidos do experimento 1 permitem concluir que o método de aplicação de dejetos em camadas originou material com menor relação C/N, comparando-se com o tratamento 2 (aplicação de dejetos na betoneira). A comparação dos métodos passivo e forçado na 2ª fase do experimento 1 (fase de compostagem) não foi conclusiva, uma vez que os materiais obtidos dos dois tratamentos (pilha A e B) não apresentaram diferenças ao final do período (relação C/N).

Os resultados obtidos no experimento 2 permitem concluir que a umidade de 70% na compostagem de dejetos suíno na forma líquida (cerca de 4% de matéria seca) e maravalha e serragem, foi eficaz, uma vez que não acarretou escorrimento excessivo de dejetos excedente do sistema. O dejetos excedente escorrido foi retornado na ocasião dos revolvimentos intermediários. A correção da umidade em 70% dentro de 4 semanas de aplicação, permitiu um incremento maior de dejetos na maravalha em relação à serragem, uma vez que esta apresentava-se mais seca no início do período. Da mesma forma, ao final do período analisado (86 dias), o material dos tratamentos 1 (maravalha) apresentava relação Carbono / Orgânico menor em relação ao tratamento 2 (serragem).

A análise dos resultados obtidos nos três experimentos realizados permite constatar que a utilização de dejetos frescos de suínos, sem estocagem prévia é fundamental para o desenvolvimento de sistemas de compostagem de dejetos de suínos e para o desenvolvimento de estudos objetivando a obtenção de resultados aplicáveis a campo.

A utilização de dejetos frescos e revolvimentos intermediários às aplicações permitem realizar maiores taxas de aplicação de dejetos.

Recomenda-se o desenvolvimento futuro de experimentos que objetivem a avaliação de sistemas de compostagem em larga escala (volumes maiores), sendo previstos nestes estudos técnicas de avaliação do composto obtido, como forma de permitir a destinação correta deste insumo, sem riscos para o Meio Ambiente.

## CAPÍTULO VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

4 VAULX. **Compostage du lisier sur paille. Unité de traitement à la ferme**, 4 VAULX - Station Pilot Multi-Déchets Organiques, Coëtfinet, 22130-Corseul, France, Folder, 1999.

Anuário da Pecuária Brasileira, **ANUALPEC 2003**. Fnp – Consultoria e Comércio. Ed. Argos Comunicação. São Paulo, 2002. 400p.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater**. 19 ed., Washington D. C., 1995. Paginação Irregular.

BALSARI, P.; AIROLDI, G. **Composting of swine slurry: first results**. In: Actes de Colloque Rennes. 8<sup>th</sup> Internacional Conference on Management Strategies for Organic waste use in agriculture, Cemagref, France, 26-29 mai 1998, p.147-157.

BARRINGTON, S.; CHOINIÈRE, D.; TRIGUI, M.; KNIGHT, W. **Compost convective airflow under passive aeration**. Bioresource Technology, v. 86, p.259 - 266, 2003.

BARRINGTON, S.; CHOINIÈRE, D.; TRIGUI, M.; KNIGHT, W. **Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses**. Bioresource Technology, v. 83, p.189 -194, 2002.

BERNAL, M. P.; CEGARRA, J.; ROIG, A.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; PAREDES, C. **Composting of organic wastes as a strategy for producing high quality organic fertilizers**. In: Actes de Colloque Rennes. 8<sup>th</sup> Internacional Conference on Management Strategies for Organic waste use in agriculture, Cemagref, France, 26-29 mai 1998, p.171-183.

BIDDLESTONE, A. J.; GRAY, K. R.; THAYANITHY, K. **Composting and Reed Beds for aerobic treatment of livestock wastes**. In: Pollution in livestock production Systems, 1994, 345-360p.

BLEY Jr., C. **Tratamento e Valorização de dejetos de suínos**. Disponível em: [http://www.ecoltec.com.br/biotec\\_suinocultura.htm](http://www.ecoltec.com.br/biotec_suinocultura.htm). Acesso em: 10 abril 2003.

BRADY, N.C. **Natureza e propriedades dos solos**. 7<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro. Freitas Bastos, 1989. 878 p.

BRITO, M. **Manual de Compostagem**. ESAPL – Escola Superior Agrária de Ponte de Lima. Disponível em: <http://www.esapl.pt/web/compostagem/ESAPL%20Compostagem.htm>. Acesso em: 10 set 2003.

CHIUCHETTA, O.; OLIVEIRA, P. A. V. **Variação cambial e sua influência na utilização agrônômica dos dejetos suínos sólidos como fertilizante**. In: Anais do 1<sup>o</sup> Congresso Latino Americano de Suinocultura, outubro de 2002, Foz do Iguaçu/PR, p.293-294.

CORRÊA, E. K. **Avaliação de diferentes tipos de cama na criação de suínos em crescimento e terminação**. 1998. 105p.Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas-RS.

COSTA, M. B. B. **Adubação Orgânica: Nova síntese e novo caminho para a agricultura**. São Paulo: Ícone, 1985. 100p.

COSTA, R.H.R.da; MEDRI, W.; PERDOMO, C.C. **Otimização do sistema de tratamento: Decantador de palhetas e lagoas anaeróbias, facultativa e de aguapé de dejetos suínos**. In: Anais do Simposio Internazionale di ingegneria sanitaria ambientale, Revello-Villa Rufolo, 1997, p.1018-1025.

DARTORA, V. **Manejo de dejetos de suínos**. Boletim Informativo Pesquisa e Extensão – Bipers. EMBRAPA/EMATER-RS. Ano 7, n. 11. Março, 1998. 41p.

DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C.C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Boletim Informativo Pesquisa e Extensão – Bipers. EMBRAPA Suínos e Aves, n. 14, Agosto de 2002, 30p.

DORFFER, M. **Le compostagem accessible aux gros excédents**. Porc Magazine, n.314, p.129-130, 1998.

FATMA - **Coletânea da Legislação Ambiental aplicável no Estado de Santa Catarina**. Comp. e org. por Westphal, D. L.. Florianópolis/SC. FATMA, 2002.

FERNANDES, L.; ZHAN, W.; PATNI, N.K.; JUI, P.Y. **Temperature distribution and variation in passively aerated static compost piles**. Bioresource Technology. v. 48, 257-263p., 1994.

FLEMING, R. **TEAM project COM-47: MARVEL Composting Technology – A system to compost liquid swine manure** Disponível em: [http://www.ridgetownc.on.ca/research/RFleming/Reports/f\\_reportSept2002.pdf](http://www.ridgetownc.on.ca/research/RFleming/Reports/f_reportSept2002.pdf). Acesso em: agosto de 2003)

GERARD, C. **246 Stations de traitement de lisier fonctionnent**. Réussir Porcs, n 97., p.118-119, Septembre, 2003.

GOSMANN, H. A. **Estudos comparativos com bioesterqueiras e esterqueiras para armazenamento e valorização dos dejetos de suínos**. 1997. 126p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis,SC.

GOULART, R.M. **Processo de compostagem: Alternativa Complementar para tratamento de camas biológicas de dejetos suínos**. 1997. 127p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, SC.

GUARDIA, A. de; ROGEAU, D.; BEGNAUD, F.; QUINIO, S. **Characterization of green wastes' transformations occurring while composting**. In: Actes de Colloque Rennes. 8<sup>th</sup> International Conference on Management Strategies for Organic waste use in agriculture, Cemagref, France, mai, 1998, p.185-202.

HAUG, R.T. **Composting Engineering**. Lewis Publishers, Boca Raton. 1993.

HILL, J.D. **Deep Bed Swine finishing**. In: Anais do 5º Seminário Internacional de Suinocultura, Setembro de 2000, 83-88p.

HSU, J.H.; LO, S.L. **Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure**. Environment Pollution. v. 104, p.189-196, 1999.

JAKOBSEN, S.T. **Chemical reactions and air change during decomposition of organic matters**. Resources, Conservation and Recycling, v. 06, p.259-266, 1992.

JIMÉNEZ, E.I.; GARCIA, V.P. **Evaluation of city refuse compost maturity: A review**. Biol. Wastes. v. 27, p.115 – 142, 1989.

KERMARREC, C. **Bilan et transformations de l'azote en élevage intensif de porcs sur litière**. 1999. 272 p. Thèse de Docteur. l' ENSA de Rennes, France.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Ed. Agronômica Ceres Ltda. 1985. 492p.

\_\_\_\_\_ **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, 1998. 171p.

KLEMOLA, E.; MALKKI, S. **Handling of manure in deep-litter pig houses**. In: Actes de Colloque Rennes. 8<sup>th</sup> International Conference on Management Strategies for Organic waste use in agriculture, Cemagref, France, mai 1998, p.541-548.

KONZEN, E. A. **Manejo e utilização de dejetos: Solução para o produtor de suínos**. In: 5º Rodada Goiana de tecnologia em manejo de suínos, Goiânia/GO, 2001, p.27-38.

LAU, A. K.; LO, K. V.; LIAU, P. H.; YU, J. C. **Aeration Experiments for Swine Waste Composting**. Bioresource Technology, v. 41, p.145-152, 1992.



LIMA, G. J. M. M. de. **O papel do nutricionista no controle da poluição ambiental por dejetos suínos.** In: Curso de nutrição de suínos e aves, Concórdia/SC. EMBRAPA/CNPISA, 1996. p. 1-9.

LO, C. **Application and pratic of the pig-on-litter system in Hong Kong.** In: Workshop on Deep-Litter System for Pig Farming, Rosmalen, Netherlands, 1992, p. 11-25.

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

MAZÉ, J.; THÉOBALD, O.; POTOCKY, P. **Optimisation du compostage du lisier de porc avec des résidus ligno-cellulosiques: Incidence du recyclage de la matière carbonée en tête de procédé et premiers essais agronomiques des produits.** Journées Rech. Porcine en France, v. 31, p.91-98, 1999.

MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos.** 1997. 206p. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis/SC.

MERKEL, J. A. **Composting.** In: Managing livestock wastes. Avi Publishing Company, inc. 1981. p. 306-343.

MIRANDA, C. R. de; COLDEBELLA, A. **Aspectos produtivos e ambientais da Suinocultura desenvolvida na sub-bacia do Lajeado Fragosos – Concórdia – SC.** Boletim Embrapa Suínos e Aves, 2002. 22p.

NICKS, B., DESIRON, A., CANART, B. **Bilan environnemental et zootechnique de l'engraissement de quatre lots de porcs sur litière biomaîtrisée.** Journées de Rech. Porcine en France, v.27, p.337-342, 1995.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** EMBRAPA-CNPISA. Documentos 27, 1993. 188p.

OLIVEIRA, P. A. V.; NUNES, M. L. A.; ARRIADA, A. A. **Compostagem e Utilização de Cama na Suinocultura**. In: Anais do Simpósio sobre manejo e nutrição de aves e suínos e tecnologia da produção de rações, CBNA, Campinas/SP. Novembro de 2001. p. 391-406.

OLIVEIRA, P.A.V. de **Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral**. 1999. 183 p. Thèse de Docteur. Université de Rennes I, Ecole National Supérieure de Chimie de Rennes, France.

OLIVEIRA, P.A.V.; ROBIN, P.; KERMARREC, C.; SOULOUMIAC, D.; DOURMAD, J.Y. **Comparaison de l'évaporation d'eau en élevage de porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral**, Journées Rech. Porcine en France, v.30, p.355-361, 1998.

OLIVEIRA,, P.J.P. de. **Tratamento secundário e terciário de dejetos de suínos utilizando lagoas de alta taxa algal, aerada e maturação**. 2002. 139p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis.

PATNI, N.K.; KINSMAN, R.G. **Composting of swine manure slurry to control odour, remove water, and reduce pollution potential**. Disponível em: [http://res2.agr.ca/initiatives/manurenet/download/patni\\_compost\\_hog\\_manure.pdf](http://res2.agr.ca/initiatives/manurenet/download/patni_compost_hog_manure.pdf)  
Acesso em: março de 2003.

PERDOMO, C. C.; de LIMA, G. J. M. M.; NONES, K. **Produção de suínos e meio ambiente**. In: 9º Seminário Nacional de Desenvolvimento da Suinocultura, Gramado/RS, 25 a 27 de abril de 2001,. p. 8-24.

PEREIRA NETO, J. T. **Conceitos modernos de compostagem**. In: Técnicas de tratamento de RSU domiciliar urbano. Belo Horizonte, Curso...ABES, 1992, p.77-92.

\_\_\_\_\_ **Manual de compostagem processo de baixo custo**.  
Universidade Federal de Viçosa, 1996, 56p.

PEREIRA NETO, J. T.; STENTIFORD, E. I.; MARA, D. D. **Sistemas de compostagem por pilhas Estáticas aeradas: uma proposição ao tratamento do lixo urbano e lodos de esgotos.** In:13<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 18 a 23 de agosto de 1985, 13p.

RA, S.C.; LO, V.K.; SHIN, S.J.; OH, S.J.; HONG, J.B. **Biological nutrient removal with internal organic carbon source in piggery wastewater treatment.** Water Resource. v. 34, n.3, p.965-973, 2000.

ROBIN, P., OLIVEIRA, P.A.V., KERMARREC, C. **Productions d'ammoniac, de protoxyde d'azote et d'eau par différentes litières de procs durant la phase de croissance.** Journées Rech. Porcine en France, v.30, p.111-115, 1999.

RYNK, R. **On-Farm composting handbook.** Ithaca – NY: Northeast Regional Agricultural Engineering Service, 1992, 188p.

SANTOS FILHO, J. I. dos; SANTOS, N. A. dos; CANEVER, M. D.; SOUSA, I. S. F. de; VIEIRA, L. F. **O cluster suinícola do oeste de Santa Catarina.** In: A competitividade do Agronegócio e o desenvolvimento regional no Brasil. Estudos de clusters. Organizado por Paulo Roberto Haddad et al., Brasília: CNPq/Embrapa, 1999. p.125 - 180.

SARTAJ, M. FERNANDES, L. PATNI, N.K. **Performance of forced, passive and natural aeration methods for composting manure slurries.** Transactions of the ASAE, v.40, p. 457 - 463, 1997.

SEDIYAMA, M. A. N; GARCIA, N. C. P.; VIDIGAL, S. M.; de MATOS, A. T. **Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suíno.** Scientia Agrícola, Piracicaba/SP, v. 57, n. 01, p.185-189, Mar 2000.

SILVA, F.C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologias, 1999. 370p.

TAIGANIDES, E.P. **Composting of feedlot wastes.** In: Animal Wastes, Essex, England: Applied Science, 1977. p.241-252.

TIQUIA, S. M., TAM N. F. Y., HODGKISS I. J. **Effects of turning frequency on composting of spent pig-manure sawdust litter.** Bioresource Technology, v. 62, p.37-42, 1997.

TIQUIA, S.M.; TAM, N.F.Y. **Co-composting of spent pig litter and sludge with forced-aeration.** Bioresource Technology, v. 72, p.1 - 7, 2000.

\_\_\_\_\_ **Composting of spent pig litter in turned and forced aerated piles.** Environment Pollution, v. 99, p.329-337, 1998.

TIQUIA, S.M.; TAM, N.F.Y.; HODGKISS, I.J. **Changes in Chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents.** Agriculture, Ecosystems and Environment, v.67, p. 79-89, 1998.

\_\_\_\_\_ **Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents.** Biores. Technol., v.55, p.201-206, 1996.

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

VILLANI, F.T. Estudo e Avaliação de métodos químicos para determinar o grau de maturação dos compostos orgânicos do lixo urbano domiciliar. 1993. 157p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.