

**SANDRO EDÉSIO BÜTTENBENDER**

**AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PROVENIENTES DA COLETA  
SELETIVA REALIZADA NO MUNICÍPIO DE ANGELINA/SC**

**FLORIANÓPOLIS – SC**

**2004**

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

SANDRO EDÉSIO BÜTTENBENDER

**AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PROVENIENTES DA COLETA  
SELETIVA REALIZADA NO MUNICÍPIO DE ANGELINA/SC**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Sandra Sulamita Nahas Baasch, Dra.

Co – orientador: Prof. Paul Richard Momsen Miller, Dr

FLORIANÓPOLIS – SC

2004

**“AVALIAÇÃO DA COMPOSTAGEM DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS PROVENIENTES DA COLETA SELETIVA REALIZADA NO  
MUNICÍPIO DE ANGELINA/SC”**

SANDRO EDÉSIO BÜTTENBENDER

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 obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

na Área de Tecnologias de Saneamento Ambiental.

Aprovado por:

---

Prof. Paul Richard Momsen Miller, Dr.  
(Co - orientador)

---

Prof. Armando Borges de Castilhos Jr, Dr

---

Prof. Armando Borges de Castilhos Jr, Dr.  
(Coordenador)

---

Profª Sandra Sulamita Nahas Baasch, Dra  
(Orientadora)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL  
MARÇO/2004

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais  
Arlindo e Elisabete Büttendörfer e  
demais familiares; pelo incentivo desde  
os primeiros anos de estudo;

À minha esposa Maria Gorete Peixoto  
de Lima pelo apoio, compreensão e  
carinho dispensados durante esta  
caminhada;

A nossa filha, Gabriela que chegou  
para iluminar e alegrar nosso lar.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

- Professores Sandra Sulamita Nahas Baasch e Armando Borges de Castilhos Jr pela orientação ao longo da minha formação acadêmica;
- Professor Paul Richard Monsem Miller pela co - orientação e pelo incansável auxílio e companheirismo nos conhecimentos adquiridos sobre a técnica de compostagem termofílica em leiras estáticas;
- Profissionais da CIDASC, senhores Clovis de Bem, Alípio e Amilton, pelo apoio dispensado na realização das análises laboratoriais;
- Ao Químico Jairo Bez Fontana, funcionário do Laboratório de Química Analítica da UFSC, pelo apoio dispensado na realização das análises laboratoriais;
- Ao Prefeito Municipal de Angelina - SC, Ailton Andrade, que possibilitou a realização do estudo de caso;
- Aos funcionários do Centro de Triagem e Compostagem de Angelina pelo auxílio no levantamento de dados para elaboração do trabalho: Marco, Ademir, Negão, Renato e Petcha.

## SUMÁRIO

<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>x</b>
<b>Lista de Quadros .....</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de Símbolos.....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xvi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS.....	4
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	4
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1. NOÇÃO DE RESÍDUO.....	5
2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	6
2.3. CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	10
2.3.1. GERAÇÃO PER CAPTA.....	11
2.3.2. DENSIDADE APARENTE.....	11
2.3.3. UMIDADE.....	12
2.3.4. PODER CALORÍFICO.....	12
2.3.5. PARÂMETROS QUÍMICOS.....	12
2.3.6. COMPOSIÇÃO.....	13
2.3.7. COMPONENTES POTENCIALMENTE PERIGOSOS PRESENTES NOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	15
2.3.8. ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS E AMBIENTAIS RELACIONADOS AOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	17
2.4. GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	22
2.4.1. GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS À NÍVEL NACIONAL.....	24
2.4.2. SITUAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA - PROGRAMA LIXO NOSSO DE CADA DIA.....	25
2.4.3. GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE ANGELINA .....	26
2.5. COLETA SELETIVA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	27

2.5.1. DEFINIÇÃO.....	27
2.5.2. HISTÓRICO DA COLETA SELETIVA.....	27
2.5.3. MODELOS DE COLETA SELETIVA.....	28
2.5.3.1. Coleta seletiva porta – a – porta.....	29
2.5.3.2. Coleta por postos de entrega voluntária.....	30
2.5.3.3. Postos de recebimento e troca.....	31
2.5.3.4. Os Catadores.....	32
2.5.4. COLETA SELETIVA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL.....	33
2.6. RECICLAGEM DA MATÉRIA ORGÂNICA – COMPOSTAGEM.....	34
2.6.1. FUNDAMENTOS BÁSICOS DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	34
2.6.2. FATORES QUE AFETAM O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	35
2.6.2.1. Teor de umidade.....	35
2.6.2.2. Temperatura.....	36
2.6.2.3. Taxa de oxigenação (aeração).....	37
2.6.2.4. Concentração de nutrientes.....	38
2.6.2.5. Tamanho das partículas.....	39
2.6.2.6. pH.....	39
2.6.3. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE COMPOSTAGEM.....	40
2.6.3.1. Quanto à biologia.....	40
2.6.3.2. Quanto à temperatura.....	41
2.6.3.3. Quanto ao ambiente.....	41
2.6.3.4. Quanto ao processamento.....	41
2.6.4. MÉTODOS DE COMPOSTAGEM.....	42
2.6.4.1. Processo natural.....	42
2.6.4.1.1. Método Windrow.....	42
2.6.4.1.2. Sistema de compostagem termofílica em leiras estáticas.....	44
2.6.4.2. Método acelerado.....	47
2.6.4.2.1. Compostagem em pilhas estáticas aeradas.....	47
2.6.4.2.2. Compostagem em recintos fechados.....	47
2.6.4.2.3. Compostagem com adição de microorganismos catalisadores.....	48
2.6.5. MUDANÇAS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	48
2.6.6. HIGIENIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	51

2.6.7. ASPECTOS SANITÁRIOS DA APLICAÇÃO DO COMPOSTO.....	53
<b>3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>57</b>
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO UNIVERSO – MUNICÍPIO DE ANGELINA/SC.....	57
3.2. COLETA SELETIVA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE ANGELINA – SC.....	58
3.2.1. FONTES GERADORAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	59
3.2.1. FONTES GERADORAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	59
3.2.1.1. Distribuição dos domicílios no município de Angelina.....	59
3.2.1.1. Estabelecimentos comerciais, industriais e de saúde.....	60
3.2.2. SEGREGAÇÃO E ACONDICIONAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NAS DIFERENTES FONTES GERADORAS.....	61
3.2.3. COLETA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	63
3.2.4. ROTEIROS E PERIODICIDADE DA COLETA SELETIVA DE LIXO.....	63
3.3. CENTRO DE TRIAGEM E TRANSBORDO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	64
3.3.1. DESCARGA, TRIAGEM, ACONDICIONAMENTO E DESTINO FINAL DOS RESÍDUOS RECICLÁVEIS E REJEITOS NO CTCRSU.....	65
3.3.1.1. Resíduos recicláveis.....	65
3.3.1.2. Resíduos orgânicos.....	65
3.3.1.3. Rejeitos.....	66
3.4. TRATAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS – COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA EM LEIRAS ESTÁTICAS.....	67
3.4.1.. MATÉRIA PRIMA UTILIZADA NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA EM LEIRAS ESTÁTICAS.....	67
3.4.1.1. Matéria prima principal.....	67
3.4.1.2. Resíduos auxiliares estruturantes.....	68
3.4.1.3. Inoculante ou Composto maturado.....	68
3.4.1.4. Resíduos da manutenção de jardins e faixas de domínio.....	68
3.5. PROCESSO DE OPERAÇÃO E CONTROLE.....	69
3.5.1.MONTAGEM DAS LEIRAS ESTÁTICAS.....	69
3.5.2.HOMOGENEIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS.....	72
3.5.3. PENEIRAMENTO DO COMPOSTO ORGÂNICO .....	73
3.6. MONITORAMENTO DOS EXPERIMENTOS.....	74



3.6.1. PROCEDIMENTOS DE COLETA DAS AMOSTRAS.....	74
3.6.2. PROCEDIMENTOS PREPARO DAS AMOSTRAS.....	74
3.6.3. ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO QUÍMICAS.....	75
3.6.4. ANÁLISES DE METAIS PESADOS.....	76
3.6.5. ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS.....	76
3.6.5.1. Análises de Coliformes totais e fecais.....	76
3.6.6. DETERMINAÇÃO FÍSICA.....	77
3.6.6.1. Monitoramento da temperatura.....	77
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>78</b>
4.1. MONITORAMENTO DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA EM LEIRA ESTÁTICAS.....	78
4.2. AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS ENCAMINHADOS PARA O CENTRO MUNICIPAL DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM DE ANGELINA – SC.....	84
4.3. AVALIAÇÃO DO COMPOSTO MATURADO.....	86
4.3.1. ANÁLISE DE METAIS PESADOS.....	86
4.3.2. ANÁLISE DE COLIFORMES FECAIS.....	88
4.3.3. ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO – QUÍMICAS DO COMPOSTO ORGÂNICO.....	89
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>95</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>98</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>99</b>
<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>107</b>
8.1. ANEXO 1 – MENÇÃO HONROSA RECEBIDA PELA PREFEITURA MUNICIPAL DE ANGELINA NA 10ª EDIÇÃO DO TROFÉU FRITZ MILLER.....	107
8.2. ANEXO 2 – FOLDER DA COLETA SELETIVA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	109
8.3. ANEXO 3 – ROTEIROS DA COLETA SELETIVA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – ANGELINA/SC.....	111
8.4. ANEXO 4 – PLANTA DE LOCAÇÃO DO CENTRO DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE ANGELINA/SC.....	113

8.5. ANEXO 5 – RESULTADOS DAS ANÁLISES DOS PARÂMETROS QUÍMICOS E FÍSICO - QUÍMICOS .....	115
8.4. ANEXO 6 – RESULTADO DAS ANÁLISES DE METAIS PESADOS.....	136
8.5. ANEXO 7 – RESULTADO DAS ANÁLISES DE COLIFORMES FECAIS.....	138
8.6. ANEXO 8 – PLANILHA DE MONITORAMENTO DA TEMPERATURA.....	140

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Destinação dos resíduos sólidos nos municípios brasileiros (%).....	24
Figura 2: Antiga forma de disposição final dos resíduos sólidos gerados no município. .....	27
Figura 3 – Ponto de entrega voluntária de resíduos sólidos instalado na zona rural do município de Rancho Queimado – SC.....	31
Figura 4 – Usina de reciclagem /compostagem dos resíduos orgânicos gerados no município de Coimbra/MG.....	43
Figura 5 – Tratamento dos resíduos orgânicos provenientes da coleta seletiva nas grandes fontes geradoras do campus da UFSC.....	46
Figura 6 – Esquema simplificado do processo de compostagem.....	49
Figura 7 – Rejeitos encaminhados para aterro sanitário após a implantação do sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos.....	58
Figura 8 – Acondicionamento do lixo orgânico domiciliar.....	62
Figura 9 – Acondicionamento dos resíduos orgânicos.....	66
Figura 10 – Acondicionamento dos rejeitos.....	67
Figura 10 – Funcionários do DER fazendo a manutenção da rodovia SC 407 que liga o município de Angelina a BR 282.....	69
Figura 11 – Confecção da leira de compostagem L1 – Angelina.....	69
Figura 12 – Leira de compostagem L1, L2 e L3.....	70
Figura 13 – Leira de compostagem L14.....	70
Figura 14 – Vista geral do pátio de compostagem.....	72
Figura 15 – Maturação dos resíduos orgânicos.....	73
Figura 16 – Peneiramento do composto orgânico.....	73
Figura 17 – Regiões de monitoramento da temperatura nas leiras de compostagem.....	77
Figura 18 – Quantidade de resíduos sólidos orgânicos adicionados a leira de compostagem L1, durante o período de confecção.....	78
Figura 19 – Monitoramento da temperatura em cinco pontos distintos da leira de compostagem L1.....	79

Figura 20 – Quantidade de resíduos sólidos orgânicos adicionados a leira de compostagem L3, durante o período de confecção.....	80
Figura 21 – Monitoramento da temperatura em cinco pontos distintos da leira de compostagem L3. ....	80
Figura 22 – Quantidade de resíduos sólidos orgânicos adicionados à leira de compostagem L7, durante o período de confecção. ....	81
Figura 23 – Monitoramento da temperatura em cinco pontos distintos da leira de compostagem L7. ....	81
Figura 24 – Quantidade de resíduos sólidos orgânicos adicionados à leira de compostagem L2, durante o período de confecção. ....	83
Figura 25 – Monitoramento da temperatura em cinco pontos distintos da leira de compostagem L2. ....	83
Figura 26 – Resíduos orgânicos adicionados às leiras de compostagem entre maio de 2002 à maio de 2003.....	85

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Responsabilidade da destinação final dos resíduos.....	10
Quadro 2 – Média nacional de produção de resíduos domiciliares, por população.....	11
Quadro 3 – Características físico – químicas do lixo da cidade São Paulo.....	12
Quadro 4 – Exemplo básico de cada categoria dos resíduos sólidos urbanos.....	13
Quadro 5 – Composição do lixo domiciliar em alguns países e municípios brasileiros. .....	15
Quadro 6 - Resíduos domésticos potencialmente perigosos.....	16
Quadro 7 – Teores de metais pesados (mg Kg <sup>-1</sup> ) em diferentes resíduos orgânicos.....	17
Quadro 8 – Bactérias, protozoários, vírus, helmintos patogênicos humanos existentes nas fezes.....	18
Quadro 9 – Tempo de sobrevivência dos organismos patogênicos no solo e nas plantas.....	19
Quadro 10 – Enfermidades e forma de transmissão de doenças relacionadas a macro vetores presentes no lixo.....	20
Quadro 11 – Características de alguns roedores.....	21
Quadro 12 – Algumas doenças propagadas pelos roedores.....	21
Quadro 13 – Classificação da compostagem em função da temperatura.....	41
Quadro 14 – Quantidade diária e classificação dos resíduos orgânicos coletados.....	45
Quadro 15 – Quantidade e classificação dos resíduos orgânicos recolhidos na CEASA/São José no mês de agosto de 1997.....	46
Quadro 16 – Ponto de morte térmica de patógenos que causam doenças ao homem.....	52
Quadro 17 – Especificação dos fertilizantes orgânico – mineral e “composto”.....	54
Quadro 18 - Valores aceitáveis de metais pesados, em mg/kg, na base seca, para compostos de lixo em alguns países da Europa.....	56
Quadro 19 – Distribuição dos domicílios no município de Angelina.....	60
Quadro 20 – Separação dos resíduos sólidos urbanos.....	61
Quadro 21 – Proporção em peso da matéria prima utilizada na confecção das leiras de compostagem L1, L4, L8, L10, L14.....	71
Quadro 22 – Proporção em peso da matéria prima utilizada na montagem da leira de compostagem L2.....	71

Quadro 23 – Proporção em peso da matéria prima utilizada na montagem da leira de compostagem L3.....	71
Quadro 24 – Descrição da procedência da amostras coletadas do composto orgânico.....	75
Quadro 25 – Concentração de metais pesados presentes na leira de compostagem L1.....	86
Quadro 26 – Avaliação de alguns metais pesados leira de compostagem L2.....	87
Quadro 27 – Avaliação de alguns metais pesados leira de compostagem L3.....	87
Quadro 28 – Avaliação de alguns metais pesados leira de compostagem L6.....	87
Quadro 29 – Avaliação de alguns metais pesados leira de compostagem L8.....	87
Quadro 30 -. Análises bacteriológicas do processo.....	88
Quadro 31 – Determinações físico - químicas das amostras L1, .L2, .L3,. 01, .02, 03 e 04.....	89
Quadro 32 – Determinações físico - químicas das amostras 05 a 11.....	90
Quadro 33 – Determinações físico - químicas das amostras 12 a 18.....	90
Quadro 34 – Determinações físico - químicas das amostras 19 e 20.....	91
Quadro 35 – Parâmetros encontrados a partir da análise de compostagem dos resíduos sólidos urbanos.....	91
Quadro 36 – Análises do composto de lixo em algumas cidades brasileiras.....	92

## **LISTA DE SÍMBOLOS**

AMGF – Associação dos Municípios da Grande Florianópolis  
CTCRSU – Centro de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos  
EA – Educação Ambiental  
FATMA – Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
LI – Licença de Instalação  
LAP – Licença Prévia  
LAO – Licença de Operação  
GIRSU – Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos  
PSF – Plano de Saúde Familiar  
RU – Restaurante Universitário  
RSS – Resíduos dos Serviços de Saúde  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
UFV – Universidade Federal de Viçosa  
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina  
UFMG – Universidade Federal de Santa Catarina

## RESUMO

Esta pesquisa aborda a questão da coleta seletiva, investigando os aspectos relacionados a aplicação da técnica de compostagem termofílica em leiras estáticas no tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. O trabalho foi realizado no município de Angelina/SC, o qual opera um sistema de coleta seletiva dos resíduos sólidos urbanos. Foram monitoradas 16 leiras de compostagem, em escala real, a fim de avaliar o comportamento físico da temperatura nas leiras de compostagem, o grau de estabilização e a presença de metais pesados e microorganismos patogênicos no composto orgânico. Foram realizadas análises laboratoriais dos seguintes parâmetros: pH, matéria orgânica, umidade, relação C/N, macro nutrientes, coliformes fecais, Cu, Pb e Cd. Conclui – se que o composto orgânico produzido apresentou – se como um material tipo “húmus”, inodoro, de fácil armazenamento, estabilizado e com granulometria uniforme. A configuração da leira de compostagem associada ao sistema de aeração, permitiram a permanência de temperaturas termofílicas durante o período aproximado de 120 dias. O elevado período de exposição dos patógenos a altas temperaturas, propiciou a obtenção de um composto orgânico higienizado. A ausência de metais no composto orgânico passa por um processo de coleta seletiva, onde ocorra a efetiva segregação dos materiais nas diferentes fontes geradoras de resíduos sólidos, além da triagem manual da fração orgânica, ao chegarem no centro de triagem e compostagem, para retirada de quaisquer resíduo capaz de comprometer a qualidade do produto final. O sistema de compostagem em leiras estáticas caracterizou – se como um processo artesanal, de baixo custo de implantação e operação, mão - de - obra reduzida, e sanitariamente adequado. A valorização da fração orgânica proporcionou, entre os benefícios, a geração de empregos diretos e indiretos, a adequação a legislação ambiental e a redução significativa dos custos da disposição final dos resíduos sólidos urbanos no aterro sanitário.

Palavras – chave: Resíduos sólidos urbanos, Coleta seletiva, Compostagem, Leiras estáticas.



## ABSTRACT

The present investigation seeks to approach the selective collection of garbage issue, through investigation of the aspects related to the application of the thermophilic composting technique in static piles for treatment of the organic fraction of urban solid wastes. The research was carried out in Angelina/SC, which operates the selective collection system of urban solid wastes. Sixteen composting piles were monitored, in real scale, in the effort to assess the physical behavior of temperature in the composting piles, the degree of settlement and also the presence of heavy metals as well as pathogenic microorganisms in the organic material. Laboratorial analyses were made on the following aspects: pH, organic material, humidity, C/N relation, macro nutrients, pathogen indicator, Pb, Cu and Cd. The conclusion was that the organic compost produced was formed by humus like material, with no smell, of easy storage, settled and of uniform grain size. The configuration of the composting leira associated to the air system, permitted the permanence of termophilic temperatures over the period of approximately 120 days. The elevated period of exposal of pathogens to high temperatures resulted in the possibility of obtaining a hygienized material. For the absence of heavy metals in the organic compost, the process of selective collection must be an effective segregation of materials in different sources that generate solid wastes, besides the manual triage of the organic fraction as they arrive at the composting center for the removal of any residue capable of compromising the quality of the end product. The system of static leiras in composting is characterized as a artesian process, of low implantation and operation cost, of reduced hand labor, and reasonable sanitarily. The valorization of the organic fraction permitted, between the benefits, the generation of direct and indirect jobs, the adjustment to the environment legislation and the significant reduction on the costs of the final disposal of urban solid wastes in landfills.

Key words: urban solid wastes, selective collection, composting, static piles.

## 1. INTRODUÇÃO

Da atividade humana, seja ela de qualquer natureza, resultam sempre materiais diversos. O constante crescimento das populações urbanas, a forte industrialização, a melhoria no poder aquisitivo dos povos de uma forma geral, vêm instrumentalizando a acelerada geração de resíduos sólidos (BIDONE & POVINELLI, 1999).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), no país são produzidos diariamente cerca de 126 mil toneladas de resíduos sólidos, sendo que apenas 47,1% são destinados para aterros sanitários, 22,3 % a aterros controlados e apenas 30,5 % a lixões. Ou seja, mais de 69 % de todo o lixo coletado no Brasil estaria tendo um destino final adequado, em aterros sanitários e/ou controlados.

Ao analisar a composição dos resíduos sólidos urbanos percebe – se que a fração orgânica corresponde, em média, a aproximadamente 50% do total do lixo gerado (BIDONE & POVINELLI, 1999). O manuseio inadequado da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos é responsável pela atração de vetores (moscas, ratos, urubus, etc), geração de maus odores e a geração de líquidos percolados (chorume), colocando em risco a saúde da população.

A situação do estado de Santa Catarina tem melhorado sensivelmente, principalmente no que se refere à disposição final em aterros sanitários, em virtude da implantação do Programa Lixo Nosso de Cada Dia, desenvolvido em parceria entre o Ministério Público Estadual, Polícia Ambiental e a Fundação do Meio Ambiente – FATMA. Entre as ações norteadoras do programa destacam – se a recuperação ambiental dos lixões a céu aberto, destinação dos resíduos sólidos em aterros sanitários licenciados pela FATMA e a implantação de programas educativos e de coleta seletiva de resíduos sólidos. Vale ressaltar que o não cumprimento das exigências do Ministério Público incide em ações penais, civis e administrativas contra o Prefeito Municipal.

As administrações municipais precisam e devem funcionar o mais rapidamente possível como agentes incentivadores e/ou implementadores da reciclagem enquanto atividade econômica, ou seja, optando pela segregação de materiais recicláveis que já apresentam alta demanda de mercado obtendo, assim, variados benefícios, entre eles a diminuição da quantidade de lixo a ser aterrada, novos negócios, geração de empregos diretos e indiretos, economia de energia, diminuição de impactos ambientais e preservação de recursos naturais. (CEMPRE 2000).

O Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos consiste em um conjunto de ações educativas, normativas, operacionais, financeiras e de planejamento, baseados em critérios sanitários, ambientais e econômicos visando a segregação, coleta, triagem, tratamento e destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos a nível municipal (CEMPRE, 1995).

A crescente preocupação com problemas de poluição ao meio ambiente, associada à escassez de recursos naturais para confecção de novos materiais, tem levado o homem a pensar mais seriamente sobre o aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos, os quais contribuem significativamente para a degradação ambiental.

Diante dessa realidade a implantação de sistemas municipais de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos e a compostagem da fração orgânica, vem sendo apontados como parte integrante do gerenciamento dos resíduos urbanos, principalmente pelos benefícios ambientais, sociais e econômicos relacionados a atividade.

A compostagem é um dos mais antigos processos de tratamento e constitui – se em um dos mais eficientes processos de reciclagem de resíduos orgânicos com vistas a utilização na agricultura. Este processo tem sido indicado por vários pesquisadores como uma das melhores técnicas para tratar a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, principalmente nos países de terceiro mundo, devido à possibilidade de ser implantada sob condições de baixo custo.

Entre os benefícios da implantação de sistemas de triagem e compostagem, pode – se citar:

- i. Controle da poluição ambiental;
- ii. Minimiza os problemas de saúde pública;
- iii. Economia de energia através da valorização de produtos;
- iv. Contribui para a proteção e preservação dos recursos naturais;
- v. Geração de empregos diretos e indiretos.

Considerando essas observações o Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC vem desenvolvendo pesquisas e aplicando a técnica no tratamento de diferentes resíduos orgânicos. A técnica de compostagem termofílica em leiras estáticas caracteriza – se como um sistema baixo custo de implantação e operação, não requer revolvimentos periódicos, adição de microorganismos catalisadoras ou aeração forçada, além de ser eficaz na eliminação de microorganismos potencialmente patogênicos.

O presente trabalho de pesquisa visa avaliar a técnica de compostagem termofílica em leiras estática no tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos provenientes da coleta seletiva realizada no município de Angelina/SC.

A implantação do sistema de compostagem requereu a Licença Ambiental de Operação, expedida pela Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina – FATMA/SC. Para a operação do sistema de compostagem termofílica em leiras estáticas foram necessárias algumas adaptações, principalmente ao controle mais efetivo da geração de líquidos percolados das leiras de compostagem.

O desenvolvimento dos trabalhos contou com a participação das seguintes entidades públicas e privadas: Prefeitura Municipal de Angelina/SC, Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola do Estado de Santa Catarina, Laboratório Integrado do Meio Ambiente da Universidade Federal de Santa Catarina e do Laboratório de Química Analítica da Universidade Federal de Santa Catarina. Com o apoio dessas entidades e do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental o estudo de caso foi realizado no município de Angelina/SC.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GERAL**

- Avaliar a viabilidade técnica e operacional da técnica de compostagem termofílica em leiras estáticas no tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos provenientes de sistemas de coleta seletiva de lixo.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i. Monitorar a temperatura durante a fase termofílica do processo;
- ii. Avaliar a concentração de metais pesados presente no composto maturado;
- iii. Avaliar a concentração de coliformes totais e coliformes fecais presentes no composto maturado;
- iv. Avaliar o grau de estabilização do composto maturado;
- v. Avaliar os parâmetros físico – químicos do composto maturado;

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. NOÇÃO DE RESÍDUO

A palavra lixo origina – se do latim *lix*, que significa cinzas ou lixívia. Atualmente, a palavra lixo é traduzida nos países de língua espanhola, como *basura*, e *refuse, garbage, e solid waste* nos países de língua inglesa (BIDONE & POVINELLI, 1999).

Segundo a NBR – 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação, de 1997a, da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) a denominação Resíduo Sólido; *residuu* do latim, significa o que sobra de determinadas substâncias, e sólido é incorporado para diferencia – lo de líquidos e gases.

De acordo com a referida norma, os Resíduos sólidos, caracterizam – se como: “Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água que exijam para isso soluções técnicas economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”.

A agenda 21, capítulo 21, item 21.3, define que os resíduos sólidos urbanos compreendem todos os restos domésticos e resíduos não perigosos, tais como os resíduos comerciais e institucionais, os resíduos sólidos da rua e os entulhos de construção”.

## **2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) refere-se aos resíduos em quatro (4) normas:

- NBR 10004 - Classificação
- NBR 10005 - Procedimento – Lixiviação
- NBR 10006 - Procedimento – Solubilização
- NBR 10007 - Procedimento – Amostragem

Quanto à periculosidade dos resíduos sólidos são agrupados da seguinte forma (ABNT, 1987a,b,c,d):

### **• RESÍDUOS CLASSE I - PERIGOSOS**

“Em função das características de toxicidade, inflamabilidade, corrosividade e patogenicidade os resíduos sólidos urbanos podem apresentar”:

- Risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças, e/ou;
- Riscos ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada”.

### **• RESÍDUOS CLASSE II – NÃO INERTES**

São os resíduos que não se encontram na classe I (perigosos) ou na classe III (inertes), no termo desta norma. Os resíduos da classe II podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

- **RESÍDUOS CLASSE III – INERTES**

São os resíduos sólidos que submetidos ao teste de solubilização, da norma NBR 10006, não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água.

Como instrumentos auxiliares na classificação dos resíduos, podem ser consultadas as seguintes listagens integrantes da NBR – 10.004, na qual constam:

- Listagem 1 – resíduos sólidos de fontes não específicas.
- Listagem 2 – resíduos sólidos de fontes específicas.
- Listagem 3 – constituintes perigosos (base para a relação de resíduos das listagens 1 e 2).
- Listagem 4 – substâncias que conferem periculosidade aos resíduos.
- Listagem 5 – substâncias agudamente tóxicas.
- Listagem 6 – substâncias tóxicas
- Listagem 9 – concentrações máximas de poluentes na massa bruta de resíduos que são utilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente da França, para classificação dos resíduos.
- Listagem 10 – concentração máxima para caracterizar os resíduos como perigosos.

Segundo CEMPRE (2002), os resíduos sólidos urbanos são classificados da seguinte forma:

**Domiciliares:** provenientes das residências, constituídos por restos de alimentos, ciscos, diferentes tipos de material de embalagem, folhagem, medicamentos, pilhas, material de varredura, papel higiênico, etc.;



**Comerciais:** provenientes dos estabelecimentos comerciais em geral, como escritórios, hotéis, lojas, restaurantes, supermercados. São constituídos principalmente por embalagens, papel, papelão, plásticos, restos de alimentos, papel higiênico, etc.;

**Públicos:** resultantes da varrição e capina das vias públicas, limpeza de praias, de galerias, de córregos, e de terrenos, restos de poda de árvores, de mercados, de feiras etc.;

**Serviços de saúde:** Constituem os resíduos sépticos, que potencialmente podem conter germes patogênicos. São produzidos em serviços de saúde, tais como: hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde, etc.; São agulhas, seringas, gazes, bandagens, algodões, órgãos e tecidos removidos, meios de cultura, e animais usados em testes, sangue coagulado, luvas descartáveis, remédios com prazo vencido, instrumentos de resina sintética, etc. A Resolução nº 283 de 2001 do CONAMA, Dispõe sobre o tratamento e a disposição final de resíduos de serviços de saúde.

**Aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários:** Constituem os resíduos sépticos que podem conter germes patogênicos, trazidos aos aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários. Basicamente, originam – se de material de higiene, asseio pessoal e restos de alimentação que podem veicular doenças provenientes de outras cidades, estados e países.

Também neste caso, os resíduos assépticos destes locais, desde que coletados separadamente, e não entrem em contato direto com os resíduos sépticos anteriormente descritos, são semelhantes aos resíduos domiciliares.

**Industriais:** aquele originado nas atividades dos diversos ramos da indústria, tais como: metalurgia, química, petroquímica, papelaria, alimentícia, etc.

O lixo industrial é bastante variado, podendo ser representado por cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos e ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros, cerâmicas, etc. Nesta categoria, inclui – se a grande maioria do lixo considerado tóxico (Classe I).

**Agrícola:** São resíduos das atividades agrícolas e da pecuária. Incluem embalagens de fertilizantes e de defensivos agrícolas, rações, restos de colheita, etc.

Em várias regiões do mundo, estes resíduos já constituem uma preocupação crescente, destacando – se as enormes quantidades de esterco animal geradas nas fazendas de pecuária intensiva.

As embalagens de agrotóxicos, geralmente altamente tóxicas, têm sido alvo de legislação específica quanto aos cuidados na sua destinação final. A tendência mundial, neste particular, é para a co – responsabilização da indústria fabricante, entrepostos de venda e consumidor nesta tarefa. No Brasil, a Lei Federal 9.974 de 06 de junho de 2000, dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. No estado de Santa Catarina a Lei nº 11.069, de 29 de dezembro de 1998, dispõe sobre o Controle da Produção, Comércio, Uso, Consumo, Transporte e Armazenamento de Agrotóxicos, seus componentes e afins no território do Estado de Santa Catarina e adota outras providências.

**Entulho:** Resíduo da construção civil, composto por materiais de demolições, restos de obras, solos de escavações diversas, etc. O entulho é geralmente um material inerte, passível de reaproveitamento, porém, geralmente contém uma vasta gama de materiais que podem lhe conferir toxicidade, com destaque para os restos de tintas, e de solventes, peças de amianto, e metais diversos, cujos componentes podem ser remobilizados caso o material não seja disposto adequadamente.

O gerenciamento dos resíduos sólidos, em função do tipo de resíduo gerado pela atividade, está descrito no quadro 1:

**Quadro 1:** Responsabilidade da destinação final dos resíduos sólidos

<b>FONTE GERADORA</b>	<b>RESPONSÁVEL</b>
Domiciliar	Prefeitura
Comercial	Prefeitura <sup>(XX)</sup>
Público	Prefeitura
Serviços de saúde	Gerador (hospitais, etc)
Industrial	Gerador (indústrias)
Portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários	Gerador ( portos, aeroportos, rodoviárias, etc)
Agrícola	Gerador (agricultor)
Entulho	<b>Gerador</b>

Fonte: CEMPRE (2002).

<sup>(XX)</sup> A Prefeitura é co – responsável por pequenas quantidades (geralmente menos que 50 Kg), de acordo com a legislação municipal específica.

### 2.3. CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

As características dos resíduos sólidos urbanos variam de um município para outro, e muitas vezes as mudanças nas características são percebidas nos bairros de uma mesma cidade. Esta variação é percebida em função de fatores como: atividade dominante (industrial, comercial, turística, agrícola, etc.), hábitos e costumes da população, variações sazonais, condições climáticas, nível educacional, poder aquisitivo da população, etc.

Devido a essa heterogeneidade, torna – se importante uma avaliação criteriosa de cada situação na implantação de planos municipais de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos. Na avaliação do gerenciamento dos resíduos sólidos, também é muito importante conhecer as características físicas e químicas do lixo, assim como suas tendências futuras, pois tais parâmetros possibilitam a seleção de processos de tratamento e técnicas de disposição final. (Zanta & Ferreira, 2003). A seguir são descritas as principais características dos resíduos sólidos urbanos.

### 2.3.1. GERAÇÃO PER CAPTA

Relaciona a quantidade de resíduos sólidos urbanos produzidos por uma população definida durante determinado período. A geração per capita dos resíduos sólidos urbanos é expressa em Kg/dia/hab. FUNASA (1999) classifica a geração per capita em função da faixa de população, conforme descreve o quadro 2.

Quadro 2 – Média nacional de produção de resíduos domiciliares, por população.

Faixa de população	Produção (kg/hab/dia)
Até 100 mil	0,4
100 mil a 200 mil	0,5
200 mil a 500 mil	0,6
Acima de 500 mil	0,7

Fonte: FUNASA (1999)

No Brasil, tem sido adotado corretamente no dimensionamento não só do sistema de coleta e tratamento, mas também na disposição final de resíduos sólidos, a produção de 0,5 Kg/hab/dia, em termos de contribuição gravimétrica. (BIDONE & POVINELLI, 1999).

### 2.3.2. PESO ESPECÍFICO APARENTE

Corresponde a relação entre a massa e volume dos resíduos sólidos. A densidade aparente é importante para determinar o dimensionamento das etapas de coleta, triagem, transporte, transbordo e destinação final dos resíduos sólidos urbanos.

A tendência observada no que se refere ao peso específico aparente, é de decréscimo: de 500 Kg/m<sup>3</sup> na década de 20, chegou – se a 140 Kg/m<sup>3</sup> em 1970. O valor de 192 Kg/m<sup>3</sup> tem sido sugerido, atualmente, como média representativa do peso específico aparente dos resíduos sólidos brasileiros. Esses valores referem – se aos resíduos sólidos urbanos no momento da coleta, evidentemente, a compactação nos veículos de coleta de resíduos sólidos urbanos proporciona a obtenção de valores próximos a 700 Kg/m<sup>3</sup> (BIDONE & POVINELLI, 1999).

### 2.3.3. UMIDADE

Consiste na quantidade de água contida na massa de resíduos sólidos. Importante na escolha da tecnologia de tratamento e para aquisição dos equipamentos de coleta. (CEMPRE, 2002). O teor de umidade tem influência sobre a combustibilidade, densidade, assim como na velocidade de decomposição biológica dos materiais biodegradáveis presentes na massa de lixo.

### 2.3.4. PODER CALORÍFICO

Consiste na quantidade de calor gerada pela combustão de 1 quilo de resíduos sólidos urbanos. O poder calorífico consiste em um fator determinante na avaliação para instalação de usinas de incineração de resíduos sólidos urbanos (CEMPRE, 2002).

### 2.3.5. PARÂMETROS QUÍMICOS

Os parâmetros químicos dos resíduos sólidos urbanos são utilizados na definição da forma mais adequada de tratamento e disposição final, assim como na avaliação de sistemas de compostagem. Normalmente são analisados os seguintes parâmetros: N, P, K, S, C, relação C/N, pH e sólidos voláteis (CEMPRE, 2002). O quadro 3 ilustra as características físico – químicas dos resíduos sólidos gerados na cidade de São Paulo.

Quadro 3 – Características físico – químicas do lixo da cidade São Paulo

Componente	Unidade	Valor	Fonte/referência
Relação carbono/nitrogênio	C/N	25,80	IPT, 1976
Peso específico	Kg/m <sup>3</sup>	192,00	Ducan, 1972
Umidade	%	61,20	Giacobbo, 1976
Sólidos voláteis	%	32,30	Giacobbo, 1976
Inertes	%	6,50	Giacobbo, 1976
Poder calorífico superior	Kcal/Kg	4267,00	IPT, 1976
Poder calorífico inferior	Kcal/Kg	1285,00	IPT, 1976

Fonte: Lima, 1991.

### 2.3.6. COMPOSIÇÃO

O conhecimento da composição fornece subsídios e informações para uma correta avaliação das potencialidades econômicas do lixo e, ainda pode – se dizer que é de fundamental importância para o planejamento e a avaliação da eficiência dos sistemas de coleta e disposição final (CETESB, 1997). O Quadro 4 ilustra os materiais que comumente são encontrados no lixo urbano.

Quadro 4 – Exemplo básico de cada categoria dos resíduos sólidos urbanos.

Categoria	Exemplo
Matéria orgânica putrescível	Restos de alimentos, cascas de frutas e verduras, borra de café, erva de chimarrão, flores, grama, poda de árvores, etc.
Plástico	Sacos, sacolas, embalagens de refrigerantes, água e leite, recipientes de produtos de limpeza, esponjas, isopor, utensílios de cozinha, látex.
Papel e papelão	Caixas, revistas, jornais, cartões, papel, pratos, cadernos, livros, pastas.
Vidro	Copos, garrafas de bebidas, pratos, espelhos, embalagens de produtos de beleza, embalagens de produtos de limpeza, embalagens de produtos alimentícios.
Metal ferroso	Palha de aço, alfinetes, agulhas, embalagens de produtos alimentícios.
Metal não ferroso	Latas de bebidas, restos de cobre e chumbo, fiação elétrica
Madeira	Caixas, tábuas, palitos de fósforo e picolé, tampas, móveis, lenha.

Continuação quadro 4.

Categoria	Exemplo
Panos, trapos, couro e borracha	Roupas, panos de limpeza, pedaços de tecido, bolsas, mochilas, sapatos, tapetes, luvas, cintos, balões.
Contaminante químico	Pilhas, medicamentos, lâmpadas, inseticidas, raticidas, colas em geral, cosméticos, vidro de esmaltes, embalagens de produtos químicos, latas de óleo de motor, latas com tintas, embalagens pressurizadas, canetas com carga, papel carbono, filme fotográfico.
Contaminante biológico	Papel higiênico, cotonetes, algodão, curativos, gazes e panos com sangue, fraldas descartáveis, absorventes higiênicos, seringas, lâminas de barbear, cabelos, pêlos, embalagens de anestésicos, luvas.
Pedra, terra e cerâmica	Vasos de flores, pratos, restos de construção, terra, tijolos, cascalhos, pedras decorativas.
Diversos	Velas de cera, restos de sabão e sabonete, carvão, giz, pontas de cigarro, rolhas, cartões de crédito, lápis de cera, embalagens longa vida, embalagens metalizadas, sacos de aspirador de pó, lixas, e outros matérias de difícil identificação.

Fonte: Adaptado por Pessin, et al (2002), citado por Borges de Castilhos, (2003)

Segundo RECYCLING (1998), citado pelo CEMPRE (2002), em relação à composição do lixo, a matéria orgânica é sempre o maior componente: Argentina (1994) com 57,9%; Uruguai (1995) com 56,72%; México (1997) com 53,8%.

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos esclarece o percentual de cada componente em relação à massa total dos resíduos. A Quadro 5 ilustra a composição percentual média do lixo domiciliar em alguns países e municípios brasileiros.

Quadro 5 – Composição do lixo domiciliar em alguns países e municípios brasileiros

País/Município	Composição porcentual média				
	Vidro	Metal	Plástico	Papel	Outros
Brasil	3,00	4,00	3,00	25,00	65,00
Malásia	3,18	4,22	11,22	23,73	57,65
Turquia	1,70	1,70	4,30	11,00	81,30
EUA	8,20	8,70	6,50	41,00	35,60
Holanda	14,50	6,70	6,00	22,50	50,30
Alemanha	10,40	3,80	5,80	18,80	61,20
São Paulo	1,10	3,24	12,08	14,43	69,15
Rio de Janeiro	2,00	3,00	13,00	27,00	55,00
Salvador	4,00	4,00	11,00	19,00	62,00
Fortaleza	3,32	7,34	8,20	22,59	58,55
Recife	0,70	1,70	-	3,50	94,10
Porto Alegre	1,68	2,65	3,12	24,92	67,63
Distrito Federal	2,83	3,20	2,37	26,17	65,43
Belo Horizonte	2,07	3,22	1,90	16,77	76,04
São Carlos	1,40	5,40	8,50	21,30	63,40
Guaratinguetá	-	0,88	5,24	33,38	60,50
Saltinho	0,21	1,70	2,42	3,05	92,62

Fonte: CEMPRE, 1995

Estudo realizado na cidade de Florianópolis sobre a avaliação da caracterização dos resíduos sólidos nos últimos 14 anos, mostrou que a quantidade de plásticos presentes no lixo aumentou 68%, enquanto o volume de papelões diminuiu 55%. (COMCAP, 2003).

### 2.3.7. COMPONENTES POTENCIALMENTE PERIGOSOS PRESENTES NOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

No lixo municipal são vários os produtos contendo substâncias que conferem características de inflamabilidade, corrosividade, oxirredução ou toxicidade (Quadro 6). Qualquer material descartado que possa por em risco a saúde do homem ou do meio ambiente, é considerado perigoso (CEMPRE, 2002).



## Quadro 6 - Resíduos domésticos potencialmente perigosos

Tipo	Produto
Material para pintura	Tintas Solventes Pigmentos Vernizes
Materiais para jardinagens e animais	Pesticidas; Inseticidas; Repelentes; Herbicidas;
Mateirais automotivos	Óleos lubrificantes; Fluídos de freios e transmissão; Baterias;
Outros itens	Pilhas; Fracos de aerossóis em geral; Lâmpadas fluorescentes

Fonte: GOMES & OCURA (1993), citado CEMPRE (2002).

Atualmente o termo “metal pesado” é utilizado genericamente para os elementos químicos que contaminam o meio ambiente e podem provocar diferentes níveis de dano à biota. Os principais elementos químicos enquadrados neste conceito são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, e Zn. Estes elementos são encontrados naturalmente no solo em concentrações que variam em mg a g. Kg<sup>-1</sup>, as quais são inferiores àquelas consideradas tóxicas para diferentes seres vivos. Dentre eles As, Co, Cr, Cu, Se e Zn são essenciais aos organismos vivos (MIYAZAWA et al, 1999)

As pilhas e lâmpadas fluorescentes são consideradas como resíduos perigosos por conterem metais pesados que podem migrar e integrar – se à cadeia alimentar do homem. A Resolução CONAMA N<sup>o</sup> 257, 30 de junho de 1999, DOU, 22 de julho de 1999, estabelece que pilhas e baterias que contenham em suas composições Pb, Cd, Hg e seus compostos, tenham os procedimentos de reutilização, reciclagem, tratamento ou disposição final adequados.

Os frascos de aerossóis podem conter, quando descartados, substâncias químicas perigosas. Como o seu rompimento, tais substâncias são liberadas e podem contaminar o meio ambiente, atingindo as águas, superficiais, e/ou subterrâneas, ou migrando pelo ar. A Quadro 7 ilustra a presença de metais pesados em diferentes resíduos orgânicos.

**Quadro 7** – Teores de metais pesados (mg . Kg<sup>-1</sup>) em diferentes resíduos orgânicos.

Material	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Referência
Lixo urbano	2	26	113	12	135	235	Rao β Shantaran 1995
Composto com esgoto	8	209	391	350	811	890	Sins β Kline 1991
Lixo urbano	11	73	762	80	603	1190	Tisdell β Breslin, 1995
Composto com Lodo	-	60	78	-	38	89	Fernandes et al, 1993

Fonte: Adaptado de MIYAZAWA et al, 1999.

### 2.3.8. ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS E AMBIENTAIS RELACIONADOS AOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Os resíduos sólidos urbanos podem conter material de origem fecal (de origem humana e animal), presente no papel higiênico, fraldas descartáveis, preservativos, absorventes higiênicos, entre outros, resíduos dos serviços de saúde, etc., contendo uma diversidade de microorganismos potencialmente patogênicos, prejudiciais à saúde humana.

Muitos dos organismos patogênicos são transmitidos através da água, esgoto ou resíduos , sendo por isso fonte de preocupação e estudo da Engenharia Sanitária e Ambiental. (PEREIRA NETO, 1989). Os Quadros de 8 e 9 apresentam, respectivamente, os microorganismos patogênicos que freqüentemente são encontrados nas fezes humanas, o modo de transmissão, os sintomas que indicam a contaminação, além do tempo de sobrevivência dos microorganismos no solo e nas plantas.

**Quadro 8** – Bactérias, protozoários, vírus e helmintos patogênicos humanos existentes nas fezes.

Microorganismo	Hospedeiro	Doença/principais sintomas
<b>Bactérias</b>		
<i>Escherichia coli</i> patogênica	homem	Diarréia
Salmonela		
<i>Salmonela typhi</i>	homem	Febre tifóide
<i>Salmonela paratyphi</i>	homem	Febre paratifóide
<i>Shigela spp</i>	homem e animais	Intoxicação alimentar, Diarréias
<i>V. colerae</i>	homem	Disenteria bacilar
<b>Outros vibrios</b>		
<i>Campylobacter ssp</i>	homem	Cólera
<i>Yersinia enterocolitica</i>	homem	Diarréias
<i>Leptospira icterohaemorrhagiae</i>	homem	Diarréias/leptospirose
<b>Protozoários</b>		
<i>Giardia lamblia</i>	homem	Giardiose/diarréia, perda peso
<i>Entamoeba histolytica</i>	homem, cães, gatos	Infecção intestinal
<i>Balantidium coli</i>	homem	Balantidíase
<b>Vírus</b>		
Enterovirus		
Poliovirus	homem	Poliomielite/febres, meningite
Echovirus	homem	
Adenovirus	homem	Doenças respiratórias, Meningite/Infecções dos olhos
Vírus da hepatite A	homem	Hepatite infecciosa
<b>Helmintos</b>		
<b>Nematóides</b>		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	homem – solo –	Ascariíase
<i>Necator americanus</i>	homem	Ancilostomíase
<i>Toxocara canis</i>	homens – solo – homem Cães /Homem	Desconforto abdominal
<b>Cestóides</b>		
<i>Taenia solium</i>	Homem/suínos	Distúrbios digestivos, febre
<i>Taenia saginata</i>	Homem/bovino	Distúrbios digestivos, febre, Dor abdominal, insônia
<i>Equinococcus granulosos</i>	Cães/ovinos, homem	Distúrbios digestivos hepáticos e pulmonares

Fonte: SOCCOL (1996)

Quadro 9 – Tempo de sobrevivência dos organismos patogênicos no solo e nas plantas

Organismos	Meio	Tempo de Sobrevivência (dias)
Ovo Ascaris	Solo	acima 7 anos
	Vegetais	25 – 35
<i>Salmonella typhosa</i>	Solo	29 – 70
	Vegetais	31
<i>Cholera vibrio</i>	Espinafre, alface	22 – 23
Endamoeba histlytica	Solo	8
	Vegetais	3
Coliformes	Gramados	14
Leptospira	Solo	15 - 43
Polio virus	Água poluída	20
<i>Salmonella typhosa</i>	Rabanete	53
	Solo	74
Shigella	Tomate	2 – 7
Tubercle bacilli	Solo	6 meses
Tiphoid bacille	Solo	7 – 40

Fonte: Golueke (1984)

As usinas de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos, em função da disponibilidade simultânea de água, alimento e abrigo, caracterizam – se como locais propícios para o convívio de macro – vetores. Entre os macro vetores destacam – se as baratas, moscas, mosquitos, cães, gatos e, principalmente ratos. O quadro 10 ilustra as enfermidades com resíduos sólidos, transmitidas por macro vetores.

**Quadro 10** – Enfermidades e forma de transmissão de doenças relacionadas a macro vetores presentes no lixo.

<b>Vetores</b>	<b>Forma de transmissão</b>	<b>Enfermidades</b>
Rato e pulga	Mordida, urina, fezes e picada	Leptospirose, peste bubônica, tifo murino
Mosca	Asas, patas, corpo, fezes e saliva	Febre tifóide Cólera Amebíase Disenteria Giardíase Ascaridíase
Mosquito	Picada	Malária Febre amarela Dengue leishmaniose
Barata		Febre tifóide, cólera, giardíase
Gado e porco	Ingestão de carne contaminada	Teníase Cisticercose
Cão e gato	Urina e fezes	Toxoplasmose

Fonte: FUNASA (1999)

O aumento da população de ratos pode assumir níveis assustadores devido à natureza reprodutora e um ambiente propício para o refúgio, dando condições para a formação de uma grande família. Os Quadros 11 e 12 ilustram, respectivamente, algumas características reprodutivas e as enfermidades relacionadas aos roedores.

**Quadro 11** – Características de alguns roedores

Nome Científico	Nome Vulgar	Gestação (em dias)	Nº filhos (p/ cria)	Nº Procriações (p/ano)	Maturidade Sexual (mês)
Rattus Rattus	R. Telhado	18 - 22	4 – 8	4 - 6	2 - 3
R. Novergicus	R. Esgoto	22 – 30	8 – 12	4 – 6	2 – 3
M. Musculus	Camundongo	19 – 24	4 – 8	60 – 80	1,5 – 2
M.Minutus	R. do mato	20 – 30	8 - 12	4 – 6	2 - 3

Fonte: Lima (1995).

Considerando os fatos expostos, podemos ter a certeza da nocividade que tanto o manuseio, quanto às formas inadequadas de disposição final do lixo podem oferecer ao homem e o meio ambiente, além dos cuidados necessários para o controle dos impactos ambientais da operação das usinas de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos.

**Quadro 12** – Algumas doenças propagadas pelos roedores

Enfermidade	Agente etiológico	Transmissão
Meningite Linfocitária	Vírus Linfótico Coriomeningite	Urina e secreção nasal
Gastrenterite	<i>Salmonellas SP</i>	Fezes
Riquetiose Vesicular	<i>Rickettsia Akari</i>	Mordedura
Leptospirose	<i>Leptospira</i> <i>Icterohemorragiae</i>	Urina
Tifo Murino	<i>Rickettsia Typhi</i>	Pulga (sugamento)
Brucelose	<i>Brucella Melintensis</i>	Urina
Triquinose	<i>Trichinella Spirallis</i>	Rato – suíno – homem
Tularemia	<i>Pasteurella Tuularensis</i>	Mordedura
Febre Haverhill	<i>Streptobacillus</i> <i>Moniliformis</i>	Mordedura
Febre Sôdoku	<i>Spirillum Minus</i>	Mordedura

Fonte: Lima (1995).

As usinas de reciclagem e compostagem têm assumido papel importante no controle das doenças relacionadas ao manuseio inadequado dos resíduos sólidos urbanos. Se operadas segundo os princípios de engenharia sanitária, as usinas constituem – se sistemas que não só destinam sanitariamente o lixo urbano, quanto ao mesmo tempo, promovem o tratamento deste, eliminando os agentes causadores de inúmeras doenças, contribuindo para a melhoria do estado de saúde das populações, gerando ainda, um produto final (composto orgânico) seguro de ponto de vista bacteriológico e de uso e aplicações irrestrito na agricultura

#### 2.4. GERENCIAMENTO INTEGRADO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos consiste em um conjunto de ações educativas, normativas, operacionais, financeiras e de planejamento, baseados em critérios sanitários, ambientais e econômicos visando a segregação, coleta, triagem, tratamento e destinação final adequada dos resíduos sólidos urbanos a nível municipal (IPT, 1995).

A necessidade das administrações municipais em adequar – se a legislação ambiental, a dificuldade em encontrar áreas para disposição final do lixo urbano e os custos elevados para implantação de aterros sanitários, tem levado as administrações municipais ao desenvolvimento de políticas voltadas para a redução da quantidade dos resíduos sólidos que necessitam ser aterrados. Dentre essas práticas destaca – se a implantação de sistemas de coleta seletiva a nível municipal.

A implantação de sistemas de coleta seletiva vem sendo apontada como uma alternativa não só para o problema da disposição dos resíduos sólidos domiciliares produzidos, mas também através da organização em cooperativas de catadores, além da geração de novos empregos..

A segregação dos materiais presentes nos resíduos sólidos urbanos tem como objetivo principal a reciclagem de seus componentes. Reciclagem é o resultado de uma série de atividades, pela qual, materiais que se tornariam lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria prima na manufatura de novos produtos (CEMPRE, 2002).

Existem diversas formas de se operar um sistema de coleta seletiva a nível municipal. Cada município deve avaliar e adotar aquela que melhor lhe convier. Em alguns casos, a combinação de diferentes modelos poderá gerar os melhores resultados.

Nos municípios de pequeno porte, o grande desafio diz respeito à inclusão social das pessoas que sobrevivem da prática da catação dos resíduos sólidos nas ruas e nos lixões a céu aberto, a recuperação ambiental dos depósitos clandestinos de lixo e a destinação final do lixo urbano em aterros sanitários. O custo elevado para implantação e operação de aterros sanitários inviabiliza a construção dos mesmos em municípios de pequeno porte. A formação de consórcios intermunicipais para destinação final dos resíduos sólidos urbanos reduz os gastos para a implantação de aterros sanitários.

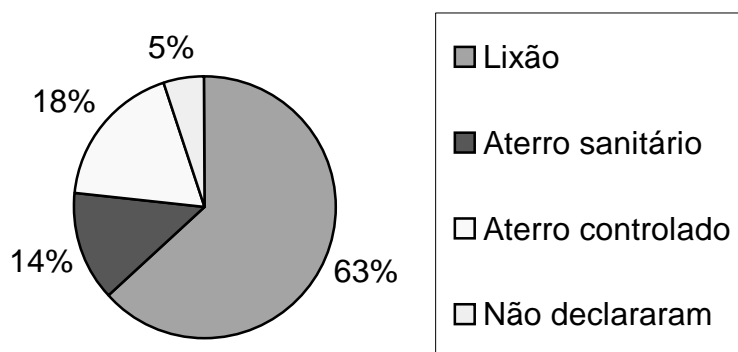
Outro aspecto importante no gerenciamento dos resíduos sólidos, principalmente em municípios com até 20.000 habitantes, diz respeito à valorização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. A realidade do gerenciamento do lixo urbano à nível nacional tem evidenciado que poucas iniciativas de coleta seletiva priorizam o aproveitamento do lixo orgânico. Além dos benefícios ambientais, o aproveitamento da fração orgânica do lixo urbano proporciona uma redução dos custos com a disposição final em aterros sanitários e a possibilidade da conversão da fração orgânica do lixo, que anteriormente era um problema, em um insumo para ser utilizado na manutenção de parques, faixas de domínio, agricultura orgânica, educação ambiental, etc.



#### 2.4.1. GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS À NÍVEL NACIONAL

Segundo Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB, realizada, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), revela uma tendência de melhora da situação de destinação final do lixo coletado no país nos últimos anos. Em 1989, a PNSB mostrava que o percentual de municípios que davam uma destinação final dos resíduos sólidos de forma adequada era de apenas 10,7 %.

A pesquisa revela ainda que Brasil, a produção diária chegava a aproximadamente 125.281 toneladas, sendo que 47,1% era destinado a aterros sanitários, 22,3 % a aterros controlados e apenas 30,5 % a lixões. Ou seja, mais de 69 % de todo o lixo coletado no Brasil estaria tendo um destino final adequado, em aterros sanitários e/ou controlados. Todavia levando em consideração o número de municípios brasileiros e não a geração de lixo, o resultado não é tão favorável. A figura 1 abaixo revela a situação da destinação dos resíduos sólidos nos 5507 municípios brasileiros.



**Figura 1:** Destinação dos resíduos sólidos nos municípios brasileiros (%)

A pesquisa informa ainda que na época eram coletadas 125.281 toneladas de lixo domiciliar, diariamente, em todos os municípios brasileiros, sendo que as 13 maiores cidades são responsáveis por 31,9% de todo o lixo urbano gerado no país.

#### 2.4.2. SITUAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA - PROGRAMA LIXO NOSSO DE CADA DIA

O Ministério Público Catarinense, ao definir as suas políticas e as prioridades institucionais para o ano de 2001, na área do meio ambiente, entendeu da necessidade urgente de instituir um programa especial de proteção das áreas degradadas pela deposição irregular de resíduos sólidos no Estado de Santa Catarina, pois 56% (cinquenta e seis por cento) dos municípios catarinenses, depositam os resíduos sólidos em lixões a céu aberto; 5% (cinco por cento) em usina de compostagem; 27% (vinte e sete por cento) em aterros sanitários; 7% (sete por cento) de recolhimento privado; 4% (quatro por cento) em usinas de reciclagem; 1% (um por cento) em lixão industrial; e, 2% (dois por cento) não possuem nenhum tipo de coleta, segundo informações da Companhia de Polícia de Proteção Ambiental.

Diante dessa realidade, em janeiro de 2001 foi criado o programa “Lixo Nosso de Cada Dia”, iniciativa pioneira no país, visando a destinação correta dos resíduos sólidos urbanos com a efetivação de aterros sanitários ou de outra forma adequada de tratamento de disposição final do lixo gerado.

Com base no relatório expedido pela FATMA, foi solicitada aos Promotores de Justiça a instauração de Procedimentos Administrativos Preliminares aos municípios pertencentes a sua comarca, que estivessem em situação irregular. Em ato contínuo, os Promotores de Justiça remeteram ofício aos Prefeitos com uma proposta de Termo de Ajustamento de Conduta em anexo para análise deste e posterior assinatura, fixando o prazo de março de 2003, para a solução definitiva da destinação dos resíduos sólidos urbanos.

Atualmente apenas 9% dos municípios do estado de Santa Catarina, ainda encontram – se em situação inadequação, porém com a solução prevista para a destinação dos resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário licenciado pelo órgão ambiental do estado de Santa Catarina.

Na 10ª edição do Troféu Fritz Muller, iniciativa que premia as melhores ações e iniciativas em prol do meio ambiente, homenageou o programa “Lixo Nosso de Cada Dia”, desenvolvidos pelo Ministério Público do estado de Santa Catarina. Também foram agraciados, com Menção Honrosa, 10 iniciativas. Entre os vencedores destaca – se a iniciativa da Prefeitura Municipal de Angelina – SC, no que diz respeito ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. O anexo 1 ilustra a Menção Honrosa recebida pela Prefeitura Municipal de Angelina na 10ª edição do Troféu Fritz Muller.

#### 2.4.3. GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE ANGELINA

Anteriormente a implantação do sistema de coleta seletiva dos resíduos sólidos urbanos, município de Angelina possuía um gerenciamento dos resíduos sólidos comumente encontrado nos municípios de pequeno porte, baseado em uma coleta convencional, sem nenhuma iniciativa de valorização e, normalmente com a disposição final em lixões a céu aberto.

A coleta do lixo era realizada 2 (duas) vezes por semana no perímetro urbano, através de um caminhão caçamba. A zona rural do município não era atendida periodicamente pela coleta de lixo, sendo que os resíduos sólidos normalmente eram enterrados no solo, queimados, acumulados no fundo do terreno ou dispostos nas proximidades dos rios.

Após a coleta os resíduos sólidos gerados no perímetro urbano do município eram encaminhados para um lixão a céu aberto, localizado na comunidade de Alto Garcia, distante aproximadamente 5 km da sede do município.

A área em questão não apresentava os devidos controles ambientais, e muito menos a Licença Ambiental de Operação, expedida pelo órgão ambiental do estado de Santa Catarina – Fundação do Meio Ambiente – FATMA/SC, inviabilizando a disposição final dos resíduos sólidos urbanos no local. No local também era verificado a presença de pessoas que tiravam o seu sustento da catação e posterior comercialização de alguns materiais presentes na massa lixo. A figura 6 ilustra a disposição dos resíduos sólidos no lixão do município.



**Figura 2:** Antiga forma de disposição final dos resíduos sólidos gerados no município.

Além da disposição final dos resíduos sólidos urbanos, também eram depositados no local, resíduos provenientes dos serviços de saúde e embalagens de agrotóxicos. Aproximadamente 16 toneladas de resíduos sólidos eram depositados mensalmente no lixão do município.

## 2.5. COLETA SELETIVA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

### 2.5.1. DEFINIÇÃO

A coleta seletiva de lixo é um sistema de recolhimento de materiais recicláveis, tais como papéis, plásticos, vidros, metais e orgânicos, previamente separados na fonte geradora. Esses materiais são vendidos às indústrias recicladoras ou aos sucateiros (CEMPRE, 1999).

### 2.5.2. HISTÓRICO DA COLETA SELETIVA

Conforme EIGENHEER (1998) *caput* BENETTI (2000), nos Estados Unidos o surgimento da coleta seletiva se deu no início deste século. Já na Europa o início oficial da mesma se deu na Itália, em 1941, em razão das dificuldades oriundas da 2ª guerra mundial. Na Austrália a coleta seletiva iniciou em 1990, por incitativa governamental e opera com eficiência de 40%.

Segundo BENETTI (2000) *caput* EIGENHEER (1998), no Japão são atingidos altos índices de participação social na coleta seletiva. O trabalho teve início nas escolas e abrange o cotidiano da população, desde os prédios comerciais, residenciais e até os supermercados e locais de lazer. Na China os moradores separam o lixo em suas residências e os transportam até pontos de coleta, localizados nas imediações, onde trocam os resíduos por dinheiro, esse processo teve início em 1950.

No Brasil, de acordo com EIGENHEER (2000) *caput* BENETTI (1998), o processo ocorreu mais tardiamente, visto que a primeira experiência documentada de coleta seletiva foi implantada em Niterói (RJ), no Bairro São Francisco, em 1996.

Segundo dados da terceira versão da Pesquisa Ciclosoft (2002), nos últimos oito anos, os programas de coleta seletiva no país tiveram um incremento de 138%. Atualmente 192 municípios operam essas iniciativas. Em 1994, eram 81 prefeituras, em 1999, o número saltou para 135.

A pesquisa aponta ainda que as regiões sul e sudeste concentram 166 programas, o que significa que menos de 15% das 192 iniciativas levantadas acontecem nas outras três regiões do país. Há de se registrar ainda, que apesar do incremento apontado pela Pesquisa Ciclosoft são tímidos os números apresentados pelo Brasil nessa área. Temos 5.561 municípios, portanto, apenas 3,5% desse universo operam programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos.

### 2.5.3. MODELOS DE COLETA SELETIVA

Quando uma prefeitura opta por um programa de reciclagem, tem de tomar uma decisão estratégica em relação à forma de separação do lixo nas diferentes fontes geradoras de resíduos sólidos urbanos e eventualmente a tecnologia adotada na triagem e tratamento e destinação final. A seguir serão apresentados os modelos de coleta seletiva de lixo. A coleta dos resíduos sólidos urbanos é regulamentada pela NBR 134663.

### 2.5.3.1. Coleta seletiva porta – a – porta

Semelhante ao procedimento clássico de coleta convencional de lixo, porém com algumas variações que caracterizam a coleta seletiva. Os veículos coletores percorrem as residências em dias e horários previamente definidos.

A separação do lixo domiciliar deverá ser baseada no “modelo de seleção” que for adotado pelo município. Independente do tipo de segregação adotado na coleta seletiva. A segregação dos resíduos sólidos na fonte geradora proporciona inúmeros ganhos nas etapas posteriores do programa de coleta seletiva. Estes custos estão associados à coleta, triagem, tratamento, transbordo e disposição final dos resíduos sólidos, entre outros.

Segundo BENETTI (2000) caput VILHENA (1999) para a implantação deste tipo de coleta é necessário que alguns obstáculos sejam superados, como, por exemplo, a necessidade de veículos coletores especiais (compartimentados), espaço físico nas residências para a armazenagem dos materiais em separado, maior frequência de coleta e a necessidade de uma campanha educativa mais detalhada. Necessitando, portanto, de maiores investimentos ampliando os custos gerais do projeto, e da comunidade atingir altos índices de participação para que seja implantada com sucesso.

Normalmente os sistemas de coleta seletiva em funcionamento no país não valorizam a fração orgânica do lixo urbano. Dados do CEMPRE (2002) demonstram que 0,3% dos municípios possuem sistemas de compostagem do lixo urbano no Brasil.

Segundo TAKEDA (2002), a Cidade de Curitiba – PR, possui um programa de coleta seletiva de lixo, intitulado “Lixo que não é Lixo”, em funcionamento desde 1989. O programa consiste na separação do lixo domiciliar em duas categorias: orgânico (restos de comida, sobras de preparação de alimentos, papel higiênico, etc) e inorgânico (papel, plásticos, papelão, metais ferrosos, vidro, metais, etc). A coleta seletiva de lixo acontece paralelamente a coleta convencional, em dias e horários distintos. Esta iniciativa reflete um exemplo dos modelos de coleta seletiva em operação no país, que muitas vezes não aproveitam a fração orgânica do lixo urbano.

### 2.5.3.2. Coleta por postos de entrega voluntária

São locais previamente definidos e dimensionados para o recebimento voluntário dos resíduos sólidos urbanos. Em alguns casos, utilizam – se containeres ou pequenos depósitos, colocados em pontos fixos pré-determinados da malha urbana denominados PEV's (Postos de Entrega Voluntária) ou LEV's (Locais de Entrega Voluntária), onde o cidadão, espontaneamente, deposita os recicláveis. Cada material é depositado em recipiente específico, normalmente com cor e nomenclatura específica para o acondicionamento dos resíduos sólidos urbanos. Normalmente a prefeitura municipal ou empresa terceirizada se encarregam da coleta e posterior comercialização desses materiais.

A Resolução CONAMA N<sup>o</sup> 275, de 25 de abril de 2001, DOU, 18 de julho de 2001, estabelece o seguinte padrão das cores para os diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva:

- Azul – papel e papelão
- Vermelho – Plásticos
- Verde – vidro
- Amarelo – metais
- Preto – madeira
- Laranja – resíduos perigosos
- Branco – Resíduos dos Serviços de Saúde - RSS
- Roxo – Resíduos radioativos
- Marrom - resíduos orgânicos

A Prefeitura Municipal de Rancho Queimado/SC mantém em funcionamento um programa de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos que atende regularmente todas as localidades do município, inclusive as da zona rural. Nas localidades de difícil acesso, onde o veículo de coleta não tem acesso, foram instalados pontos de entrega voluntária para acondicionar os resíduos recicláveis e rejeitos, conforme ilustra a figura 2. Os moradores são orientados a aproveitar a fração orgânica.



Figura 3 – Ponto de entrega voluntária de resíduos sólidos instalado na zona rural do município de Rancho Queimado – SC.

#### 2.5.3.3. Postos de recebimento e troca

A alternativa de instalação de postos de recebimento (ou troca) pode ser bastante útil tanto para as modalidades de coleta seletiva em que a coleta seletiva for porta – a – porta, como para os modelos de coleta seletiva voluntária. Outra opção é criar centros de recebimento e troca independentes em locais afastados dos centros urbanos, que podem servir inclusive de estações de transferência (CEMPRE, 2002).

De acordo com TAKEDA (2002), Prefeitura Municipal de Curitiba instalou em 1989 o “PROGRAMA CAMBIO VERDE” que consiste na troca de materiais recicláveis por alimentos, materiais escolares, brinquedos, chocolates, etc. Existem 63 pontos de troca distribuídos nos bairros da cidade de Curitiba.



#### 2.5.3.5. Os Catadores

Estima – se , no Brasil, a atuação de cerca de 200 mil catadores de rua (autônomos e em cooperativas) (CEMPRE, 2002), principalmente instalados em municípios de médio e grande porte.

A Prefeitura Municipal de Curitiba, junto com a Fundação de Ação Social, vem desenvolvendo, desde 1993, o Programa “Carrinheiro Cidadão”, o qual tem como principal objetivo: melhorar as condições de trabalho dos coletores. O programa é realizado nos núcleos regionais da Fundação de Ação Social por assistentes sociais com apoio de pedagogos e psicólogos, promovem encontros semanais com os coletores, buscando através de uma ação reflexiva e trabalho sócio – educativo, discussões dos problemas comuns que os envolve no dia a dia (TAKEDA, 2002).

A inclusão social dos catadores nos processos de coleta seletiva á nível municipal é imprescindível, porem torna – se necessário a efetiva participação e responsabilidade dos mesmos no contexto geral do projeto. Normalmente os catadores percorrem as ruas das cidades coletando apenas alguns materiais presentes no lixo, sendo que muitas vezes rasgam as sacolas de lixo e deixam os resíduos expostos, comprometendo a qualidade ambiental urbana. Além disso, os materiais coletados são conduzidos e dispostos em depósitos que não respeitam os aspectos legais e sanitários para a instalação de triagem e transbordo dos resíduos recicláveis, muitas vezes servindo de atrativos para diferentes vetores, gerando chorume e mau cheiro.

Com a implantação de programas de coleta seletiva a nível municipal, a tendência é que o número de catadores de lixo instalados na cidade aumente significativamente, principalmente pelo acesso fácil ao material reciclável disposto separadamente na frente dos domicílios.

#### 2.5.4. COLETA SELETIVA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

“Entende-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente; bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e a sustentabilidade”. A educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não formal (Política Nacional de Educação Ambiental, Lei nº 9.795/99, Art. 1º e Art 2º)

Segundo a Lei nº 9.795/99, Art. 9º, referente a Política Nacional de Educação Ambiental, a educação ambiental está prevista para ser trabalhada em todos os níveis de ensino formal através dos currículos das instituições educativas públicas e privadas e de maneira informal com ações práticas voltadas à sensibilização da coletividade sobre as questões ambientais e à organização e participação na defesa da qualidade do meio ambiente.

Neste contexto, os programas de coleta seletiva devem ser considerados como estratégias a *posteriori* de uma meta educativa, se considerarmos que o efetivo envolvimento da população na segregação dos resíduos estejam incutidos em um conjunto de ações de planejamento visando a reciclagem dos resíduos sólidos urbanos.

Mais do que nunca um dos grandes desafios da implantação de programas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos está na divulgação e esclarecimento da população atendida pelo programa. O efetivo envolvimento da população na correta segregação dos resíduos sólidos urbanos nas diferentes fontes geradoras esta diretamente relacionado com o sucesso das etapas operacionais, relativas a geração, manuseio, coleta, transporte, tratamento e na destinação final.

A educação ambiental, portanto, não pode cair na sedução do imediatismo, mas, sobremaneira, deve ser incorporada de acordo com as realidades de cada região, com o envolvimento da comunidade, caracterizando – se como um processo contínuo e que envolva todos os setores da sociedade.

## 2.6. RECICLAGEM DA MATÉRIA ORGÂNICA - COMPOSTAGEM

### 2.6.1. FUNDAMENTOS BÁSICOS DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A compostagem é praticada desde a história antiga, porém até recentemente, de forma empírica. Gregos, romanos, e povos orientais já sabiam que resíduos orgânicos podiam ser retornados ao solo, contribuindo para sua fertilidade. No entanto, só a partir de 1920, com Albert Howard, é que o processo passou a ser pesquisado cientificamente e realizado de forma racional (STENTIFORD et all., 1985; FERNANDES, 1999). Nas décadas seguintes muitos trabalhos lançaram as bases para o desenvolvimento desta técnica, que hoje vem sendo amplamente difundida.

A compostagem é definida como sendo um processo biológico, aeróbio e controlado de tratamento, higienização e estabilização de resíduos orgânicos para a produção de húmus. O processo de compostagem é desenvolvido por uma população mista de microorganismos e efetuada em duas fases distintas: a 1ª onde ocorrem as reações de oxidação bioquímicas mais intensas, na sua grande maioria exotérmicas atingindo temperaturas na faixa termofílica e a 2ª de maturação onde ocorre o processo de humificação com a produção do composto propriamente dito. (STENTIFORD et all. 1985; PEREIRA NETO, 1989; PEREIRA NETO,1996).

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

A NBR 13591, válida a partir de 1996, normatiza a compostagem de resíduos sólidos domiciliares.

## 2.6.2. FATORES QUE AFETAM O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A compostagem, se entendida como um processo biológico, torna implícita e indiscutível a necessidade de controle dos parâmetros intervenientes no processo, que tem como objetivo maximizar a degradação e propiciar a eliminação de patógenos (STENTIFORD, PEREIRA NETO, 1992).

O sucesso operacional de sistema de compostagem, com a obtenção de um produto estabilizado, isento de microorganismos patogênicos e metais pesados, deverá respeitar princípios e limites de cada parâmetro relacionados à atividade biológica. Os principais fatores que podem interferir na operação de sistemas de compostagem são descritos a seguir.

### 2.6.2.1. Teor de umidade

A decomposição da matéria orgânica depende, sobretudo, da umidade, para garantir a atividade microbiológica. Do ponto de vista teórico, o teor de umidade ideal para propiciar a degradação dos resíduos orgânicos é 100%. Isto porque, dentre outros fatores, a própria estrutura dos microorganismos consiste de, aproximadamente, 90% de água. Para a produção de novas células, a água precisa ser obtida do meio, no caso, da massa de compostagem. Além disso, todo o nutriente necessário ao metabolismo celular precisa ser dissolvido em água, antes de sua assimilação (PEREIRA NETO, 1989). Entretanto alguns aspectos técnicos – operacionais do processo de compostagem restringem valores máximos e mínimos.

O controle do excesso de umidade, muitas vezes negligenciado, é um fator necessário e importantíssimo para o controle dos impactos ambientais gerados pela atividade.

Elevados teores de umidade fazem com que a água ocupe os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que ocasionará a anaerobiose, e conseqüentemente a redução da velocidade de degradação, queda da temperatura, produção de mau cheiro, atração de vetores e a geração de líquidos percolados.

Por outro lado, baixos teores de umidade, menores que 40%, restringem a atividade microbiológica de degradação dos resíduos orgânicos (PEREIRA NETO, 1996).

Trabalhos e pesquisas sobre compostagem de diferentes materiais e processos, concluem que o teor de umidade deve situar-se em torno de 55% (PEREIRA NETO E CUNHA, 1995; PEREIRA NETO, 1996; NEVES LELIS, 1998). A manutenção de teores nesta faixa de umidade, considerada como ótima, objetiva a maximização da velocidade de degradação associada ao fluxo de oxigênio nos poros arejados.

#### 2.6.2.2. Temperatura

A temperatura consiste em um dos fatores mais indicativos do equilíbrio biológico, o que reflete a eficiência dos processos de compostagem.

As temperaturas devem estar na ordem de 40 a 60°C no segundo ou terceiro dia de compostagem, caracterizando que o ecossistema está bem equilibrado. Caso contrário, é sinal de que algum ou alguns dos parâmetros físico – químicos (pH, relação C/N, umidade, concentração de nutrientes) não estão sendo respeitados, limitando a atividade microbiológica (FERNANDES et all, 1999).

O desenvolvimento de temperaturas termofílicas nos processos de compostagem é consequência da atividade microbiológica durante os processos de oxidação da matéria orgânica. A compostagem moderna utiliza apenas os artifícios de engenharia, para manter temperaturas controladas (40 – 65 °) em toda a massa de compostagem por um período mais longo possível, a fim de obter maior eficiência do processo. Tão logo a fonte de carbono mais disponível tenha sido exaurida, a temperatura da pilha cai para valores baixos (35 – 38°C), indicando o fim da primeira fase do processo. Em seguida, o material deve ser posto para a maturação, a fim de que continue seu processo de estabilização, permitindo que o carbono remanescente (ligando as estruturas mais resistentes como a lignina e celulosas) seja mineralizado (PEREIRA NETO, 1989).

A medida da temperatura deve ser feita com termômetro de haste longa, que permita a leitura no mínimo à cerca de 40 mm da superfície da leira (CEMPRE, 2002).

Segundo PEREIRA NETO (1996), os principais fatores que influenciam o bom desenvolvimento da temperatura nas leiras de compostagem, são:

- as características da matéria prima;
- o tipo de sistema utilizado;
- o controle operacional (teor de umidade, ciclo de reviramento, temperatura);
- a configuração geométrica das leiras.

Embora a elevação da temperatura seja necessária e interessante para a eliminação de microorganismos patogênicos, alguns pesquisadores observam que a ação dos microorganismos sobre matéria orgânica aumenta com a elevação da temperatura até 65°C e que acima deste valor o calor limita as populações aptas, havendo um decréscimo da atividade biológica (FERNANDES et all, 1999).

#### 2.6.2.3. Taxa de oxigenação (aeração)

Pela própria definição, a compostagem é um processo aeróbio, o fornecimento de ar é vital à atividade microbiana, pois os microorganismos aeróbios, têm necessidade de O<sub>2</sub> para oxidar a matéria orgânica.

A circulação de ar na massa de resíduos é fundamental para a otimização do processo de compostagem. A circulação de ar no interior da leira de compostagem depende a confecção da leira, estrutura e umidade da massa, além da tecnologia de compostagem empregada.

A aeração é o principal mecanismo capaz de promover o aumento da velocidade de oxidação do material orgânico e diminuir a emanação de odores. No sentido de favorecer a aeração durante o processo de compostagem, procura-se adicionar resíduos estruturantes, que demoram mais para se decompor, tais como: serragem e poda vegetal.

#### 2.6.2.6. Concentração de nutrientes

Os nutrientes, principalmente carbono e nitrogênio, são fundamentais para o crescimento bacteriano. O carbono, dentre outras funções, é a fonte básica de energia para as atividades vitais dos microorganismos. O nitrogênio é a fonte básica para a reprodução protoplasmática dos microorganismos. A atividade de degradação dos resíduos orgânicos na leira de compostagem está diretamente relacionada à reprodução celular dos microorganismos. Na ausência de nitrogênio, não há reprodução celular dos microorganismos (PEREIRA NETO, 1996).

A eficiência dos processos aeróbios sobre os processos anaeróbios na estabilização de resíduos orgânicos vem sendo cientificamente provada ao longo dos anos. Este fato foi particularmente observado nos processos de compostagem, em que várias pesquisas PEREIRA NETO (1987); PEREIRA NETO (1985) utilizando diferentes tipos de resíduos orgânicos, concluíram que o consumo máximo de oxigênio ocorre quando a temperatura da pilha está em torno de 55°C, fase em que se torna necessário encontrar um mecanismo de aeração capaz de satisfazer a tal demanda. (PEREIRA NETO, 1989).

Quando a massa de compostagem apresentar maior concentração de nitrogênio com relação à concentração de carbono, haverá uma perda de nitrogênio por meio da volatilização da amônia até que a relação carbono/nitrogênio seja satisfatória ao processo (PEREIRA NETO, 1996).

Na compostagem da fração orgânica do lixo urbano, bem como dos resíduos orgânicos de fontes especiais (restaurantes, feiras, Ceasas, etc) a relação carbono/nitrogênio desses materiais já se encontra dentro da faixa ótima de projeto, isto é, 30 a 40:1 (PEREIRA NETO, 1996).

Independente da relação C/N inicial, no final do processo de compostagem a relação C/N converge para um mesmo valor, entre 10 e 20, devido a perdas maiores de carbono que de nitrogênio, no desenvolvimento do processo (FERNANDES et all, 1999).

Fósforo e enxofre também são importantes, porém seu papel no processo é pouco conhecido. Os microorganismos têm necessidade dos mesmos micro nutrientes requeridos pelas plantas: Cu, Ni, Mo, Fé, Mg, Zn e Na são utilizados nas reações enzimáticas, porém os detalhes deste processo são poucos conhecidos (FERNANDES, 1999).

#### 2.6.2.7. Tamanho das partículas

Quanto mais fina é a granulometria, maior é a área exposta à atividade microbiana, o que promove o aumento das reações bioquímicas, visto que aumenta a área superficial em contato com o oxigênio (FERNANDES et all, 1999).

PEREIRA NETO (1996), descreve que os resíduos orgânicos devem ser submetidos a uma correção no tamanho das partículas, no sentido de favorecer:

- homogeneização da massa de compostagem;
- melhoria da porosidade;
- menor compactação;
- maior capacidade de aeração;

De modo geral o tamanho das partículas deverá estar entre 25 e 75mm, para ótimos resultados (FERNANDES et all, 1999).

#### 2.6.2.6. pH

Segundo FERNANDES et all (1999), níveis de pH muito baixos ou muito altos reduzem ou até inibem a atividade microbiana. Nos processos de compostagem onde a relação C/N da mistura for conveniente, o pH geralmente não é um fator crítico do processo.



Quando são utilizadas misturas próximas a neutralidade, o início da compostagem é marcado por uma queda sensível de pH, variando de 5,5 a 6,0, devido a produção de ácidos orgânicos. A passagem pela fase termofílica, é acompanhada de rápida elevação do pH, que se explica pela hidrólise das proteínas e liberação da amônia. Assim, normalmente o pH se mantém alcalino (7,5 – 9,0) (FERNANDES et all, 1999).

### 2.6.3. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE COMPOSTAGEM

A compostagem é a decomposição aeróbia da matéria orgânica que ocorre por ação de agentes biológicos microbianos na presença de oxigênio e, portanto, precisa de condições físicas e químicas adequadas para levar à formação de um produto de boa qualidade.

Kiehl (1986), classifica o processo de compostagem da seguinte forma:

#### 2.6.3.1. Quanto à biologia

- Processo aeróbio: atuam microorganismos aeróbios, os quais precisam de oxigênio para sua sobrevivência e desenvolvimento;
- Processo anaeróbio: a fermentação é realizada por microorganismos que podem viver em ambientes isentos de ar. Geralmente essa decomposição ocorre com a massa encharcada ou completamente imersa em água;
- Processo facultativo: atuam bactérias facultativas.

### 2.6.3.2. Quanto à temperatura

Pode-se classificar a compostagem conforme a temperatura em função dos microorganismos atuantes no processo, conforme ilustra a quadro 13.

**Quadro 13** – Classificação da compostagem em função da temperatura

TEMPERATURA	CRIOFÍLICO	MESOFÍLICO	TERMOFÍLICO
°C	< 35	40 – 55	55 – 70

Fonte: Lima (1991)

### 2.6.3.3. Quanto ao ambiente

Aberto: o processo é realizado a céu aberto, em pátio ou caixa de maturação. O tempo de compostagem varia segundo as condições ambientais e pode durar até 180 dias;

Fechado: a compostagem é feita através de dispositivos especiais, tais como digestores, bioestabilizadores, torres, células de fermentação, tanques e silos, com revolvimento mecânico para movimentação da matéria orgânica.

### 2.6.3.4. Quanto ao processamento

Estáticos: considera-se processos estáticos ou naturais aqueles em que a matéria-prima disposta em caixas e/ou montes nos pátios de compostagem recebem revolvimentos periódicos durante o processo.

Dinâmicos: também chamados processos acelerados, nos quais adicionam-se enzimas, melhora – se o arejamento através da injeção de ar atmosférico e faz-se aquecimento forçado.

A compostagem é a decomposição aeróbia da matéria orgânica que ocorre por ação de agentes biológicos microbianos na presença de oxigênio e, portanto, precisa de condições físicas e químicas adequadas para levar à formação de um produto de boa qualidade.

#### 2.6.4. MÉTODOS DE COMPOSTAGEM

Os métodos de compostagem são diferenciados basicamente em função da tecnologia de aeração e de mistura do material, o que restringe a fase inicial do processo de oxidação, para qual a oxigenação é imprescindível. Segundo CEMPRE (2002), o processo de compostagem pode ocorrer através de métodos naturais e acelerados.

##### 2.6.4.1. Processo natural

No processo de compostagem natural a fração orgânica do lixo é levada para um pátio e disposta em pilhas de formato variável. A aeração necessária para o desenvolvimento do processo de decomposição biológica é alcançada por revolvimentos periódicos, com auxílio de equipamento apropriado. O tempo necessário para que o processo se complete varia de três a quatro meses;

Existem diversos sistemas de compostagem naturais. Nestes sistemas destacam – se duas metodologias que estão sendo aplicadas no tratamento dos resíduos sólidos orgânicos: Windrow e a Compostagem Termofílica em Leiras Estáticas.

##### 2.6.4.1.1. Método Windrow

O método Windrow foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental - LESA da Universidade Federal de Viçosa – UFV e consiste em um processo compostagem de baixo custo e flexibilidade operacional.

A técnica consiste na confecção de pilhas com formato cônico, com média de 1,5 toneladas, dimensões de 1,2 metros de altura e 2,0 metros de diâmetro. As pilhas são revolvidas duas vezes por semana até o trigésimo dia de idade e a partir de então, uma vez por semana até que a massa em compostagem entrar na fase de maturação (temperatura máxima menor que 40°C). Após a fase termofílica o material permanece imóvel durante aproximadamente 1 mês e posteriormente é peneirado para retirada de contaminantes e material mais grosseiro. Esta metodologia, pesquisada por Pereira Neto, vem sendo aplicada no tratamento da fração orgânica dos provenientes resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte do estado de Minas Gerais, conforme figura 4.

**Figura 4** – Usina de reciclagem /compostagem dos resíduos orgânicos gerados no município de Coimbra/MG.

#### 2.6.4.1.2. Sistema de compostagem termofílica em leiras estáticas

Para a obtenção de um produto final de qualidade, a prévia segregação nas fontes geradoras (domicílios, restaurantes, bares, etc) torna – se imprescindível. A não observância destes fatores pode resultar em um composto orgânico de baixa qualidade, com a presença de metais pesados.

A técnica de compostagem termofílica em leiras estáticas tem como características principais: ser desenvolvida utilizando equipamentos de baixo custo, apresentar um controle dos impactos intervenientes do processo, além de apresentar mão de obra reduzida, pois não são necessários revolvimentos periódicos para a manutenção de condições aeróbias.

As altas temperaturas, em torno de 65 a 78 °C, atingidas durante o processo de transformação dos resíduos orgânicos garantem a ausência de patógenos comuns no produto final que será manuseado com adubo.

A Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC mantém desde 1994 o projeto de reciclagem da fração orgânica dos resíduos sólidos gerados nos estabelecimentos comerciais do campus universitário. A coleta é realizada por um micro trator e carreta da prefeitura universitária que percorrem diariamente o roteiro de coleta, atendendo as cantinas, restaurantes, restaurante universitário (RU), além dos resíduos orgânicos provenientes do Hospital Universitário. São tratados aproximadamente 2 toneladas de resíduos sólidos orgânicos diariamente. Os resíduos orgânicos sofrem uma prévia segregação nas fontes e são acondicionados em bombonas plásticas, hermeticamente fechadas com tampa, possuem alças laterais e capacidade de 50 litros. No momento da coleta as bombonas cheias são substituídas por bombonas vazias e limpas e posteriormente conduzidas para o pátio de compostagem. Após a coleta os resíduos são encaminhados para o pátio de compostagem, que é mantido pela prefeitura universitária.

No pátio de compostagem, as leiras são confeccionadas por alunos e professores do curso de Agronomia. O composto produzido é utilizado nas atividades do curso de Agronomia, no horto da prefeitura universitária e também na manutenção de canteiros e faixas de domínio do campus da UFSC

Segundo INÁCIO (1998) a montagem das leiras é feita manualmente e em camadas, sendo a primeira de cama animal ou folhas secas – materiais que garantem a aeração da pilha. Em seguida é despejado o material orgânico proveniente da coleta seletiva, sendo que a última camada é feita de grama. As leiras de compostagem possuem seção transversal retangular com 2,00 metros largura e aproximadamente 1,10 metros altura. O comprimento vai variar em função da quantidade de material adicionado à leira de compostagem. O quadro 14 descreve a composição dos materiais adicionados às leiras de compostagem.

**Quadro 14** – Quantidade diária e classificação dos resíduos orgânicos coletados

Tipo de resíduo	Peso (Kg)	% (peso)	Volume (m <sup>3</sup> )	% volume
Cascas de frutas e restos de comida	1000	63,0	2,0	31,0
Cama de cobaias (biotério)	350	22,0	2,4	38,0
Apara de grama	230	15,0	2,0	31,0
Total	1580	100	6,4	100

Fonte: ZAMBONIM, 1997.

O processo de compostagem é dividido em duas fases distintas: fase termofílica e a fase de maturação. A atividade microbiana de decomposição termina por gerar grande calor e a elevação da temperatura interna durante a fase termofílica do processo de compostagem.

Um dos diferenciais da aplicação desta tecnologia está no fato de serem adicionados resíduos estruturantes, capazes de introduzir naturalmente o oxigênio para o interior da leira de compostagem. Durante toda a fase termofílica, aproximadamente 120 dias, não são realizados revolvimentos. Estes são necessários apenas quando a temperatura em diferentes pontos da leira de compostagem estiverem na faixa mesofílica, caracterizando a redução da atividade microbiana e a extinção de matéria orgânica. É aconselhável que o revolvimento das leiras de compostagem seja realizado por uma retro – escavadeira. Após o revolvimento, o composto fica estocado dando início a fase de maturação. A figura 5 ilustra a confecção da leira de compostagem, no pátio de compostagem, realizada pelos estagiários do curso de agronomia da UFSC. Esta metodologia será adotada neste trabalho de pesquisa.



**Figura 5** – Tratamento dos resíduos orgânicos provenientes da coleta seletiva nas grandes fontes geradoras do campus da UFSC.

O Centro de Ciências Agrárias também possui um convênio com a CEASA, localizada no município de São José, desde março de 1997. São valorizados aproximadamente de 5 a 8 toneladas de resíduos orgânicos gerados em suas dependências. Os resíduos são varridos nas dependências da CEASA e separados simultaneamente. Parte dele é destinado à compostagem.

A coleta é feita por caminhão basculante e retro - escavadeira. As leiras são confeccionadas e monitoradas por alunos do curso de Agronomia da UFSC. O quadro 15 descreve a composição dos materiais adicionados às leiras de compostagem.

**Quadro 15** – Quantidade e classificação dos resíduos orgânicos recolhidos na CEASA/São José no mês de agosto de 1997.

Tipo de resíduo	Volume (m <sup>3</sup> )	% do volume total	Peso (ton)	% peso
Restos de frutas e vegetais	189	21	108,7	82
Material fibroso (palhas)	126	14	14,5	11
Caixarias de madeira e papelão	588	65	28,8	7
Total	903	100	132	100

Fonte: ZAMBONIM, 1997.

#### 2.6.4.2. Método acelerado

A aeração é forçada por tubulações perfuradas, sobre as quais se colocam as pilhas de lixo, ou em reatores, dentro dos quais são colocados os resíduos, avançando no sentido contrário em pilhas, como no método natural. Posteriormente, são dispostos em pilhas, como no método natural. O tempo de residência no reator é de cerca de quatro dias e o tempo total de compostagem acelerada varia de dois a três meses (CEMPRE, 2002).

##### 2.6.4.2.1. Compostagem em pilhas estáticas aeradas

Segundo AZEVEDO (1997), o sistema de compostagem por aeração forçada – leiras estáticas aeradas foi desenvolvido em Belville, Maryland – EUA, em 1975, como um método específico para o tratamento de lodos de esgotos domésticos.

Este método mantém as características de baixo custo e permite a ação de um grau satisfatório de controle no processo. Constitui um sistema simples, flexível e eficiente como processo de tratamento do lixo urbano e lodo de esgoto.

A demanda de oxigênio é atendida por aeração forçada, acionada por sensores, que controlam o tempo de aeração ou pela fixação de operações de aeração em um período teórico de 02 minutos, com 18 minutos de intervalo em regime de 24 horas. Consistem em formar pilhas de materiais orgânicos sobre leitos de compostagem, no qual estão assentados sobre tubos perfurados. Com o auxílio de um compressor injeta-se ar no interior da leira de compostagem (PEREIRA NETO, 1990).

##### 2.6.4.2.2. Compostagem em recintos fechados

Neste método os resíduos a compostar ficam em recintos confinados (fechados), em contêineres, tubulões ou silos, sendo mantida a aeração (BLEY, 1998). Neste método é possível um controle detalhado da umidade, temperatura e taxa de oxigenação.

Normalmente os sistemas baseados em reatores mecânicos apresentam alto grau de controle e instalações de alto custo (AZEVEDO, 1997).



#### 2.6.4.2.3. Compostagem com adição de microorganismos catalisadores

Em geral, são sistemas mecanizados com elevado custo de implantação e operação, pois, em razão das características dos resíduos e das condições climáticas dos países de origem, esses sistemas são dotados de unidades fechadas de bioestabilização, que funcionam como uma célula catalisadora que ativa a fase inicial do processo de compostagem, onde o tempo de residência é, em média, de três a quatro dias. A fase de maturação normalmente é negligenciada, colocando em risco a higienização do material (STENTIFORD, PEREIRA NETO, 1992).

#### 2.6.5. MUDANÇAS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A compostagem é um processo capaz de reciclar qualquer resíduo orgânico comumente encontrado no lixo urbano e rural. Dentre estes resíduos, tem – se os restos de alimentos, de frutas, legumes, folhas, grama, sobras de culturas, esterco, lodos de esgoto, etc. Esses resíduos já são colonizados com um grande número de microorganismos, os quais apresentam propriedades para degradar vários compostos orgânicos. (PEREIRA NETO, 1996).

A medida em que o processo de compostagem se inicia, há proliferação de populações complexas de diversos grupos de microorganismos, entre eles bactérias, fungos, actinomicetes, protozoários, algas, além de vermes, insetos e suas larvas, que vão se sucedendo de acordo com as características do meio (KIEHL, 1985).

Como resultado dessa intensa digestão da matéria orgânica por esses organismos, haverá liberação de elementos químicos, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, os quais deixam a forma orgânica, dita imobilizada, para passarem ‘a forma de nutrientes minerais chamada mineralizada, disponível às plantas.

As condições impostas á massa de compostagem favorecem a atividade de microorganismos aeróbios, facultativos, anaeróbios, psicrófilos, mesófilos, termófilos, etc., que se sucedem durante o processo de compostagem.

Segundo FERNANDES et all (1999), o processo de compostagem pode ser representado pelo esquema mostrado na figura 6.

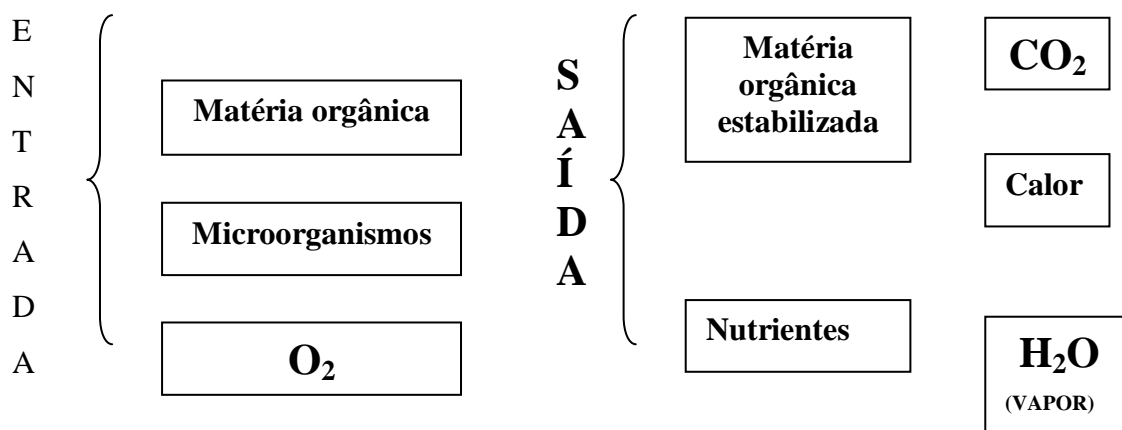


Figura 6: Esquema simplificado do processo de compostagem

Segundo PEREIRA NETO (1996) é muito difícil descrever as mudanças bioquímicas e microbiológicas ocorrentes durante o processo. Contudo a temperatura consiste no parâmetro mais indicativo da atividade microbiológica nos processos de compostagem.

Logo que os resíduos são amontoados, a flora mesofílica inicia o processo degradativo dos compostos imediatamente degradáveis, e a energia liberada na forma de calor fica retida na massa de compostagem por causa das características térmicas do material.

Caso os procedimentos definidos no projeto forem favoráveis (umidade, nutrientes, aeração, etc.) ocorrerá o aumento gradativo da temperatura com valores próximos a 45°C, caracterizando a fase de degradação ativa dos resíduos orgânicos. Na fase de degradação ativa, objetiva – se basicamente maximizar a degradação e eliminar os microorganismo patogênicos, bem como larvas de insetos, ovos de helmintos, sementes de ervas daninhas, dentre outros.

As bactérias termofílicas, fungos e actinomicetes multiplicam – se tão logo a temperatura atinja a faixa de 55 – 60 °C e iniciam o ataque aos polissacarídeos, como amido, celulose e proteínas, transformando – os em sub – produtos (açúcares simples e aminoácidos), que são utilizados por várias outras espécies de microorganismos.

As bactérias são responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica, o que gera a liberação de calor na massa de compostagem. Os fungos são microorganismos aeróbios obrigatórios. Preferem meios mais ácidos, apresentando também atividade em meio alcalino. São bastante eficientes na faixa termofílica e na degradação de compostos carbonáceos, como a celulose e a lignina, entre outros. Já os actinomicetos representam um grupo bem heterogêneo de microorganismos, com características de fungos e bactérias. Têm habilidade para se reproduzirem em ambientes com baixos teores e altas temperaturas. Desempenham papel importante na decomposição de substâncias que normalmente não são decompostas por fungos e bactérias. Suas colônias são visíveis a olho nu através da cor esbranquiçada que conferem as partículas situadas a 15 cm de profundidade da superfície da leira (PEREIRA NETO,1996).

Exauridas as fontes de carbono mais imediatas, a temperatura no interior da massa de compostagem começa a declinar para valores inferiores a 60 °C, e a leira começa a resfriar. Nesta fase os microorganismos, mesofílicos, principalmente os fungos e actinomicetes, situados nas zonas periféricas da leira, reinvaem a massa de compostagem, recomeçando um ataque aos compostos mais resistentes.

A medida que o substrato orgânico for em sua maior parte transformado, a temperatura diminui, a população termofílica se restringe, a atividade biológica global se reduz de maneira significativa e os mesofílicos se instalam novamente. Nesta fase, a maioria das moléculas facilmente biodegradáveis foram transformadas, o composto apresenta odor agradável e já teve início o processo de humificação, típico da segunda etapa do processo, denominada maturação (FERNANDES et all, 1999).

Quando o material atinge a temperatura de 40 °C, o material deve ser colocado para maturar. Durante a maturação, os fungos e, principalmente os actinomicetos tornam – se o grupo dominante, dando continuidade a degradação, a redução dos microorganismos patogênicos remanescentes e primordialmente a humificação dos intermediários mais estáveis (PEREIRA NETO, 1996).

Independente do método ou sistema de compostagem utilizado, a produção do composto dá – se somente após a fase de maturação, quando ocorrem as reações enzimáticas de humificação. Todavia, pouquíssimas usinas de compostagem do país tem seus sistemas dimensionados para o desenvolvimento de tão importante fase. De modo geral, assim que a temperatura da leira atinge valores abaixo de 40°C, o material é classificado como composto não maturado, visto que a produção de toxinas, ocorrente e emanada durante a maturação, poderá ocorrer no solo , interferindo em sua ecologia e causando sérios prejuízos ao plantio (PEREIRA NETO, 1989).

É aconselhável que durante a fase de maturação o composto orgânico permaneça em repouso, em formato cônico, protegido de chuvas, onde atingirá a completa humificação sem necessitar de nenhuma ação externa (PEREIRA NETO, 1987).

Se o composto não for armazenado logo, é preferível armazená-lo em local coberto para proteger do sol e do excesso de água, a qual deixaria o adubo com umidade acentuada para o transporte, aplicação e comercialização.

KIEHL (1979) coloca que o composto cru ou semicurado deve ser guardado em montes com alturas máximas de 1,5 a 1,8 metros, enquanto que o composto curado, que não mais se aquece quando empilhado, pode ser armazenado com alturas maiores.

#### 2.6.6. HIGIENIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Entre os agentes e mecanismos capazes de influenciar na eliminação dos microorganismos patogênicos durante a compostagem, tem-se: competição entre as espécies, destruição de nutrientes, fatores antibióticos, calor e tempo de exposição à alta temperatura (GOLUEKE et all, 1984; STENTIFORD, PEREIRA NETO, 1992).

Esses fatores são característicos dos processos de compostagem, como natural consequência do comportamento ecológico do sistema. Entre os mecanismos, a temperatura, sem dúvida, reverte-se da maior importância, sendo o único fator que pode ser verdadeiramente controlado a níveis desejados, permitindo um produto final seguro (PEREIRA NETO, 1989)

A compostagem tem sido uma das alternativas utilizadas na eliminação de agentes patogênicos. O processo de compostagem consiste numa intensa atividade microbiológica, fazendo com que as bactérias termofílicas mantenham uma temperatura no meio elevada (55 – 65°C) (SOCCOL, 1998), destruindo assim total ou parcialmente os agentes patogênicos. A literatura demonstra que a relação tempo/temperatura é fundamental para que o processo atinja a eficiência desejada.

O quadro 16 ilustra a experiência de pesquisa desenvolvida em laboratório, *in vitro*, por Clarence Golueke (1992), considerada uma das maiores autoridades em compostagem (STENTIFORD, PEREIRA NETO, 1992).

**Quadro 16** - Ponto de morte térmica de patógenos que causam doenças ao homem

Organismos	Temperatura (°C)
<i>Salmonella typhosa</i>	Parada de Crescimento a 46 °C; Morte, 30min. a 55-60 °C
<i>Salmonella spp</i>	Morte, 15-20 min. a 60 °C; 1h a 55 °C
<i>Escherichia coli</i>	Morte, 15-20 min. a 60 °C; 1h a 55 °C
<i>Endamoeba histolytica</i>	Morte, 68 °C
<i>Taenia saginata</i>	Morte, 5min. a 71 °C
<i>Trichinella spiralis</i>	Redução efetiva 1h e exposição a 50 °C; Morte, 62 – 72 °C
<i>Necator americanus</i>	Morte, 50 min. a 45 °C
<i>Micrococcus pyogenes</i>	Morte, 10 min. a 50 °C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Morte, 10 min. a 54 °C
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Morte, 15 – 20 min. a 66 °C
<i>Mycobacterium diptheriae</i>	Morte, 45 min. a 55 °C
<i>Shigella</i>	Morte, 1h. a 55 °C

Fonte: Golueke (1984).

Teoricamente, esse tempo de compostagem deve ser superior ao tempo máximo requerido para eliminar o patógenos mais resistente.

No quadro 16, observa – se que se a manutenção da temperatura entre 55 – 60 °C, por um período médio de uma hora, é suficiente para eliminar qualquer patógeno.

Segundo estudos da United States Environmental Protection Agency (USPA, 1995), o tempo de sobrevivência máximo comum de patógenos no solo é de até 75 dias para bactérias, 12 dias para vírus, oito dias para protozoários e dois anos para ovos de helmintos. Para este último grupo o valor máximo absoluto pode chegar a sete anos, tornando o grupo de agentes patogênicos de maior preocupação para um processo de reciclagem agrícola dos resíduos sólidos urbanos. A persistência dos patógenos no solo é comumente aumentada em baixas temperaturas, pH neutro e barreiras físicas contra radiações ultravioleta. Sua capacidade de movimentação está ligado a percolação de líquidos no interior da massa de resíduos sólidos. A literatura demonstra que a manutenção de temperaturas termofílicas por longo período é fundamental para a eliminação de microorganismos potencialmente patogênicos.

Segundo PEREIRA NETO E STENTIFORD (1992) relatam que o fim do substrato é de decisiva importância no que concerne à recontaminação na massa de compostagem, previamente higienizada (livre de patógenos), ou seja, a recontaminação é diretamente proporcional ao teor de substrato disponível.

#### 2.6.7. ASPECTOS SANITÁRIOS DA APLICAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO

A legislação aplicável à utilização de fertilizantes orgânicos foi feita visando regulamentar o comércio de composto preparado a partir de resíduos agrícolas, não sendo adequada para o produzido a partir da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos.

As características dos materiais comercializados como fertilizantes devem obedecer às especificações de Legislação Brasileira, do Ministério da Agricultura. O Decreto – Lei nº 86.955, de 18/02/82, a Portaria MA 84, de 29/03/82, e a Portaria nº 01, da Secretaria de Fiscalização Agropecuária do Ministério da Agricultura, de 04/03/83, dispõem sobre a inspeção e a fiscalização da produção e comércio de fertilizantes e corretivos agrícolas e aprovam normas sobre especificações, garantias e tolerâncias, além de estabelecer limites mínimos para alguns parâmetros no composto orgânico, conforme descreve a quadro 17.

**Quadro 17** – Especificação dos fertilizantes orgânico – mineral e “composto”

Parâmetro	Organo - mineral	Composto
Matéria orgânica total	Mínimo de 15% / 13,5%*	Mínimo de 40% / 36%
Nitrogênio total	Conforme declarado no registro	Mínimo de 1,0% / 0,9%
Umidade	Máximo de 20% / 22%	Máximo de 40% / 44%
Relação C/N	---	Máximo de 18/1 / 21/1
pH	Mínimo de 6,0 / 5,4	Mínimo de 6,0 / 5,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Conforme declarado no registro	---
K <sub>2</sub> O	Conforme declarado no registro	---

Fonte: CETESB, 1997

A composição química de nutrientes presentes no lodo de esgoto e lixo urbano é bem definida, pois os valores N, P, K, Ca, Mg e S máximos geralmente não ultrapassam em 10 vezes dos valores mínimos, já que estes materiais são normalmente provenientes de dejetos humanos, detritos domésticos e restos de plantas (MIYAZAWA, et all, 1999).

Cabe acrescentar que a Legislação não aponta, para o composto orgânico, especificações relativas à presença de metais pesados, questão preocupante quando se trata de resíduos urbanos domiciliares.

A Portaria MA 84, de 29/3/82, diz somente que “no requerimento de registro, o produto (fertilizante) deverá apresentar declaração expressa de ausência de agentes fitotóxicos, agentes patogênicos ao homem, animais e plantas, assim como metais pesados, agentes poluentes, pragas, e ervas daninhas”, sem estabelecer limites toleráveis para a sua aplicação no solo, onde podem ter efeito cumulativo.

A produção de compostos com baixos níveis de metais é possível, mediante uma coleta seletiva eficiente é possível, onde os resíduos sólidos venham previamente segregados das diferentes fontes geradoras, evitando a presença de elementos que apresentem riscos de contaminação, como pilhas, metais metálicos, tintas, solventes, lâmpadas fluorescentes, etc. Na maioria dos casos, a coleta seletiva não é feita de forma eficiente, podendo ocorrer contaminação da fração orgânica, e posteriormente o composto orgânico produzido.

Entretanto, o composto orgânico apresenta uma característica de alta capacidade quelante e tamponante, alta CTC, pH na faixa de 7 – 8, etc., diminuindo com isto os riscos de contaminação do meio ambiente ao ser aplicado no solo. É importante salientar que a maioria dos metais pesados são micronutrientes para as plantas, excluindo o Cd, Pb e Hg, sendo que os demais são requeridos pela planta, para que esta apresente um ótimo desenvolvimento.

Em alguns países da Europa e nos Estados Unidos, existem normas estabelecendo limites para os teores de metais pesados no composto e taxas de aplicação de composto ao solo, conforme quadro 18.



**Quadro 18** - Valores aceitáveis de metais pesados, em mg/kg, na base seca, para compostos de lixo em alguns países da Europa.

Parâmetro	França	Áustria	Itália	Suíça	Alemanha
Pb	800	900	500	150	150
Cu	----	1000	600	150	100
Zn	----	1500	2500	500	400
Cr	----	300	500	----	100
Ni	200	200	200	----	50
Cd	8	6	10	3	1,5
Hg	8	4	10	3	1,0

Fonte: GROSSI, 1993, caput CETESB, 1997.

Os teores de metais pesados solúveis no solo são geralmente baixos, entretanto, o emprego de fungicidas, fertilizantes minerais e esterco de animais na agricultura, além do descarte de resíduos sólidos urbanos e industriais, tais como o lixo e o lodo de esgoto, podem elevar as concentrações de metais pesados no solo a níveis capazes de causar danos à biota (MIYAZAWA, et all, 1999) . As concentrações de metais pesados presentes nos resíduos sólidos urbanos e resíduos industriais podem apresentar grande variação, os quais estão diretamente relacionados com a atividade econômica regional.

Como alternativa para a destinação do composto orgânico produzido a partir da reciclagem da matéria orgânica tem – se a aplicação do adubo no ajardinamento e manutenção de logradouros e faixas de domínio públicos do município, além da utilização em campanhas de educação sanitária - ambiental. Uma campanha de esclarecimento e divulgação das vantagens do uso na agricultura garantirá a comercialização do composto orgânico.

Se o composto for efetivamente de boa qualidade, isto é, se estiver bem curado e isento de materiais inertes indesejáveis, sua aplicação na agricultura é análoga a do esterco de curral. Assim, as mesmas quantidades usadas de esterco de curral para as culturas perenes ou anuais, podem ser aplicadas para o composto orgânico do lixo (CEMPRE, 2002).

### **3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

#### **3.1. CARACTERIZAÇÃO DO UNIVERSO – MUNICÍPIO DE ANGELINA/SC**

A colonização do município de Angelina teve início no ano de 1858, com a chegada dos primeiros imigrantes alemães. Na ocasião a localidade recebeu a denominação de Vila Mundéus. Posteriormente, recebeu o nome de Angelina e em 7 de dezembro de 1961 foi elevada a categoria de Município. A figura 5 ilustra uma foto aérea do perímetro urbano do município de Angelina.

Localizado nas proximidades do Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, o município possui altitude média de 650 metros, com predominância da unidade de relevo formada por escudos cristalinos, com encostas bastante íngremes. Na região aparecem os climas mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos com geadas e temperaturas podendo chegar a 0°C. Seus rios pertencem a Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas, os quais contribuem para o Sistema de Vertente do Atlântico. A sede do município possui as seguintes coordenadas geográficas: Latitude 27° 35' 00" e Longitude 48° 59' 30"

Angelina pertence à região da Grande Florianópolis, limitando - se ao sul com os municípios de Rancho Queimado, Alfredo Wagner e Águas Mornas; ao norte, com Major Gercino; a leste com São Pedro de Alcântara e Antônio Carlos; e a oeste com Leoberto Leal.

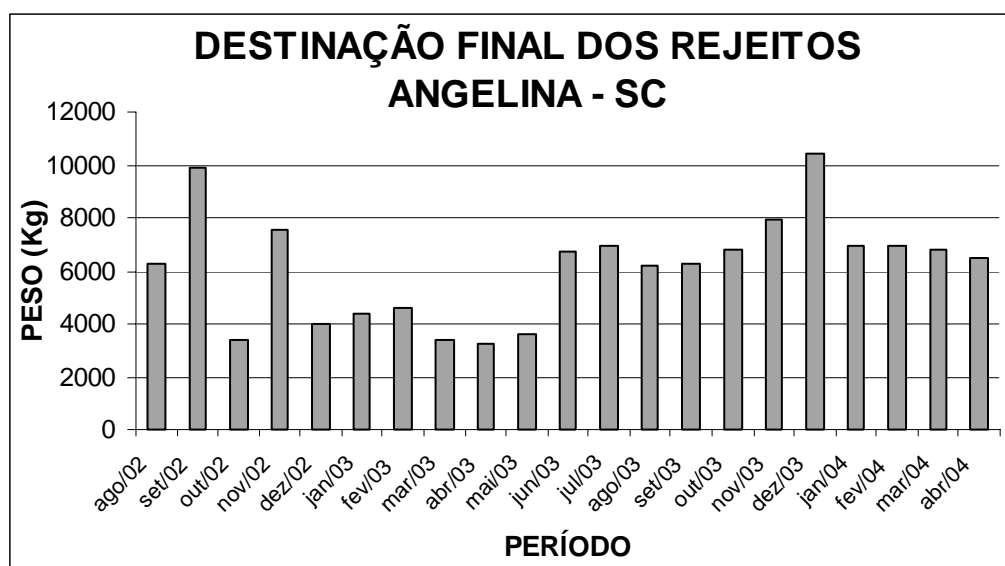
O acesso é via Rodovia Federal, BR 282, pavimentada, no sentido Florianópolis – Rancho Queimado/SC e posteriormente, pela Rodovia Estadual pavimentada SC 407.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2000), o município de Angelina possui população total de 5.772 habitantes, distribuídos em uma área territorial de 625 Km<sup>2</sup>. Cerca de 82,48 % da população, o equivalente a 4.761 habitantes, residem na zona rural do município. O restante da população, cerca de 1.011 habitantes, reside no perímetro urbano do município.

O presente estudo foi realizado no Centro de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos – CTCRSU, localizado no Bairro Garcia, zona rural do município de Angelina – Santa Catarina, distante a aproximadamente 18 Km da sede. O estudo teve duração de aproximadamente 1 ano, compreendido entre o período de maio de 2002 a maio de 2003. O levantamento dos dados para a elaboração do trabalho de pesquisa aconteceram concomitantemente com a implantação do Programa Municipal de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos no município de Angelina – SC. As leiras de compostagem foram monitoradas em escala real.

### 3.2. COLETA SELETIVA NO MUNICÍPIO DE ANGELINA - SC

A obrigatoriedade em adequar – se ao Termo de Ajustamento de Conduta, firmado com o Ministério Público Estadual, fez com que a administração municipal encaminhasse os resíduos sólidos urbanos gerados no município de Angelina para um aterro sanitário licenciado pela FATMA/SC. Como o município não possuía aterro sanitário, os gastos com a disposição final seriam elevados, em torno de R\$ 60,00/tonelada. Dessa forma, optou – pela implantação do programa municipal de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos. A figura 7 ilustra a quantidade de resíduos sólidos urbanos, “rejeitos”, encaminhados para o aterro sanitário, nos dois primeiros anos de operação do programa de coleta seletiva de resíduos sólidos do município de Angelina – SC.



**Figura 7:** Rejeitos encaminhados para aterro sanitário após a implantação do sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos

Além do benefício econômico, a implantação da coleta seletiva, proporcionou, entre outros, a geração de empregos diretos e indiretos e maior envolvimento e responsabilização da população sobre as questões relativas ao meio ambiente. As ações de divulgação e educação sanitária e ambiental consistiram basicamente na elaboração de um folder ilustrativo do projeto (conforme anexo 2), de visitas porta – a – porta, da realização de reuniões expositivas do projeto junto à população e principais lideranças comunitárias, além da capacitação dos profissionais envolvidos nas etapas de segregação, coleta, triagem, tratamento e transbordo dos resíduos sólidos urbanos.

Concomitantemente às ações de cunho técnico, operacional e legal, as ações de divulgação e orientação da população envolvida sobre as diretrizes do projeto são fundamentais para a sustentabilidade do projeto de coleta seletiva de resíduos sólidos.

### 3.2.1. FONTES GERADORAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS

No sentido de otimizar as etapas operacionais da coleta seletiva de lixo torna-se necessária a distinção das fontes geradoras dos resíduos em função da quantidade de lixo orgânico gerados diariamente.

As fontes geradoras de resíduos são classificadas em: grandes fontes geradoras de lixo orgânico (normalmente os estabelecimentos comerciais, tais como: restaurantes, escolas, casas de suco, madeiras, feiras livres e hotéis, etc) e pequenas fontes geradoras de lixo orgânico (basicamente os domicílios unifamiliares).

#### 3.2.1.1. Distribuição dos domicílios no município de Angelina

A maioria da população de Angelina, cerca de 82% dos habitantes, reside na zona rural do município. A área territorial do município é muito extensa, em torno de 645 km<sup>2</sup>. A Secretaria Municipal de Saúde Programa de Saúde através do Programa de Saúde Familiar – PSF atende todos os domicílios, através de visitas periódicas dos Agentes de Saúde. O município é dividido em 2 áreas, subdivididas em 15 micro áreas, atendendo no total 51 localidades. O quadro 19 ilustra a distribuição dos domicílios na zona rural e no perímetro urbano de Angelina.

**Quadro 19:** Distribuição dos domicílios no município de Angelina

REGIÃO	DOMICÍLIOS
PERÍMETRO URBANO	123
ZONA RURAL	789
TOTAL	912

3.2.1.2. Estabelecimentos comerciais, industriais e de saúde

A seguir são descritos os estabelecimentos comerciais, indústrias e unidades de saúde instalados no município de Angelina.

- Estabelecimentos comerciais
  - Sorveteria - 01
  - Padaria – 01
  - Agropecuária – 05
  - Supermercado – 03
  - Posto de combustível – 03
  - Funerária – 02
  - Açougue – 02
  - Bar, Armazém, Botequim, Café e Lanches - 42
  - Café Colonial - 01
  - Restaurante – 06
  - Comércio em Geral – 24
  - Hotel – 02
  
- Indústrias
  - Indústria de Artefatos de Cimento – 01
  - Indústria de Papel e Papelão – 01
  - Serrarias e Indústria de Esquadrias de Madeira – 05
  - Indústria e Comércio de Confecções – 02
  - Indústria de Esquadrias de Madeira - 03
  - Escavação e Extração de Areia - 01

- Estabelecimentos de Saúde
- Hospital e Maternidade – 01
- Postos de Saúde – 04
- Farmácia – 02
- Consultório Odontológico – 02

### 3.2.2. SEGREGAÇÃO E ACONDICIONAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NAS DIFERENTES FONTES GERADORAS

A correta segregação e acondicionamento dos resíduos nas fontes geradoras irá refletir no sucesso das etapas operacionais sub – seqüentes de coleta, triagem, tratamento e transbordo dos resíduos sólidos. Os resíduos sólidos são segregados nas diferentes fontes geradoras em três categorias distintas, descritos no quadro 20.

**Quadro 20:** Separação dos resíduos sólidos urbanos

<u>RECICLÁVEIS</u>	<u>ORGÂNICOS</u>	<u>REJEITOS</u>
- plásticos	- cascas de frutas e verduras	.. - papel higiênico
- vidros	- restos de comida	.. - fraldas descartáveis
- metais	- folhas	.. - cotonetes
- pilhas	- poda vegetal	.. - absorventes femininos
- lâmpadas	- grama	.. - preservativos, etc.
- papéis	- erva mate	
- papelão, etc.	- borra café, etc.....	

Os resíduos sólidos provenientes das residências são separados e posteriormente acondicionados em sacos plásticos. Normalmente são utilizadas sacolas de supermercado para o acondicionamento do lixo doméstico.

Nas residências é aconselhável que os restos de comida, cascas de frutas e de verduras sejam dispostos em uma lixeira revestida com sacos plásticos. No sentido de facilitar a separação e acondicionamento do lixo orgânico domiciliar, é aconselhável que seja utilizada um recipiente (lixeira plástica), revestida com sacolas plásticas, normalmente de supermercado, colocada sobre a pia, conforme indica a figura 8.

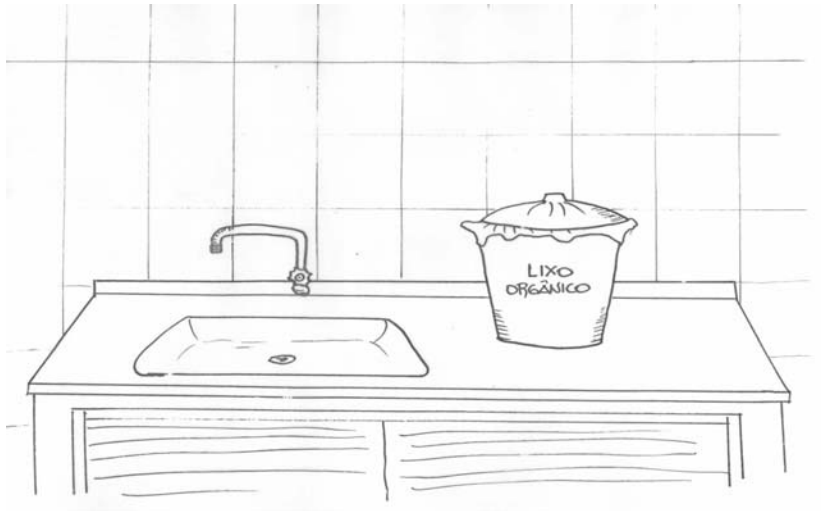


Figura 8 – Acondicionamento do lixo orgânico domiciliar

Os resíduos provenientes das grandes fontes geradoras de resíduos orgânicos são acondicionados em bombonas hermeticamente fechadas, com capacidade de armazenamento de 50 litros, que possuem alças laterais para facilitar o manuseio, transporte e tratamento dos resíduos.

A coleta dos resíduos nas grandes fontes geradoras respeitará um rodízio, sendo que no momento da coleta, as bombonas cheias, contendo os resíduos orgânicos previamente separados, serão substituídas por bombonas vazias e limpas, e posteriormente encaminhadas para o CTCRSU.

Na zona rural do município a população é incentivada a valorizar, os resíduos orgânicos na sua própria propriedade. Normalmente as famílias que residem na zona rural tem o costume de utilizar o lixo orgânico na alimentação de animais ou na produção de adubo orgânico.

Nas localidades de difícil acesso, são definidos locais de entrega voluntária de lixo doméstico “Casinhas de Lixo”, com a finalidade de atender periodicamente os domicílios.

### 3.2.3. COLETA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A coleta seletiva dos resíduos sólidos é realizada por um único veículo, Modelo Agrale, ano 2002, adaptado exclusivamente para a coleta seletiva. A carroceria do veículo é dividida em três compartimentos distintos para acondicionar os diferentes materiais.

Os serviços de coleta do lixo urbano são realizados pelos funcionários da Prefeitura Municipal de Angelina. A equipe de coleta seletiva é composta por um motorista e dois ajudantes.

### 3.2.4. ROTEIROS E PERIODICIDADE DA COLETA SELETIVA DE LIXO

A coleta dos resíduos é setorizada com frequência de 3 vezes por semana no perímetro urbano e atendimento de no máximo a cada 15 dias nas comunidades da zona rural do município.

No dimensionamento dos itinerários da coleta seletiva foi necessária uma avaliação criteriosa da contribuição e periodicidade de atendimento dos diferentes roteiros, além da necessidade de ter um veículo ágil e com capacidade de carga compatível com a geração dos resíduos coletados. O anexo 3 ilustra os itinerários da coleta seletiva no município de Angelina. A coleta seletiva atende todas os bairros de Angelina, incluindo as comunidades da zona rural.

Após a coleta diária dos resíduos sólidos, o veículo se desloca para o Centro de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos - CTCRSU, onde cada material recebe o tratamento e destinação final específica.



### 3.3. CENTRO DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

O Centro de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos – CTCRSU é constituído por um galpão de triagem de resíduos recicláveis, pátio de compostagem dos resíduos orgânicos e uma estação de transbordo dos rejeitos. O anexo 04 ilustra a planta de locação do Centro de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos de Angelina, um corte do pátio de compostagem .

A implantação de Usinas de Triagem e Compostagem está condicionada à aprovação do órgão ambiental estadual, Fundação do Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina – FATMA/SC (FATMA, 2002), conforme Resolução CONAMA nº 1 de 1996 e PORTARIA MINTER nº 53, de 1º março de 1979, através do encaminhamento do licenciamento ambiental da atividade, descrito na Lei Estadual nº 5.793 de 15 de outubro de 1980, regulamentada pelo Decreto 14.250, de 05 de junho de 1981.

O licenciamento ambiental é um procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente verifica a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais considerados efetivos ou potencialmente poluidoras ou que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental (FINK; ALONSO; DAWALIBI, 2002). Esse procedimento naturalmente vincula – se às disposições legais e normativas, aplicáveis a cada atividade a ser licenciada.

O Centro de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos - CTCRSU está instalado junto à Casa Familiar Rural, localizado no Bairro Garcia, distante a aproximadamente 18 Km da sede do município de Angelina. O CTCRSU possui as seguintes coordenadas geográficas: 27° 28' 39"S de latitude e 48° 58' 49" de longitude e uma altimetria aproximada de 203 metros acima do nível do mar.

A Casa Familiar Rural caracteriza – se como um centro de ensino onde os alunos, na sua grande maioria, filhos de agricultores de Angelina e região, permanecem uma semana na instituição e duas na própria propriedade. Os alunos têm a possibilidade de aprender a técnica de compostagem termofílica em leiras estáticas e aplicar no tratamento dos resíduos orgânicos gerados na própria propriedade.

### 3.3.1. DESCARGA, TRIAGEM, ACONDICIONAMENTO E DESTINO FINAL DOS RESÍDUOS RECICLÁVEIS E REJEITOS NO CTCRSU

#### 3.3.1.1. Resíduos recicláveis

Ao chegarem no CTCRSU, os resíduos recicláveis são encaminhados para o galpão de triagem, onde são descarregados, segregados e enfardados.

Eventualmente, junto com os resíduos recicláveis, também podem estar presentes resíduos orgânicos e/ou rejeitos. Estes materiais são segregados e encaminhados, respectivamente, para o pátio de compostagem, ou para a estação de transbordo dos rejeitos.

#### 3.3.1.2. Resíduos orgânicos

Os resíduos orgânicos são descarregados e triados em local coberto, destinado exclusivamente para este fim, localizado nas proximidades do pátio de compostagem. Após a triagem os resíduos orgânicos são acondicionados em bombonas plásticas, hermeticamente fechadas, com alças laterais e com capacidade de armazenagem de 50 litros, conforme figura 9.



**Figura 9:** acondicionamento dos resíduos orgânicos

Os resíduos orgânicos devido ao seu elevado potencial poluidor (atração de vetores, emissão de mau cheiro e geração de chorume) são prioridade no processo de triagem.

Os resíduos orgânicos provenientes das residências, eventualmente podem conter resíduos recicláveis. Estes são segregados e encaminhados para a mesa de triagem dos resíduos recicláveis. Após passar pelo processo de triagem manual em mesas fixas os resíduos orgânicos são acondicionados em bombonas de 50 litros e posteriormente encaminhados para o pátio de compostagem.

Os resíduos orgânicos provenientes das grandes fontes geradoras não passam pelo processo de triagem manual. A identificação da fonte geradora, na própria bombona, permite o monitoramento da efetiva segregação dos resíduos orgânicos no estabelecimento.

#### 3.3.1.3. Rejeitos

Os rejeitos são descarregados e dispostos em uma estação de transbordo. A figura 5 ilustra o acondicionamento dos rejeitos em sacos de aniagem ou sacos plásticos. Devido à presença de uma elevada concentração de microorganismos potencialmente patogênicos, os rejeitos não passam por um processo de triagem.

Além do lixo do banheiro, também se enquadram como rejeitos alguns materiais, segregados no centro de triagem, que não tem viabilidade técnica e econômica de serem valorizados, tais como: papel plastificado ou metalizado, acrílico, isopor, panos e roupas sujas, fotografias, papel carbono, entre outros.



**Figura 10** – Acondicionamento dos rejeitos

O dimensionamento da estação de transbordo obedece a critérios de engenharia determinados pela NBR 11.174.

Os rejeitos ficam acumulados por um período médio de 30 dias, até serem transportados obrigatoriamente para um aterro sanitário licenciado pela Fundação do Meio Ambiente do estado de Santa Catarina – FATMA.

### 3.4. TRATAMENTO DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA EM LEIRAS ESTÁTICAS

#### 3.4.1. MATÉRIA PRIMA UTILIZADA NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

##### 3.4.1.1. Matéria prima principal

Na confecção das leiras de compostagem, são utilizados a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos provenientes da coleta seletiva. Os resíduos orgânicos encaminhados para a compostagem têm a seguinte procedência:

- triagem dos resíduos orgânicos;
- triagem dos resíduos recicláveis;
- grandes fontes geradoras de lixo orgânico (escolas, restaurantes, hotéis, etc);

#### 3.4.1.2. Resíduos auxiliares estruturantes

De modo a otimizar o processo de compostagem, torna-se necessário adicionar um material auxiliar, que forneça estrutura apropriada para a construção das leiras de compostagem, absorção do excesso de umidade e principalmente à porosidade necessária à manutenção das condições aeróbias no interior da leira de compostagem. Serão utilizados para este fim cavacos de madeira, serragem ou cepilho, provenientes de serralherias ou madeireiras.

#### 3.4.1.3. Composto maturado ou Esterco bovino

Composto maturado ou resíduo inoculante constitui-se em um material orgânico estabilizado, proveniente de sistemas de compostagem termofílica em leiras estáticas. A sua adição no sistema tem como função introduzir uma população de microorganismos que já passaram pelo processo de degradação ativa (fase termofílica) e também acelerar o processo de estabilização da matéria orgânica. Pesquisa realizada por PEREIRA NETO (1995), utilizando o método Windrow de compostagem, comprovaram que a quantidade de “esterco bovino” que se mostrou mais satisfatória foi de 20% com relação ao peso do material a ser compostado, para que fosse obtido o teor de 55% de sólidos voláteis. A carência de nitrogênio pode ser complementada com a adição de resíduos com baixa relação C/N.

#### 3.4.1.4. Resíduos da manutenção de jardins e faixas de domínio

São resíduos provenientes da manutenção de estradas, praças e faixas de domínio, tais como mato, capim, etc. Estes materiais são utilizados para permitir a configuração desejada da leira de compostagem, manter a umidade dos resíduos, além de evitar a atração de moscas e a geração de líquidos percolados, conforme ilustra a figura 10. Para o desenvolvimento do processo de compostagem projetou – se um local coberto para o estoque de palha com volume útil aproximado de 15,00 m<sup>3</sup>.



**Figura 10:** Funcionários do DER fazendo a manutenção da rodovia SC 407 que liga o município de Angelina a BR 282.

### 3.5. PROCESSO DE OPERAÇÃO E CONTROLE

#### 3.5.1. MONTAGEM DAS LEIRAS ESTÁTICAS

A disposição dos resíduos foi feita diretamente sobre o solo, com o auxílio de garfos. A eficiência do processo depende do treinamento e da experiência dos operadores, a fim de que sejam obtidos a confecção desejada, uma mistura final homogênea dos materiais e o controle dos impactos ambientais da atividade. A figura 11 ilustra o início do tratamento dos resíduos sólidos orgânicos no pátio de compostagem de Angelina – SC.



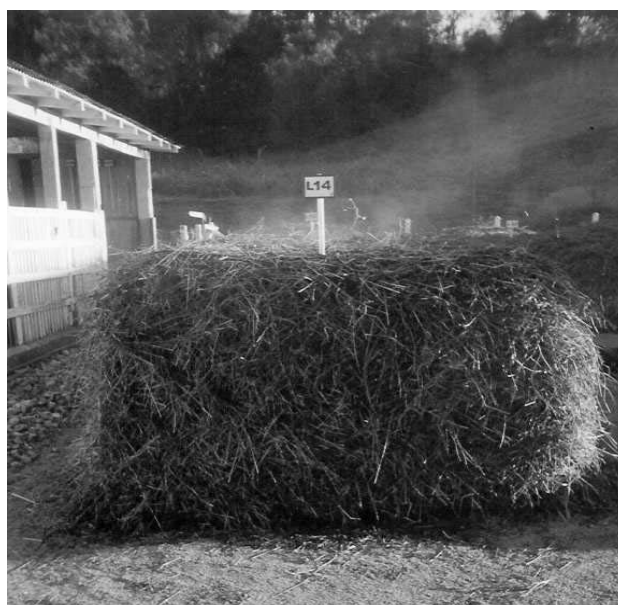
**Figura 11:** Confecção da leira de compostagem L1 - Angelina

As leiras de compostagem apresentam seção transversal retangular com dimensões aproximadas de (1,10 altura x 2,00 largura). Com exceção da leira de compostagem L3 que possuía 6,8 metros de comprimento, todas as outras leiras foram confeccionadas com comprimento aproximado de 4 metros. As figuras 12 e 13 ilustram respectivamente a confecção das leiras de compostagem L1, L2 e L3 e a evaporação da umidade no interior da leira de compostagem L14.



**Figura 12:** Leira de compostagem L1, L2 e L3

A leira de compostagem L2 foi confeccionada utilizando materiais que sobravam do processo de triagem dos resíduos recicláveis. Normalmente constituído por papéis molhados, terra, lixo orgânico (presente no lixo reciclável), plásticos menores, etc.



**Figura 13:** Leira de compostagem L14

Os quadros 21, 22 e 23 apresentam respectivamente o percentual em peso de cada material utilizado na montagem dos experimentos

**Quadro 21** – Proporção em peso da matéria prima utilizada na confecção das leiras de compostagem L1, L3, L6, L8, L10 e L14.

Matéria-prima	% Peso
Principal	78
Auxiliares estruturantes	6
Esterco bovino	16

Dimensões: 1,10 m altura, 2,00 m largura e 4,00 m comprimento

**Quadro 22** – Proporção em peso da matéria prima utilizada na montagem da leira de compostagem L2, L4 e L7.

Matéria-prima	% Peso
Principal	78
Auxiliares estruturantes	6
Esterco bovino	16

Dimensões: 1,1 m altura, 2,00 m largura e 4,00 m comprimento

**Quadro 23** – Proporção em peso da matéria prima utilizada na montagem da leira de compostagem L3

Matéria-prima	% Peso
Principal	72
Auxiliares estruturantes	10
Esterco bovino	18

Dimensões: 1,1 m altura, 2,00 m largura e 6,80 m comprimento

Apesar dos resíduos provenientes da manutenção de terrenos, praças e faixas de domínio, “material palhoso”, serem de extrema importância para o controle dos impactos gerados pela atividade, estes não foram contabilizados no percentual em peso da matéria prima utilizada na confecção das leiras de compostagem, por serem reutilizados e não estarem no peso final do composto maturado.



A figura 14 ilustra uma vista geral do pátio de compostagem. Na figura pode – se observar as fases termofílicas e de maturação do processo de compostagem, além da cobertura das leiras de compostagem para obtenção do controle do chorume nos períodos de chuva torrencial.



**Figura 14:** vista geral do pátio de compostagem

### 3.5.2. HOMOGENEIZAÇÃO DA MASSA DE RESÍDUOS

Após a disposição em camadas o material adicionado às leiras de compostagem é revolvido, de forma a propiciar uma mistura homogênea da massa de resíduos. Chegando na altura desejada, aproximadamente 1,10 metros, paramos de adicionar os resíduos e a leira de compostagem permanece estática durante toda a fase termofílica (45 a 65°C). Após a fase termofílica a leira é tombada (revirada), dando início à fase de maturação, conforme ilustra a figura 15.



**Figura 15:** Maturação dos resíduos orgânicos

### 3.5.3. PENEIRAMENTO DO COMPOSTO ORGÂNICO

Após passar pelo processo de compostagem os resíduos orgânicos sofrem um processo de peneiramento para retirada de eventuais contaminantes, tais como plásticos, metais, etc., que posteriormente são encaminhados para aterro sanitário. Os materiais retidos na peneira, tais como ossos e composto com granulometria acentuada são adicionados a novas leiras que estão sendo confeccionadas. A peneira utilizada no processo possui uma malha com abertura quadrada com aproximadamente 5 cm de lado. A figura 16 ilustra o equipamento utilizado no peneiramento do composto orgânico.



**Figura 16 –** Peneiramento do composto orgânico

### 3.6. MONITORAMENTO DOS EXPERIMENTOS

O monitoramento do sistema de triagem e compostagem dos resíduos sólidos ocorreu ao longo de um período de 12 meses, entre os meses de maio de 2002 e maio de 2003.

O monitoramento constitui-se basicamente na verificação diária da temperatura no interior da massa de resíduos em decomposição e na realização de análises laboratoriais de parâmetros químicos, físico – químicos, biológicos e metais pesados do composto maturado.as (C/N, macro nutrientes, micro nutrientes) e biológicas (coliformes fecais) (Standard Methods, 1971).

#### 3.6.1. PROCEDIMENTOS DE COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras foram coletadas após o término das fases termofílica e de maturação, obtendo – se aproximadamente 2 kg por amostra, que depois de homogeneizadas foram identificadas e enviadas para os laboratórios específicos.

#### 3.6.2. PROCEDIMENTOS PARA O PREPARO DAS AMOSTRAS

- a) homogeneizar toda a amostra e reduzir, por quarteação manual, a 200 gramas aproximadamente.
- b) Retirar do total, cerca de 20 gramas, para a determinação do pH.
- c) Colocar a fração restante, em uma bandeja, pesar e anotar o peso.
- d) Levar a estufa a temperatura de 65° C, durante 16 horas.
- e) Homogeneizar, dividir por quarteação manual, em duas frações iguais. Uma das frações destina – se á análise granulométrica e a outra deve ser moída e passada integralmente em peneira de malha de 0,5 mm e será utilizada para as demais determinações. As análises de pH, biológicas e de metais pesados, foram realizadas com amostras na umidade natural.

### 3.6.3. ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO QUÍMICAS

As análises químicas foram realizadas no Laboratório Físico, Químico e Biológico da Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina – CIDASC, localizado em Florianópolis – SC. Foram analisados os seguintes parâmetros: pH, umidade, matéria orgânica total, nitrogênio total, fósforo total e potássio. A metodologia empregada para análise dos parâmetros citados, foi baseada nos métodos oficiais para a análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes, do Laboratório Nacional de Referência Vegetal – LANARV, vinculado a Secretaria Nacional de Defesa Vegetal. Os métodos analíticos adotados são previstos na legislação brasileira, através da Portaria Nº 031, de 08 de junho de 1982. No anexo 5 são apresentados, respectivamente, o protocolo experimental das análises laboratoriais dos parâmetros físicos químicos e os laudos emitidos pela Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrário de Santa Catarina – CIDASC. O quadro 33 ilustra a procedência de todas as amostras analisadas.

**Quadro 24** – Descrição da procedência das amostras coletadas para as análises físico – químicas do composto orgânico.

Amostra	Procedência	Amostra	Procedência
1A	L1 (fase de maturação)	11	L2 (após peneiramento)
1B	L2 (fase de maturação)	12	L3 (após peneiramento)
1C	L3 (fase de maturação)	13	L8 (fase de maturação)
1	L1 (fase de maturação)	14	L9 (fase de maturação)
2	L3 (fase de maturação)	15	L8 (fase de maturação)
3	L2 (fase de maturação)	16	L6 (fase de maturação)
4	L6 (60 dias de termofilia)	17	L8 (fase de maturação)
5	L1 (fase de maturação)	18	L6 (fase de maturação)
6	L2 (fase de maturação)	19	L8 (após peneiramento)
7	L3 (fase de maturação)	20	L6 (após peneiramento)
8	L1 (fase de maturação)		
9	L3 (fase de maturação)		
10	L2 (fase de maturação)		

#### 3.6.4. ANÁLISE DE METAIS PESADOS

As análises foram realizadas no Laboratório de Química Analítica do Departamento de Química da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. A metodologia adotada para análise dos metais pesados, foi a digestão ácida ( $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ ) assistida em microondas.

Foi utilizada a técnica de espectrometria de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP – MS), com introdução da amostra por nebulizador pneumático. Foram analisados os elementos: Pb, Cu e Cd. O anexo 6 ilustra os resultados das análises de metais pesados.

As amostras foram coletadas após a fase de maturação, aproximadamente 150 dias de compostagem. As amostras 1 e 4 foram coletadas após o peneiramento.

#### 3.6.5. ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS

##### 3.6.5.1. Análises de Coliformes totais e fecais

O grupo coliformes fecais são bastonetes Gram negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção e gás, em 24 horas a  $44,5^\circ\text{C}$  (SILVA, 1995; APUD HIGADINO, 1998).

O índice de coliformes fecais é empregado como indicador de contaminação fecal, ou seja, de condições higiênico sanitárias. Para a avaliação do número mais provável (NMP/100ml) de coliformes fecais foi utilizada a metodologia Colilert, descrita por SOARES (1996). Os resultados obtidos dos índices de coliformes fecais nas amostras do composto orgânico foram expressos através do número mais provável de coliformes fecais por grama de matéria seca (NMP/g MS).

As análises de coliformes fecais foram realizadas no Laboratório Integrado do Meio Ambiente - LIMA do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. O monitoramento ocorreu após a fase termofílica, sendo coletadas amostras do composto, durante a fase de maturação e após o peneiramento do composto orgânico. Foram coletadas duas amostras das leiras de compostagem L6 e L8. O anexo 7 apresenta os resultados das análises de coliformes fecais.

### 3.6.6. DETERMINAÇÃO FÍSICA

#### 3.6.6.1. Monitoramento da temperatura

O monitoramento da temperatura no interior da massa foi realizado diariamente em cinco pontos distintos da leira de compostagem, conforme indica a figura 17. O anexo 8 ilustra a planilha de monitoramento diário da temperatura e a quantidade dos resíduos sólidos adicionados à leira compostagem.

T 1	T 3	T 4
T 2		T 5

**Figura 17** – Regiões de monitoramento da temperatura nas leiras de compostagem

Para o monitoramento da temperatura utiliza-se um termômetro bimetálico, da marca Wika, com escala variando de 0 a 100 °C e haste de 400 mm de comprimento, proporcionando o monitoramento da temperatura no interior da massa dos resíduos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

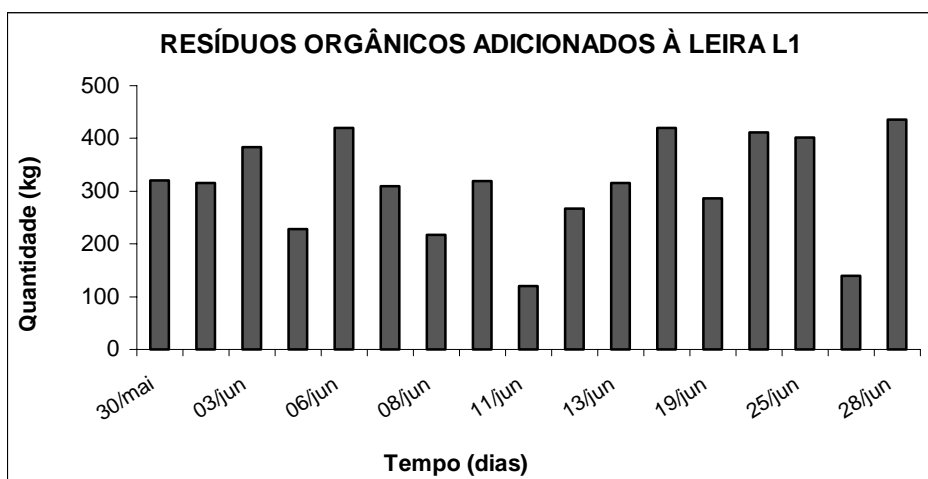
### 4.1. MONITORAMENTO DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA EM LEIRAS ESTÁTICAS

O monitoramento da temperatura nas leiras de compostagem L1, L2, L3, L5, L6 e L8 foi realizado diariamente, durante a fase termofílica, em cinco pontos distintos.

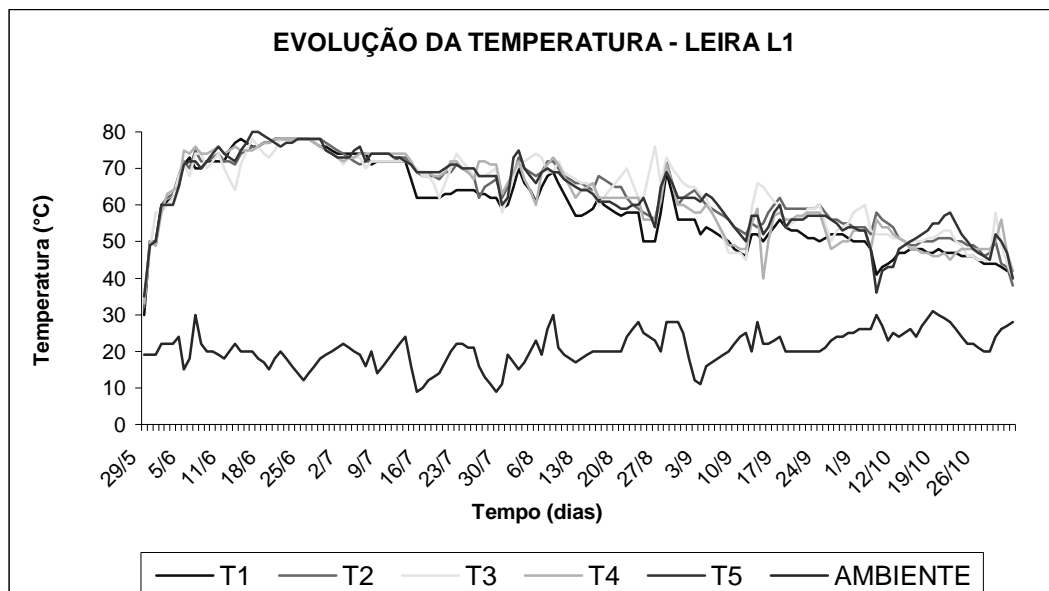
Condições favoráveis de umidade, aeração, tamanho das partículas e concentração de nutrientes permitiram, em todos os experimentos, a obtenção de temperaturas termofílicas, 24 horas após o início da confecção dos experimentos. As figuras 18 à 24 ilustram a quantidade de resíduos sólidos orgânicos adicionados a leira de compostagem e o monitoramento da temperatura nos diferentes experimentos.

#### Leira de compostagem – L 1

- Dimensões da leira L 1: 2,00 m X 1,10 m X 3,90 m
- Quantidade de resíduos sólidos orgânicos adicionados à L1: 5309 Kg
- Período de confecção: 29 dias
- Período da fase termofílica: 124 dias
- Período total de compostagem: 154 dias



**Figura 18** – Quantidade de resíduos sólidos orgânicos adicionados a leira de compostagem L1, durante o período de confecção.

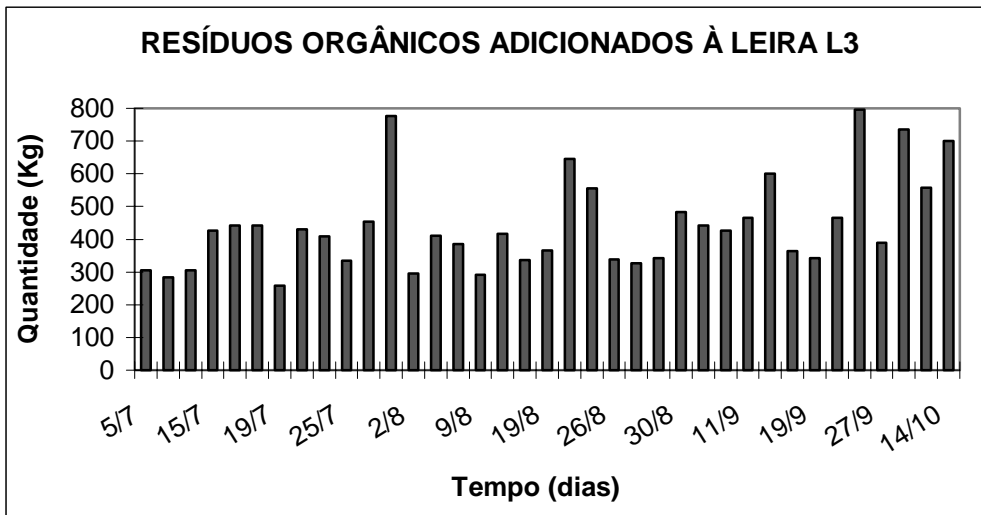


**Figura 19** – Monitoramento da temperatura em cinco pontos distintos da leira de compostagem L1.

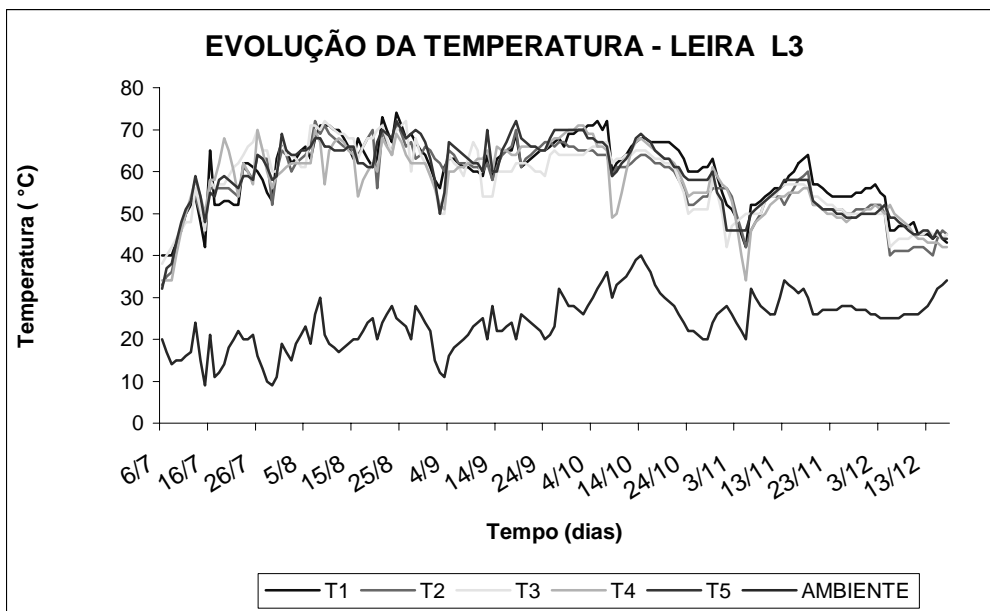
### **Leira de compostagem – L 3**

- Dimensões da leira de compostagem L3: 2,20 m X 1,10 m X 8,80 m
- Quantidade de resíduos orgânicos adicionados à L3 – 16.531 Kg
- Período de confecção da leira - 97 dias
- Período da fase termofílica - 161 dias
- Período de maturação – 45 dias
- Período total da compostagem - 206 dias





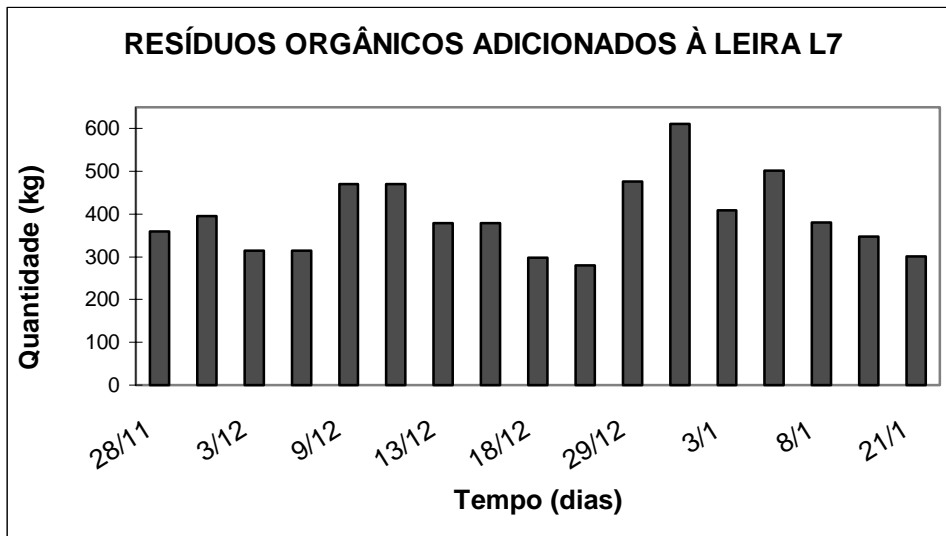
**Figura 20** – Quantidade de resíduos sólidos orgânicos adicionados a leira de compostagem L3, durante o período de confecção.



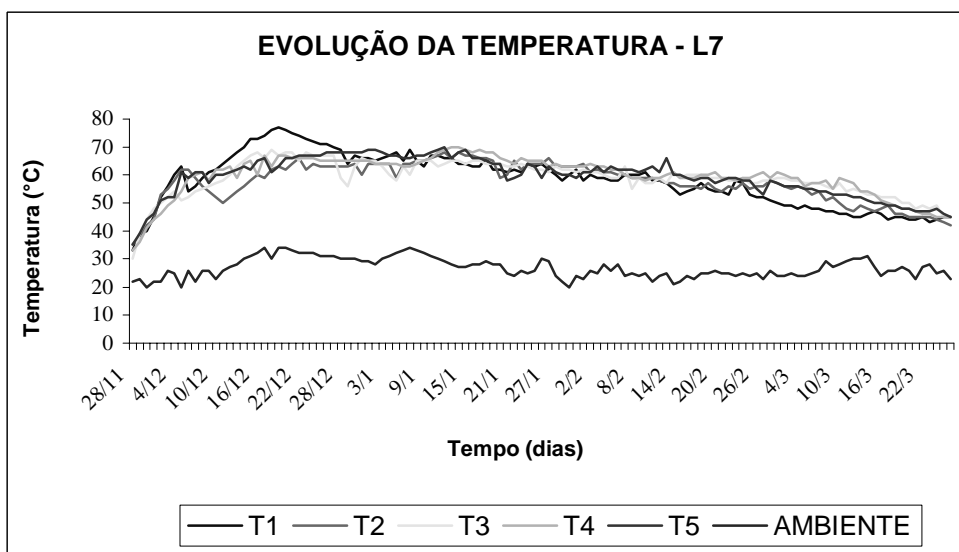
**Figura 21** – Monitoramento da temperatura em cinco pontos distintos da leira de compostagem L3.

### Leira de compostagem – L 7

- Dimensões da leira L 7: 2,00 m X 1,10 m X 4,00 m
- Quantidade de resíduos sólidos orgânicos adicionados à L1: 6.691 Kg
- Período de confecção: 53 dias
- Período da fase termofílica: 118 dias
- Período total de compostagem: 148 dias



**Figura 22** – Quantidade de resíduos orgânicos adicionados à leira de compostagem L7, durante o período de confecção.



**Figura 23** – Monitoramento da temperatura em cinco pontos distintos da leira de compostagem L7.

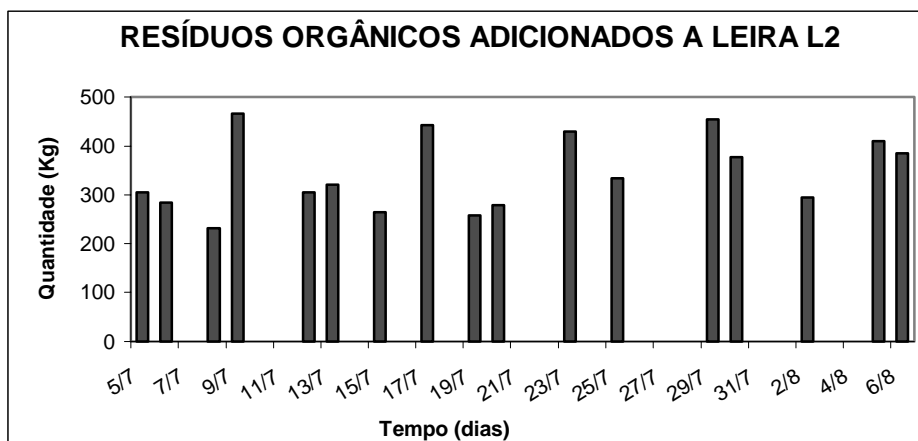
As temperaturas termofílicas nos experimentos L1, L3 e L7 se mantiveram por um período médio de 120 dias. Quanto maior o período em que os microorganismos patogênicos ficam expostos a temperaturas termofílicas, no interior das leiras de compostagem, mais eficaz será a higienização do composto orgânico (GOLUEKE, 1984).

Caso a temperatura for controlada por algum fator externo, atingirá facilmente a faixa de 80 °C, o que será prejudicial ao processo dada a extinção da flora mineralizadora, o que ocorre tão logo a temperatura se mantenha acima de 65 °C (PEREIRA NETO,1996). CETESB (1997) descreve ainda que temperaturas acima de 70 °C são consideradas desnecessárias ou desaconselháveis, se mantidas por longos períodos, pois restringem o número de microorganismos que conseguem viver nelas e também causam desprendimento de amônia (perda de N).

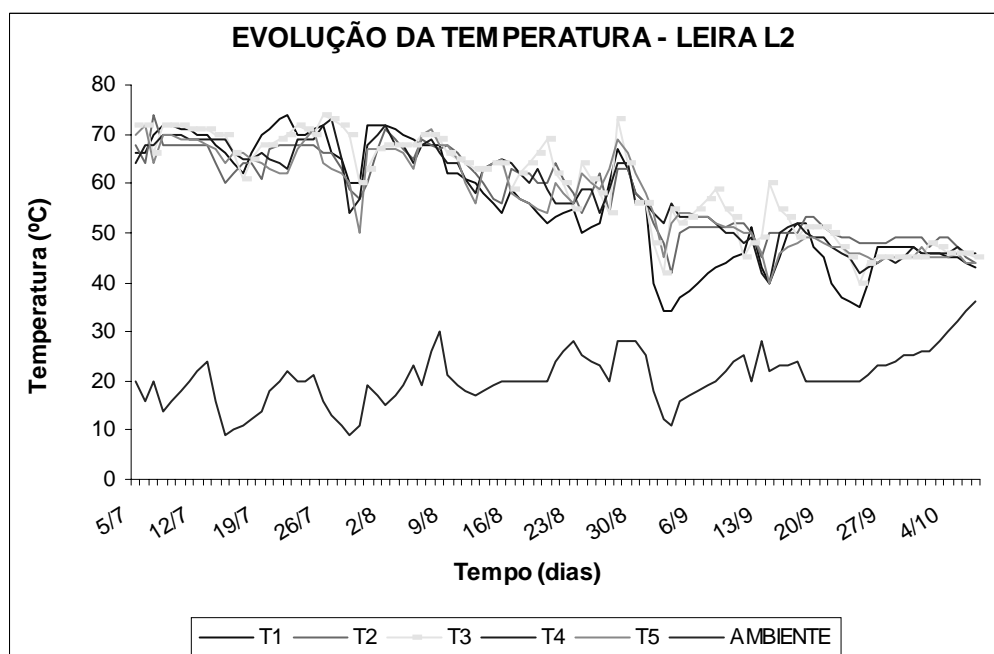
Em todas as leiras de compostagem foram detectadas temperaturas acima de 65 °C, variando a cada experimento. Na leira de compostagem L1 foram detectadas temperaturas acima de 65° C, por aproximadamente 21 dias e um pico máximo de temperatura de 78°C aos 34 dias de compostagem, conforme ilustra a figura 19. A leira de compostagem L3, registrou temperaturas termofílicas acima de 65°C, por um período médio de 18 dias e o pico máximo de 74 °C no 51° dia de compostagem, conforme ilustra a figura 21. Na leira de compostagem L7, o pico máximo de temperatura, de 76°C, foi registrado no 21° dia de compostagem e as temperaturas acima de 65°C se mantiveram durante 26 dias, conforme ilustra a figura 23.

### **Leira de compostagem – L 2**

- Dimensões da leira L 7: 2,00 m X 1,10 m X 4,20 m
- Quantidade de resíduos sólidos orgânicos adicionados à L1: 5.845 Kg
- Período de confecção: 43 dias
- Período da fase termofílica: 77 dias
- Período total de compostagem: 107 dias



**Figura 24** – Quantidade de resíduos sólidos adicionados à leira de compostagem L2, durante o período de confecção.



**Figura 25** – Monitoramento da temperatura em cinco pontos distintos da leira de compostagem L2.

A presença de plásticos, metais, etc, na confecção da leira de compostagem L2 não caracterizou – se como um fator limitante para o registro de temperaturas termofílicas. Na leira L2, também foram detectadas temperaturas termofílicas. O pico máximo de 74°C, foi verificado no 19º dia de compostagem e as temperaturas acima de 65°C se mantiveram por aproximadamente 23 dias de compostagem.

A fase termofílica e o período total de compostagem, no experimento L2, tiveram uma redução, quando comparados com as leiras de compostagem confeccionadas utilizando somente resíduos sólidos orgânicos, previamente triados, sem a presença de resíduos inertes.

Apesar do composto orgânico, proveniente da leira de compostagem L2, apresentar - se no final do processo de compostagem, estabilizado, com cheiro de terra e coloração escura, a presença de materiais inertes (plásticos, vidros, metais, etc) no composto maturado apresentou alguns inconvenientes. A presença destes resíduos aumenta consideravelmente a mão de obra requerida na etapa de peneiramento, requer um descarte para o aterro sanitário para os materiais inertes retidos na peneira, além de comprometer a qualidade do material. , através do aspecto visual indesejável.

#### 4.2. AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS ENCAMINHADOS PARA O CENTRO MUNICIPAL DE TRIAGEM E COMPOSTAGEM DE ANGELINA - SC

A avaliação dos resíduos sólidos orgânicos encaminhados para o Centro de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos do município de Angelina foi realizada através da pesagem diária, efetuada após o processo de triagem manual dos mesmos.

Durante o período de monitoramento, foram confeccionadas 11 leiras de compostagem. A figura 26 ilustra a quantidade de resíduos sólidos orgânicos adicionados a cada leira de compostagem confeccionada durante o período de pesquisa. No total foram valorizados aproximadamente 83.414 kg de resíduos sólidos orgânicos provenientes da coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos.



**Figura 26:** Resíduos orgânicos adicionados às leiras de compostagem entre o período de maio de 2002 a maio de 2003.

A leira de compostagem L3 recebeu uma quantidade maior de resíduos orgânicos em função de suas dimensões serem maiores, quando comparadas com as outras leiras, com dimensões aproximadas de 4 metros de comprimento.

O município de Angelina possui uma geração semanal média de resíduos orgânicos em torno de 1.300 Kg. O maior descarte de resíduos orgânicos se concentra no perímetro urbano do município. Os moradores que residem nas comunidades da zona rural, são incentivados a valorizar a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Este fato se deve principalmente porque os moradores utilizam os resíduos orgânicos na alimentação de animais, tais como galinhas, porcos, peixes, etc., ou na produção do seu próprio adubo orgânico.

O aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos possibilitou a elevação dos índices de aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos encaminhados para o Centro de Triagem e Compostagem de Angelina – SC.

### 4.3. AVALIAÇÃO DO COMPOSTO MATURADO

#### 4.3.1. AVALIAÇÃO DOS TEORES DE METAIS PESADOS

A presença de poluentes (metais pesados), constitui-se num fator limitante para aplicação dos resíduos orgânicos em áreas agrícolas, florestas, áreas públicas ou áreas degradadas.

Devido à inexistência de uma Legislação específica, para a aplicação do composto orgânico proveniente de sistemas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos, a avaliação do teor de metais pesados será embasada em valores aceitáveis estabelecidos por alguns países da Europa.

Nos quadros 25 a 29, são apresentados os resultados obtidos na avaliação das concentrações de metais pesados, presentes no composto orgânico proveniente da coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos no município de Angelina – SC.

Para cada amostra foi realizada uma replica, sendo apresentados a média e o desvio padrão respectivos. As replicatas das amostras das leiras L3 e L4 foram descartadas por problemas na digestão amostra. As amostras foram coletadas na fase de maturação do composto orgânico. Os resultados das concentrações são expressos em  $\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$  de matéria seca.

Quadro 25 – Concentração de metais pesados presentes na leira de compostagem L1

Poluente	Concentração amostra	Concentração replicata	m $\pm$ s
Chumbo	77,87	86,58	82,22 $\pm$ 1,95
Cádmio	0,53	0,58	0,55 $\pm$ 0,01
Cobre	95,74	114,37	105,06 $\pm$ 1,83

As análises dos metais pesados na leira de compostagem L1, evidenciaram valores da concentração de cobre acima dos valores máximos permitidos pela legislação alemã, mais restritiva da Europa.

ROUSSEAU, et all (1989), afirmam ser o plástico a maior fonte de Cd nos resíduos sólidos urbanos (67 a 77 %do total). Segundo os mesmos autores, o Pb e o Cu se manifestam em quantidades importantes nos metais pesados ferrosos (29 a 50% de Pb e 14 a 50% de Cu). O couro contribui com 35% de Zn. O papel aparece como notável fonte de Pb (10 a 14%).

VAN ROOSEMALEN, et all (1987) caput EGREJA FILHO (1993) destaca ainda que a remoção de constituintes como cápsulas de chumbo, couro, pilhas, entre outros, no material a ser compostado, leva a uma contaminação irreversível do produto final.

**Quadro 26** – Avaliação de alguns metais pesados leira de compostagem L2

Poluente	Concentração amostra	Concentração replicata	m ± s
Chumbo	49,71	46,30	48,00 ± 0,76
Cádmio	0,31	0,28	0,30 ± 0,01
Cobre	73,17	72,91	73,05 ± 0,65

**Quadro 27** – Avaliação de alguns metais pesados leira de compostagem L3

Poluente	Concentração amostra	m ± s
Chumbo	37,68	37,68 ± 0,03
Cádmio	0,28	0,28 ± 0,01
Cobre	62,12	62,12 ± 1,00

**Quadro 28** – Avaliação de alguns metais pesados leira de compostagem L6

Poluente	Concentração amostra	m ± s
Chumbo	58,40	58,40 ± 10,04
Cádmio	0,28	0,43 ± 0,01
Cobre	62,66	62,66 ± 0,25

**Quadro 29** – Avaliação de alguns metais pesados leira de compostagem L8

Poluente	Concentração amostra	Concentração replicata	m ± s
Chumbo	54,25	54,72	54,50 ± 0,51
Cádmio	0,42	0,43	0,43 ± 0,01
Cobre	59,78	63,55	61,67 ± 0,28



Com exceção da análise da concentração de cobre na leira de compostagem L1, em todas as outras análises, foram verificadas que as concentrações de metais pesados estão abaixo dos valores estabelecidos pelas normatizações de alguns países da Europa, descritos no quadro 18.

Segundo VAN ROOSEMALEN, et all (1987) caput EGREJA FILHO (1993), quando a triagem do material inorgânico não é feita na própria fonte geradora, a presença de metais pesados na fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos deve – se a contaminação direta, por adesão de partículas de metais ou compostos metálicos à matéria orgânica úmida; e ou, a migração de compostos metálicos solúveis durante a estocagem e transporte do lixo até o local de triagem.

A segregação nas fontes geradoras, o acondicionamento dos resíduos sólidos urbanos em compartimentos distintos do veículo de coleta, e principalmente a triagem manual dos resíduos são importantes para obtenção de um composto orgânico com baixos teores de metais pesados.

#### 4.3.2. ANÁLISE DE COLIFORMES FECAIS

A higienização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos foi avaliada através da redução do número mais provável de coliformes fecais presentes nas amostras. As amostras foram coletadas durante a fase de maturação e após o peneiramento do composto, conforme ilustra o quadro 30. Os resultados foram expressos através do número mais provável de coliformes fecais por quilograma de matéria seca - NMP/Kg. MS.

**Quadro 30** -. Análises bacteriológicas do composto orgânico produzido.

AMOSTRA	COLIFORMES TOTAIS (NMP/Kg . MS)	COLIFORMES FECAIS (NMP/Kg . MS)
L6 (fase de maturação)	$6,87 \times 10^6$	ND <sup>(X)</sup>
L8 (fase de maturação)	$6,13 \times 10^6$	ND <sup>(X)</sup>
L6 (após peneiramento)	$7,70 \times 10^6$	ND <sup>(X)</sup>
L8(após peneiramento)	$>2,42 \times 10^7$	ND <sup>(X)</sup>

(X) NÃO DETECTADO

Segundo PEREIRA NETO (1996), nos processos artesanais, a fase de degradação ativa demanda aproximadamente 120 dias e na fase de maturação cerca de 30 a 60 dias. Em todas as amostras analisadas, os resíduos orgânicos tiveram um período de exposição, compreendendo a fase termofílica e a fase de maturação, superior a 150 dias. Ficou evidenciada, em todas as amostras, uma redução significativa dos microorganismos potencialmente patogênicos, através da técnica de compostagem termofílica em leiras estáticas.

#### 4.3.3. ANÁLISES QUÍMICAS E FÍSICO – QUÍMICAS DO COMPOSTO ORGÂNICO

Em todas as leiras de compostagem confeccionadas confeccionados foi verificado uma satisfatória estabilização dos resíduos orgânicos. Após passar pelas fases termofílica e de maturação, o composto orgânico produzido, apresentou – se com cheiro de terra, granulometria uniforme e coloração escura.

As análises químicas e físico – químicas do composto maturado, foram coletadas durante a fase de maturação e após o peneiramento. Com exceção da amostra 4, que foi coletada aos 60 dias de compostagem, todas as amostras foram coletadas após a fase termofílica. Os quadros 31 a 34, apresentam respectivamente os resultados das análises químicas e físico – químicas.

Quadro 31 – Determinações físico - químicas das amostras L1, L2, L3, 01 ,02 , 03 e 04.

AMOSTRA	L1	L2	L3	01	02	03	04	X
DETERMINAÇÕES	RESULTADOS							UNIDADES
N TOTAL	0,59	0,48	0,47	0,56	0,70	0,02	0,51	%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> TOTAL	x	x	x	0,71	0,71	0,40	x	%
K <sub>2</sub> O	x	x	x	0,44	0,37	0,31	x	%
Matéria orgânica	16,73	14,54	20,29	18,29	19,90	14,58	16,23	%
Umidade	68,23	55,45	69,83	59,89	57,30	51,38	67,54	%
Relação C/N	x	x	x	x	x	x	17,69	-
pH	7,77	7,31	7,76	6,50	6,50	8,12	6,69	-
Resíduo Mineral	x	x	x	21,01	22,03	33,92	x	%

**Quadro 32** – Determinações físico - químicas das amostras 05 a 11.

AMOSTRA	05	06	07	08	09	10	11	X
DETERMINAÇÕES	RESULTADOS							UNIDADES
N TOTAL	0,46	0,62	0,52	0,52	0,53	0,56	0,66	%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> TOTAL	0,35	0,36	1,44	0,19	0,84	0,49	1,12	%
K <sub>2</sub> O	0,25	0,21	0,88	0,69	0,62	0,30	0,50	%
Matéria orgânica	13,20	11,62	18,01	16,60	17,11	13,34	17,77	%
Umidade	54,16	59,93	53,58	x	x	x	x	%
Relação C/N	15,93	10,42	19,25	17,73	17,94	13,23	14,95	-
PH	7,41	7,00	7,93	7,90	8,00	7,20	7,60	-
Resíduo Mineral	31,96	27,83	28,11	17,10	27,18	27,18	33,28	%

**Quadro 33** – Determinações físico - químicas das amostras 12 a 18.

AMOSTRA	12	13	14	15	16	17	18	X
DETERMINAÇÕES	RESULTADOS							UNIDADES
N TOTAL	0,56	0,62	0,39	0,67	0,57	0,53	0,73	%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> TOTAL	0,61	0,41	0,30	0,54	0,37	0,37	0,39	%
K <sub>2</sub> O	0,44	0,38	0,75	0,68	0,52	0,43	0,44	%
Matéria orgânica	13,98	15,90	9,95	18,32	16,83	14,95	18,12	%
Umidade	X	54,29	45,90	58,18	68,83	63,53	59,18	%
Relação C/N	13,88	14,24	14,18	15,19	16,40	15,66	13,79	-
pH	7,60	7,40	8,00	8,29	7,89	7,91	7,92	-
Resíduo Mineral	37,34	28,88	43,25	22,74	13,73	20,95	21,95	%

**Quadro 34** – Determinações físico - químicas das amostras 19 e 20.

AMOSTRA	19	20	X
DETERMINAÇÕES	RESULTADOS		UNIDADES
N TOTAL	0,52	0,47	%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> TOTAL	0,52	0,41	%
K <sub>2</sub> O	0,52	0,32	%
Matéria orgânica	13,68	11,29	%
Umidade	43,95	38,63	%
Relação C/N	14,61	13,34	-
pH	7,87	7,87	-
Resíduo Mineral	42,11	49,49	%

O quadro 35 ilustra análises efetuadas pelo IPT (1993), caput CEMPRE (2002), em amostras de composto orgânico, provenientes de 15 usinas localizadas no Estado de São Paulo, para os parâmetros considerados pela Legislação.

**Quadro 35** – Parâmetros encontrados a partir da análise de compostagem dos resíduos sólidos urbanos

Parâmetro	Valores
pH	Entre 7,2 e 8,0 %
Matéria orgânica	Entre 8,2 e 30,4 %
Umidade	Entre 27 e 55 %
Nitrogênio total	Entre 0,39 e 1,15 %
Relação C/N	Entre 11 e 23

O quadro 36 ilustra algumas análises de composto orgânico produzido em usinas de compostagem em diferentes cidades brasileiras.

**Quadro 36** – Análises do composto de resíduos sólidos urbanos em algumas cidades brasileiras.

Componentes	Unidade	Manaus	São Mateus	Vila Leopoldina	São José dos Campos
Matéria orgânica	%	55,13	56,02	61,53	58,00
pH	%	7,9	8,33	8,07	5,05
Umidade	%	44,99	33,44	30,75	52,90
Nitrogênio	%	1,04	1,58	1,59	0,80
Fósforo	%	0,22	0,28	0,27	0,20
Potássio	%	0,54	0,96	0,98	0,30
Enxofre	%	0,10	0,30	0,28	0,10
Sólidos voláteis	%	54,38	59,97	65,27	61,00
Relação C/N	---	25,11	17,47	19,28	41,75
Material Fixo	%	22,10	26,57	21,87	18,40

Fonte: Lima (1995) caput Manaus, São Mateus, Vila Leopoldina, São José dos Campos

O Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental – LESA da Universidade Federal de Viçosa – UFV, desenvolveu pesquisas utilizando como matéria prima esterco bovino e a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos provenientes da cidade de Belo Horizonte - MG, aplicando o Processo Windrow e sistemas de aeração forçada. Foram montados 28 experimentos e monitorados os parâmetros físico – químicos, químicos e bacteriológicos, com ênfase para a determinação da relação C/N.

As pesquisas indicam que a compostagem pode ser desenvolvida com uma faixa bem mais ampla de pH, entre 4,5 a 9,5, e que os valores extremos são automaticamente regulados pelos microorganismos por meio da degradação de compostos que irão reproduzir subprodutos ácidos ou básicos em função da necessidade do meio (PEREIRA NETO, 1996).

Em um aspecto geral os valores médios iniciais da relação C/N de 35/1, mostraram -se favoráveis para o início do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos, obtendo uma redução média de 65% após a fase de maturação (PEREIRA NETO, 1996).

O composto orgânico produzido na Central de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos de Angelina – SC apresentou uma faixa de pH variando entre 6,5 e 8,25 e um valor médio de pH próximo a 7,58. Em todas as amostras o pH apresentou – se acima do valor mínimo requerido pela legislação. As análises laboratoriais da relação C/N apresentaram uma variação na faixa de 10,42 a 19,25 e o valor médio em torno de 15,20. Na maioria das amostras foram detectados valores da relação C/N, abaixo do valor máximo permitido pela legislação, de 18/1.

Os valores de pH, variando em torno de 7 - 8 são benéficos, pois permitem a aplicação do composto orgânico na correção de solos ácidos (PEREIRA NETO, 1996).

A geração de líquidos percolados nos processos de compostagem em leiras estáticas está diretamente relacionado com a umidade presente nos resíduos orgânicos e pela precipitação sobre a massa de resíduos. O excesso de umidade compromete o controle dos impactos provenientes da operação do sistema de compostagem. O ajuste de umidade pode ser feito pela criteriosa mistura da matéria prima utilizada. Na prática se verifica que o teor de umidade depende também do sistema de aeração, das características físicas dos resíduos (estrutura, porosidade e configuração da leira) e também umidade relativa do ar.

Os valores de umidade do composto maturado, obtidos a partir da aplicação da técnica de compostagem termofílica em leiras estáticas estão na faixa de 38,63 a 68,83 % e o valor médio de umidade em torno de 57,47 %. O controle da umidade do composto final pode ser otimizada através da cobertura do material após passar pela fase termofílica.

Valores de umidade acima de 55% são desaconselháveis, pois a maioria do peso conferido ao material, é devido a presença de água, inviabilizando as etapas de peneiramento, transporte e comercialização.

As análises dos macronutrientes, nitrogênio total, fósforo total e potássio total presentes no composto orgânico, e matéria orgânica apresentaram valores compatíveis com outras experiências realizadas em escala real, conforme ilustram os quadros 31 a 36. Tanto os valores de matéria orgânica, quanto os valores dos macronutrientes encontravam – se dentro da faixa apresentada nas usinas de compostagem localizadas no estado de São Paulo. Porém quando os resultados são comparados com a legislação, verificamos que encontram – se abaixo dos valores mínimos requeridos.

Fertilizantes orgânicos produzidos a partir da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos podem apresentar teores de matéria orgânica e nitrogênio que resultarão em valores inferiores aos estabelecidos, mesmo que seguidas de boas práticas de projeto e de operação das instalações (CEMPRE, 2002).

## 5. CONCLUSÃO

Após o período de monitoramento das leiras de compostagem termofílica foi constatado um controle dos principais impactos gerados pela atividade, tais como: atração de vetores, geração de maus odores e principalmente a geração de líquidos percolados (chorume).

Do ponto de vista operacional, o sistema de compostagem termofílica em leiras estáticas caracterizou – se como um processo flexível, de baixo custo, que utiliza equipamentos simples, sanitariamente adequado, e principalmente por requerer mão de obra reduzida, eliminando os revolvimentos periódicos na massa de lixo.

A configuração da leira associada ao sistema de aeração, permitiram a permanência de temperaturas termofílicas durante o período aproximado de 120 dias. O elevado período de exposição dos patógenos a altas temperaturas, foi de extrema importância para a obtenção de um composto orgânico higienizado, isento de coliformes fecais nas quatro amostras analisadas.

Após passar pelas fases termofílica e de maturação o composto orgânico apresentou – se como um material tipo “húmus”, inodoro, de fácil armazenamento, estabilizado e com granulometria uniforme.

A ausência de metais no composto orgânico passa por um processo de coleta seletiva dos resíduos sólidos urbanos, onde ocorra a efetiva segregação dos materiais nas diferentes fontes geradoras de resíduos sólidos, além da triagem manual da fração orgânica, ao chegarem no centro de triagem e compostagem para retirada de quaisquer resíduo capaz de comprometer a qualidade do produto final.

Com exceção de uma replicata de uma das amostras, em todas as análises de metais pesados presentes no composto orgânico, foram verificadas concentrações de Pb, Cd e Cu abaixo dos valores estabelecidos pelas normatizações de alguns países da Europa.



Através das análises físicos – químicas e químicas conclui – se que o composto orgânico produzido a partir da reciclagem da fração orgânica do lixo urbano apresentou valores de macronutrientes, matéria orgânica, resíduos minerais, umidade, resíduos minerais e pH, semelhantes aos apresentados por usinas de compostagem em operação no estado de São Paulo.

Em todas as análises realizadas o composto orgânico maturado apresentou uma relação C/N abaixo dos valores máximos permitidos pela legislação.

As análises laboratoriais de pH do composto orgânico, em todas as amostras, se mantiveram valores mínimos requeridos pela legislação.

A compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos possibilita o aumento considerável dos índices aproveitamento, além do descarte apenas dos materiais, “rejeitos”, que não tem uma viabilidade técnica e econômica de serem valorizados para o aterro sanitário. Por sua vez, os rejeitos apresentam umidade e peso reduzidos, proporcionando uma redução significativa dos custos da disposição em aterro sanitário.

A experiência tem demonstrado que o caminho para mudanças nos sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos se faz por meio da evolução gradativa da formação da conscientização ambiental, concomitantemente com a aplicação de tecnologias condizentes com a realidade brasileira.

A educação sanitária e ambiental consiste em uma etapa fundamental para o envolvimento da população na efetiva segregação dos resíduos sólidos, para o melhor aproveitamento dos materiais e para a produção de um composto orgânico sanitariamente seguro, estabilizado e isento de metais pesados.

Como qualquer sistema biológico a operação de sistema de compostagem termofílica em leiras estáticas necessita do devido controle dos fatores intervenientes do processo (aeração, umidade, temperatura, concentração de nutrientes, granulometria, configuração da leira), sob pena de gerar produtos inadequados ao uso, por não apresentarem adequado grau de estabilização, humificação e segurança do ponto de vista bacteriológico.

A operação dos sistemas de compostagem exige mão de obra especializada, capaz de entender e suprir as necessidades biológicas requeridas durante o processo. A partir da manutenção desses fatores é que poderá haver garantia da produção de um composto com elevada humificação e bacteriologicamente seguro.

Infelizmente, existem vários sistemas de compostagem no país operados por leigos, curiosos, ou técnicos e profissionais de outras áreas, sem o devido preparo para entender a necessidade das ações de controle que devem ser aplicadas durante as varias etapas do processo.

A enorme quantidade de resíduos sólidos produzidos no país tem gerado uma demanda de recursos técnicos e financeiros, nas municipalidades para solucionar tais problemas. Diante das dificuldades enfrentadas pelas administrações municipais para solucionar os problemas com a destinação final dos resíduos sólidos urbanos, a técnica de compostagem termofílica em leiras estáticas reveste – se de grande importância como alternativa sanitariamente adequada para a estabilização e higienização da fração orgânica do lixo.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Uma vez que o tema abordado por este trabalho é extremamente abrangente, complexo, envolvendo diversas áreas de conhecimento, não estando completamente esclarecido, propõe – se as seguintes sugestões para pesquisas futuras:

- Programas de Educação Sanitária e Ambiental voltados para implantação e operação de sistemas de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos;
- Avaliação dos índices de geração dos resíduos sólidos em diferentes realidades;
- Caracterização dos resíduos sólidos provenientes de programas de coleta seletiva dos resíduos sólidos urbanos;
- Avaliação de microorganismos patogênicos presentes em compostos orgânicos provenientes da reciclagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos;
- Avaliação de metais pesados presentes em compostos orgânicos provenientes da reciclagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos;
- Avaliar o comportamento de diferentes culturas agrícolas, em diferentes solos, pela aplicação de composto orgânico proveniente dos resíduos sólidos urbanos;
- Avaliação detalhada das variáveis intervenientes do processo de compostagem termofílica em leiras estáticas.

O desenvolvimento de trabalhos científicos na área de compostagem termofílica em leiras estáticas dará um aporte técnico para a definição de parâmetros para a produção, uso e aplicação de compostos orgânicos provenientes da reciclagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos no solo.

Estudos sobre o assunto contribuirão para a elaboração de uma legislação específica voltada para a definição de aspectos relacionados à inspeção, fiscalização, produção e comercialização de composto orgânico proveniente de programas de reciclagem dos resíduos sólidos urbanos, além de normas sobre especificações, garantias e tolerâncias de metais pesados, teor de patógenos, macronutrientes, pH, C/N, entre outros.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 7.1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Armazenamento de resíduos classe II – Não Inertes e III inertes. NBR 11174. Rio de Janeiro. 1990. 14p.
- 7.2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Transporte de resíduos: Procedimento. NBR 13221. Rio de Janeiro. 1994b. 9p.
- 7.3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Coleta de resíduos sólidos. NBR 13463. Rio de Janeiro. 1995. 3p.
- 7.4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Compostagem. NBR 13591. Rio de Janeiro. 1996. 4p.
- 7.5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Resíduos sólidos – Classificação. NBR 10004. São Paulo. 1997a. 63p.
- 7.6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Lixiviação de resíduos: Procedimento; NBR 10005. São Paulo. 1997b. 10p.
- 7.7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Solubilização de resíduos: Procedimento. NBR 10006. São Paulo. 1997c. 2p.
- 7.8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Amostragem de resíduos – Procedimento; NBR 10007. São Paulo. 1997d. 25p.
- 7.9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.. Sacos plásticos para acondicionamento de lixo: especificação – NBR 9191. Rio de Janeiro. 1994b.
- 7.10. AZEVEDO, M.A. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos teóricos e operacionais. Viçosa – MG. 1997. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil.

- 7.11. AZEVEDO, M. A.; PEREIRA NETO J. T.: “Co – compostagem de Lixo Urbano e Lodo de Esgotos em Leiras sob Aeração Forçada: considerações gerais sobre a Compostagem”. In: Reunião anual da SBPC, p.57 – 58. 1990. PoA. Anais.
- 7.12. BENETTI, M. Modelo metodológico para formulação e implantação de programas de coleta seletiva em municípios de pequeno porte. Florianópolis. 2000. Dissertação. Programa de Pós – Graduação em Engenharia Ambiental. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina.
- 7.13. BIDONE, F.R.A., POVINELLI, J.1999. Conceitos básicos de resíduos sólidos. EESC – USP, São Carlos.p
- 7.14. BLEY C.(1998): “Estabilização e Higienização de Biossólidos.” Trabalho apresentado no I Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos de Mercosul. Curitiba – PR – Brasil. P.51 - 56. Curitiba – PR – Brasil.
- 7.15. BORGES DE CASTILHOS, A. Jr.; ZANTA, M. V.; LANGE, L. C.; GOMES, L. P.; PESSIN, N. Resíduos sólidos urbanos: aterro sanitário para municípios de pequeno porte. Florianópolis – SC. 2003. Programa de Saneamento Básico – PROSAB. 280p.
- 7.16. BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Referência Vegetal. Análise de Corretivos fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. 1983. [s.l.]. 140p.
- 7.17. BRASIL. LEI 9.795/99 de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a Política nacional de educação ambiental e dá outras providências.
- 7.18. BRASIL. LEI 9.795/99 de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a Política nacional de educação ambiental e dá outras providências.

- 7.19. BRASIL. LEI FEDERAL 9.974 de 06 de junho de 2000. Dispõe sobre produção, comercialização, manuseio e disposição final das embalagens de agrotóxicos e dá outras providências.
- 7.20. BÜTTENBENDER, S. E. Compostagem termofílica dos biossólidos produzidos na estação de tratamento de esgotos de canasvieiras – Florianópolis - SC. 1999. 28p. Trabalho de conclusão do Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina.
- 7.21. CEMPRE INFORMA. Cempre divulga nova pesquisa ciclosoft: coleta seletiva cresce 138%. São Paulo. Cempre. Ano X. Nº 65. Setembro e outubro. 2000
- 7.22. COMPANHIA DE MELHORAMENTOS DA CAPITAL. Caracterização física dos resíduos sólidos urbanos de Florianópolis - SC. 2003. COMCAP.
- 7.23. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Aterro em valas. In: Apostilas Ambientais. São Paulo. CETESB. 1997.
- 7.24. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Compostagem. In: Apostilas Ambientais. São Paulo. CETESB. São Paulo. 1997. 15p.
- 7.25. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Resíduos sólidos domiciliares e de serviços de saúde – tratamento e disposição final. In: Apostilas Ambientais. São Paulo. CETESB. São Paulo. 1997. 34p.
- 7.26. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. Cadernos de reciclagem - Compostagem a outra metade da reciclagem. São Paulo. nº 6. 1999a. CEMPRE. 31p.
- 7.27. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. Guia da coleta seletiva. São Paulo: 1999b. CEMPRE. 84p

- 7.28. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. Programa Bioconsciência - Lixo municipal - Manual de gerenciamento integrado. São Paulo: 2000. CEMPRE. São Paulo. 370p.
- 7.29. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº237 de 1997. Dispõe sobre o sistema de licenciamento ambiental, a regulamentação de seus aspectos na forma do estabelecido na Política Nacional de Meio Ambiente, estabelece critérios para o exercício da competência para o licenciamento a que se refere o art. 10 da lei nº 6938/81.
- 7.30. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº257 de 1999. Disciplina o descarte e o gerenciamento ambientalmente adequado de pilhas e baterias usadas no que tange a coleta, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final.
- 7.31. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 283 de 2001. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final de resíduos de serviços de saúde.
- 7.32. EGREJA FILHO, F. B. Avaliação da ocorrência e distribuição de metais pesados na compostagem do lixo domiciliar urbano. Viçosa – MG. 1993. 176p. Tese. Universidade Federal de Viçosa.
- 7.33. FERNANDES, F. Manual prático de compostagem de biossólidos. Londrina. PROSAB. 1999. Universidade Estadual de Londrina. 83p.
- 7.34. FINK, D. R.; ALONSO H.; DAWALIBI, M. Aspectos jurídicos do licenciamento ambiental. Rio de Janeiro. 2002. 2ª Ed. Forense Universitária.
- 7.35. FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Coletânea da legislação ambiental aplicável no estado de Santa Catarina / comp. e org. [por] Dulci Eleni Westphal. Florianópolis. FATMA. 2002. 520p.
- 7.36. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Manual de saneamento. Brasília. 1999. Ministério da Saúde: FUNASA. 3ªed. 374p.

- 7.37. INÁCIO, C. T. Coleta seletiva e compostagem de lixo orgânico um novo caminho para a reciclagem. Florianópolis. 1998.
- 7.38. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado. São Paulo. 2000. 2 ed. 370p.
- 7.39. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2000.<<http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/pesquisas/html>> (fev)
- 7.40. GOLUEKE, C. G. “When is compost safe?”. 1984. Seção IV do Managing Sludge By Composting”. Editado pela “BioCicle Journal of Waste Recycling”, 322p.
- 7.41. HIGASKINO, C. E. K. et all. Determinação de coliformes fecais em amostras de lodo de esgoto por fermentação em tubos múltiplos. In: ANDREOLI, C.V, BONNET, B. R. P. Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto. Curitiba. SANEPAR. 1998. Cap. 4. p 43 – 50.
- 7.42. KIEHL, E. J. 1979. 50 perguntas e respostas sobre composto orgânico. Piracicaba : Prefeitura Municipal de São Paulo; Secretaria de Obras, Departamento de Limpeza urbana. 17p.
- 7.43. KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo. 1995. Ed Ceres. 492p.
- 7.44. LIMA, L.M.Q. Lixo: Tratamento e Biorremediação. São Paulo: Ed Hemus, São Paulo. 1992. 2. ed. 115p.
- 7.45. MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. 2004.<[www.mp.sc.gov.br/internet/pgj/prog\\_especiais/cme/lixonosso\\_cadadia.html](http://www.mp.sc.gov.br/internet/pgj/prog_especiais/cme/lixonosso_cadadia.html)> (março)



- 7.46. MIYAZAWA, M.; GIMENEZ, S.M.N.; FERNANDES, F. et al. Efeito do lodo de esgoto nos teores de metais pesados no solo e na planta. In: ANDREOLI, C.V et al. Reciclagem de Biossólidos – Transformando problemas e soluções. Curitiba. SANEPAR. 1999. Cap. 4. p 204 – 225.
- 7.47. NEVES LELIS, M.P. “Estudo e Avaliação do Balanço de Umidade na Compostagem: Determinação dos Limites Toleráveis em Função da Velocidade de Degradação e Controle de Impactos Ambientais (produção de odor e chorume). Belo Horizonte – MG. 1998. Dissertação. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. 189p.
- 7.48. PEREIRA NETO, J. T.; NEVES CALMETO; AZEVEDO M. A.; MONTEIRO G. P.. “Uma nova Concepção de Compostagem por Reviramento publicação. 1989a.
- 7.49. PEREIRA NETO, J. T: “Conceitos Modernos de Compostagem”. 1989b. Revista Eng<sup>a</sup> Sanitária e Ambiental. ABES, N<sup>o</sup> 2, p.104 – 109, abril/junho, Rio de Janeiro – RJ – Brasil.
- 7.50. PEREIRA NETO, J. T.; VITORINO K. M. N.; NÓBREGA, C. C.; Avaliação do processo de compostagem pela redução da relação C/N. 1990. Trabalho Apresentado no IV Encontro S. B. Q. Viçosa - Minas Gerais.
- 7.51. PEREIRA NETO, J. T., MESQUITA, M.M.F. Compostagem de resíduos sólidos urbanos: aspectos teóricos, operacionais e epidemiológicos. Viçosa. Minas Gerais. 1992. Universidade Federal de Viçosa.
- 7.52. PEREIRA NETO, J. T.; CUNHA W. G.: Influencia da inoculação de composto orgânico maturado, no período de compostagem de resíduos orgânicos. 1995. Trabalho apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador – Bahia.
- 7.53. PEREIRA NETO, J. T. Manual de compostagem: processo de baixo custo. Belo Horizonte. UNICEF. 1996. 56p.

- 7.54. PEREIRA NETO, J. T. “On the treatment of municipal refuse sewage sludge using aerated static pile composting – a low technology approach. Leeds. Inglaterra.1987. Tese de doutorado. Universidade de Leeds.
- 7.55. ROUSSEAUX, P. D., BORGES DE CASTILHOS A. Jr., VERMANDE, P. & NAVARRO, A. Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil. 1989. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL. Belém – PA. 523 – 535.
- 7.56. SANTANA FILHO.S., PEREIRA NETO, J.T. A importância de uma legislação brasileira para estabelecer níveis de metais pesados para compostos orgânicos de lixo urbano. In: VI SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. 1996. Viçosa. Resumo. Minas Gerais. UFV.
- 7.57. SOCCOL, V. T. (1998): “Patógenos Presentes no Lodo”. Trabalho apresentado no I Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos de Mercosul, p. 65 – 72, Curitiba – PR – Brasil.
- 7.58. STENTIFORD, E. I.; PEREIRA NETO, J. T (1992): “ Aspectos Epidemiológicos na Compostagem”. Encarte da Revista BIO, Ano I, Nº 1,dez, Rio de Janeiro, Brasil.
- 7.59. STENTIFORD, E. I., PEREIRA NETO, J. T., MARA D.D.: “Sistemas de Compostagem por Pilhas Estáticas aeradas – Uma Proposição ao Tratamento do Lixo Urbano e Lodo de Esgotos Domésticos”. 1985.Trabalho apresentado no 13º Congresso da ABES. Maceió – AL - Brasil, 26p.
- 7.60. SOARES H. M. (1996): “Pathogen Indicator Regrowth Potential as a Method to Evaluate compost Stabilit”. Tese de Doutorado. University of Massachusetts, 109 p.
- 7.61. TAKEDA A. K. Análise da gestão dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Curitiba, com abordagem na coleta seletiva e domiciliar. Florianópolis – SC. 2002. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Programa de Pós – Graduação em Engenharia Ambiental. 277p.

- 7.62. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Health effects of land application of municipal sludge. Cincinnati. EUA. 1992. Research and Development. USEPA/600/1-85/015. 78p.
- 7.63. ZAMBONIM, F. M. Análise econômica de dois processos de tratamento do lixo: a compostagem termofílica e a disposição final em aterros sanitários. Relatório de conclusão de curso em agronomia. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Agrárias. Florianópolis, 1997.
- 7.64. ZANTA, V.M., FERREIRA, C.F.A. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. In: BORGES DE CASTILHOS.A. (Org.). Aterro sustentável para municípios de pequeno porte. Rio de Janeiro. 1. ed. ABES, Rio de Janeiro 2003. Cap.1. p 1-18.