

## **Curso de Tecnologia em Biocombustíveis**

### **TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS ATRAVÉS DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM AERÓBICO**

**MAIARA PRATES OLIVEIRA**

**Orientador: Prof. Ms. Celso Antonio Jardim**

**Trabalho apresentado a Faculdade de Tecnologia  
de Jaboticabal - Fatec, para obtenção do título de  
Tecnólogo em Biocombustíveis.**

**Jaboticabal – SP  
1º Semestre/2012**

Oliveira, Maiara Prates

O48t Tratamento de resíduos orgânicos através do sistema de compostagem aeróbico/ Maiara Prates Oliveira.— Jaboticabal: Fatec, 2012. 57f.

Orientador: Celso Antonio Jardim

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia de Jaboticabal, 2012.

1.Tratamento. 2.Carbono. 3.Orgânico. I. JARDIM, C. A. II. Mestre  
CDU 631.164.27

## **Curso de Tecnologia em Biocombustíveis**

### **CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS ATRAVÉS DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM AERÓBICO

**AUTOR:** MAIARA PRATES OLIVEIRA

**ORIENTADOR:** PROF. MS. CELSO ANTONIO JARDIM

Trabalho de Graduação aprovado pela Banca Examinadora como parte das exigências para conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis, apresentado à FATEC-JB para a obtenção do título de Tecnólogo.

**CELSO ANTONIO JARDIM**

**CLAUDENIR FACINCANI FRANCO**

**MOEMA BUENO FERREIRA RICARDO**

Data da apresentação: 19 de junho de 2012.

---

Presidente da Comissão Examinadora

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.”

**Leonardo da Vinci.**

**DEDICO**

Aos meus pais, Mauricio Oliveira e Edileusa Maria Prates Oliveira, por me oferecem todo estímulo e incentivo para conclusão de mais essa etapa em minha vida.

**OFEREÇO**

Ao meu namorado, Jesus Travaglini Filho, por ter sido sempre sinônimo de apoio e compreensão, principalmente nas horas difíceis.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, nosso Pai. Aos meus pais, base e exemplos em minha vida.

Ao meu irmão, Murilo, por todo carinho e amor que compartilhamos.

Agradeço especialmente ao meu namorado por todo incentivo, carinho, dedicação e compreensão, sem os quais eu não teria chegado à conclusão desse trabalho: Obrigada, meu amor!

À minha avó, Alcina (*in memorian*), por toda maravilhosa infância que tive e pelos valores aprendidos. À minha tia e madrinha, a amada Dindinha, pelo incentivo em toda minha trajetória. A todos os familiares que sempre me deram apoio e incentivo para seguir em frente.

Aos meus amigos e colegas da 1ª Turma de Tecnologia em Biocombustíveis da FATEC Jaboticabal, por todos os momentos que passamos juntos nesses anos que foram, sem dúvidas, inesquecíveis! Levarei cada um com muito carinho em meu coração.

À minha eterna amiga e irmã, que tive a oportunidade de conhecer graças à esse curso, Natalia Ferreira Pimenta, obrigada minha nega!

Agradeço a todo pessoal da FATEC, professores e funcionários, especialmente à Simone Roberta Scattolin e Janaina Mirabelli, por todo apoio em todos esses anos, que não foram poucos!

Ao meu Orientador e amigo, Celso Antônio Jardim, pela confiança, apoio, instruções e por toda força para seguir até ao fim!

A todos que, de algum modo, tiveram alguma participação em minha vida até agora e contribuíram para que esse sonho pudesse ser realizado.

Embora palavras não sejam suficientes para expressar toda gratidão que tenho, deixo aqui registrado meu muito obrigado!

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>18</b>
3.1 Conceituação e aspectos gerais.....	18
3.2 Elementos biológicos fundamentais na compostagem .....	20
3.2.1 Bactérias.....	21
3.2.2 Fungos.....	22
3.2.3 Actinomicetos .....	22
3.3 Principais variáveis de controle do processo .....	23
3.3.1 Umidade.....	23
3.3.2 Aeração .....	23
3.3.3 Temperatura .....	24
3.3.4 Relação Carbono:Nitrogênio .....	26
3.3.5 pH.....	28
3.3.6 Tamanho da partícula.....	28
3.4 Métodos convencionais de compostagem.....	29
3.4.1 Compostagem pelo sistema “Windrow” .....	29
3.4.2 Compostagem em leiras estáticas aeradas .....	32
3.4.3 Compostagem em reatores biológicos .....	33
3.4.4 Vantagens e desvantagens dos sistemas .....	36
3.5 Fontes potenciais de resíduos orgânicos .....	38
3.5.1 Resíduos sólidos urbanos.....	40
3.5.2 Resíduo sólido domiciliar .....	40
3.5.3 Resíduos “verdes” .....	41
3.5.4 Lodos de esgoto .....	43

3.6	Legislação .....	43
3.7	Contaminantes Químicos e Biológicos no Composto .....	46
3.8	Análise do composto.....	46
3.9	Utilização do composto no solo.....	47
3.10	Efeitos ambientais do processo de compostagem.....	48
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>°C</b>	Grau Celsius
<b>ABC</b>	Agricultura de Baixo Carbono
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ACV</b>	Avaliação do Ciclo de Vida
<b>C:N</b>	Relação Carbono Nitrogênio
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>Cu</b>	Cobre
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxigênio
<b>Fe</b>	Ferro
<b>g</b>	Gramas
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Água
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Sulfeto de Hidrogênio
<b>IN</b>	Instruções Normativas
<b>ISO</b>	Organização Internacional para Padronização
<b>K</b>	Potássio
<b>K<sub>2</sub>O</b>	Óxido de Potássio
<b>kg</b>	Quilograma
<b>kWh</b>	Quilowatt-hora
<b>MAPA</b>	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
<b>Mn</b>	Manganês

<b>N</b>	Nitrogênio
<b>NBR</b>	Norma Brasileira
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amônia
<b>NK</b>	Macronutriente primário
<b>NP</b>	Macronutriente primário
<b>NPK</b>	Macronutriente primário
<b>O<sub>2</sub></b>	Oxigênio
<b>P</b>	Fósforo
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Pentóxido de Fósforo
<b>pH</b>	Potencial hidrogeniônico
<b>PK</b>	Macronutriente primário
<b>Zn</b>	Zinco

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Esquema das etapas da compostagem .....	25
FIGURA 2 - Etapas de decomposição.....	27
FIGURA 3 - Equipamento utilizado para Revolvimento do Composto (Pá de trator) .....	30
FIGURA 4 - Equipamento utilizado para Revolvimento do Composto (Trator Auto Propelido) .....	30
FIGURA 5: Configuração de uma Leira Estática aerada. ....	33
FIGURA 6 - Reator de Fluxo Vertical .....	35
FIGURA 7 - Reator de Fluxo Horizontal .....	35

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Comparação entre as dimensões das leiras e áreas necessárias para a compostagem pelo sistema “windrow” .....	31
TABELA 2 - Principais vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de compostagem.	37
TABELA 3 – Fontes potenciais de matéria orgânica .....	38
TABELA 4 - Especificação dos fertilizantes organomineral e “composto” .....	45
TABELA 5 - Inventário de emissões na ACV do processo de tratamento biológico de resíduos sólidos urbanos por compostagem.....	49

## RESUMO

Os resíduos sólidos orgânicos gerados pelo Homem são considerados importante fonte de contaminação ambiental quando eliminados na natureza sem critérios. Desta forma estudos que viabilizem a forma de efetuar tratamento destes resíduos e que definam sua utilização poderão mitigar os impactos ambientais. No mundo são muitas as fontes de resíduos orgânicos, tais como: lixo doméstico, resíduos vegetais, resíduos animais, esgoto doméstico, esterco de animais, resíduos sólidos industriais, etc. A grande quantidade destes resíduos obtidos nas diferentes atividades realizadas pelo Homem tem provocado danos ambientais tais como contaminação da água, solo e ar. Uma das maneiras de reduzir estes danos ambientais é a utilização do sistema de compostagem destes resíduos. A compostagem pode ser definida como a decomposição aeróbica da matéria orgânica pela ação de organismos biológicos, em condições físicas e químicas adequadas. A adoção deste processo tecnológico é uma alternativa para a redução do volume de resíduo orgânico, além de ser uma estratégia para diminuir a emissão gasosa que provoca o aquecimento global. Neste contexto, a compostagem de resíduos atende plenamente a tendência mundial de obter a sustentabilidade no modelo produtivo, uma vez que seu tratamento possibilita sua utilização na agricultura moderna. Além disso, o tratamento de resíduos é considerado uma iniciativa básica do programa de Agricultura de Baixo Carbono (ABC). O presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre as formas e maneiras de efetuar o tratamento dos resíduos orgânicos através do sistema de compostagem, destacando seus benefícios.

**Palavras – Chave:** Tratamento. Carbono. Orgânico.

## **ABSTRACT**

### **ORGANIC WASTE TREATMENT BY AEROBIC COMPOSTING SYSTEM**

The organic solid residues generated by the Man are considered an important source of environmental contamination when discharged in nature without any criteria. That way, the studies that enable the treating of this residue and define its use, will be able to mitigate the environmental impact. In the world, there are several sources of organic residue, such as: domestic garbage, vegetable residue, animal residue, domestic sewer, manure, industrial solid residue, etc. A big amount of this residue obtained in different activities held by the Man has caused environmental damage such as water, air and soil contamination. One way to reduce these damages is to use the composting system. The composting can be defined by the aerobic decaying of the organic matter through the action of the biological organisms, in adequate physical and chemical conditions. The selection of this technological process is an alternative to reduce the volume of the organic residue, besides being an strategy to lower the gas emission that causes the global warming. In this context, the composing of residue meets in full the world tendency to obtain sustainability on the productive model, once the treatment enables its use in modern agriculture. Moreover, the treatment of the residue is considered a basic initiative of the program Agricultura de Baixo Carbono (ABC). This project shows a bibliographic review about the ways to treat the organic residue through composting, highlighting its benefits.

**Keywords:** Treating. Carbon. Organic.

## 1 INTRODUÇÃO

A compostagem pode ser definida como a decomposição aeróbia da matéria orgânica pela ação de organismos biológicos, em condições físicas e químicas adequadas. A matéria orgânica utilizada pode ser proveniente de diversas fontes como sobra de frutas, legumes, palhada de cultivares do campo, restos de alimentos, folhas e galhos de árvores podadas, gramas, palhas de café, de milho, entre outros. A matéria orgânica transformada em substância húmica, estabilizada, com propriedades e características bem diferentes é comumente chamado e composto orgânico.

Para que a compostagem seja feita de forma adequada é preciso realizar o controle de alguns fatores como umidade, oxigenação, temperatura, concentração de nutrientes, tamanho das partículas e pH, para que seja possível propiciar ao microrganismos um ambiente favorável à degradação, estabilização e humificação da matéria orgânica bruta. Todo esse controle tem como objetivo viabilizar o potencial de fertilização da matéria orgânica e evitar potenciais fatores adversos que causam impactos ao meio ambiente.

De acordo com Bidone (1995), o processo de compostagem pode ser dividido em três fases: inicial, de 1 a 2 dias, onde os compostos solúveis (açúcares) são decompostos; termofílica, onde são degradados principalmente celuloses e lipídeos; e de estabilização, um período durante o qual ocorre um declínio de temperatura, diminuição na taxa de decomposição e recolonização do composto por outros microrganismos.

A compostagem tem se apresentado como uma forma eficiente de reciclar resíduos sólidos orgânicos. Segundo Kiehl (1979), a compostagem é um processo de transformação de resíduos orgânicos em adubo humificado. O produto final da compostagem, denominado composto, é definido como sendo um adubo preparado com restos de animais e/ou vegetais. Quando bem caracterizado, permite-se que seja usado sem o risco de causar danos às plantas,

pois é um processo ambientalmente seguro e livre de patógenos. O emprego da compostagem diminui o volume do lixo, contribuindo para aumentar a vida útil dos aterros sanitários.

As algumas vantagens da compostagem são:

- Redução de cerca de 50% do lixo destinado ao aterro;
- Economia de aterro;
- Aproveitamento agrícola da matéria orgânica;
- Reciclagem de nutrientes para o solo;
- Processo ambientalmente seguro;
- Eliminação de patógenos;
- Economia de tratamento de efluentes.

Quando utiliza o método natural de compostagem o material é deixado em um pátio na forma de leira que é revolvida periodicamente. Este procedimento é adotado para evitar a decomposição anaeróbia da matéria orgânica, que é lenta e gera compostos orgânicos fétidos e fitotóxicos. O revolvimento também tem a função de homogeneizar, garantindo que nas leiras os microrganismos atuem sobre todos componentes orgânicos.

Em condições adequadas de umidade, oxigenação e temperatura, os microrganismos aeróbios rapidamente se proliferam, mineralizando a matéria orgânica. A intensa atividade microbiológica produz elevada liberação de  $\text{CO}_2$ , de  $\text{H}_2\text{O}$  e calor das leiras (LOPEZ, 2006; GRUBE, 2006). Carboidratos, aminoácidos, proteínas, ácidos graxos, celulose, ligninas e outros grupos de compostos orgânicos podem ser degradados e transformados através de um conjunto indeterminável de reações químicas e bioquímicas.

## **2 OBJETIVOS**

O presente trabalho possui como objetivo principal a descrição do processo de Compostagem, as características do composto, bem como qualidade e utilidade, com isso possibilitando um conhecimento geral do processo e sua importância para o Meio Ambiente.

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Conceituação e aspectos gerais**

A compostagem é praticada desde a história antiga, porém, até recentemente, não havia estudos a respeito, portanto a prática era feita de forma empírica. Os povos orientais, gregos e romanos já tinham conhecimento que os resíduos orgânicos, se retornados ao solo poderiam contribuir para sua fertilidade. Alberto Howard, em 1920, começou pesquisas quanto ao processo de compostagem e o mesmo começou a ser aplicado racionalmente. A partir disso, muitos trabalhos científicos lançaram bases para o desenvolvimento desta técnica, que hoje pode ser utilizada em escala industrial (FERNANDES e SILVA, 1999).

Compostagem pode ser definida como sendo: “um processo controlado de decomposição microbiana, de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica”. Nesse processo ocorre uma aceleração da decomposição aeróbica dos resíduos orgânicos por populações microbianas, que necessita das condições ideais para que os microrganismos decompositores se desenvolvam, (temperatura, umidade, aeração, pH, tipo de compostos orgânicos existentes e tipos de nutrientes disponíveis), pois utilizam essa matéria orgânica como alimento e sua eficiência baseia-se na interdependência e inter-relacionamento desses fatores. O processo é caracterizado por fatores de estabilização e maturação que variam de poucos dias a várias semanas, contudo isso depende do ambiente onde encontra-se (TEIXEIRA, 2002).

Por se tratar de um processo biológico, a compostagem requer condições especiais de temperatura, umidade, aeração, pH e relação C:N, em todos os estágios do processo. A temperatura apresenta-se como um dos principais fatores para o bom desempenho da compostagem e é o fator mais indicativo do equilíbrio biológico na massa em decomposição,

onde se reflete a eficiência do processo. Para que possam ser consideradas condições satisfatórias de equilíbrio em seu ecossistema, a compostagem deve registrar temperaturas em torno de 40°C e 60°C, durante os primeiros trinta dias.

De forma simplificada compostagem significa a transformação de resíduos orgânicos por microrganismos, principalmente, em um composto, que pode ser um insumo agrícola, de odor agradável, fácil de manipular e livre de organismos patogênicos. Por se tratar de um processo biológico aeróbio, necessita de aeração, umidade e nutrientes.

No processo de compostagem, alguns componentes da matéria orgânica podem ser utilizados pelos próprios microrganismos para a formação de seus tecidos, outros, volatilizados e outros transformados biologicamente em uma substância escura, uniforme e aspecto de massa amorfa, rica em partículas coloidais, com propriedades físicas, químicas e físico-químicas inteiramente diferentes da matéria-prima original. (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Portanto, podemos definir o composto como sendo o resultado de um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos (KIEHL, 1985). Posteriormente, Kiehl denomina como húmus o produto final da compostagem, que é considerado um condicionador e melhorador das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo. A legislação brasileira, todavia, classifica tais materiais como fertilizantes orgânicos (KIEHL, 1998).

Os principais produtos da compostagem estão representados a seguir:



A velocidade de decomposição da matéria orgânica varia de acordo com a estrutura molecular de cada material. Serragens, palhas, resíduos de poda, entre outros, são materiais ricos em Carbono, portanto degradam mais lentamente que resíduos úmidos domésticos, por exemplo, devido à alta relação Carbono:Nitrogênio. Sendo assim, enquanto a deficiência de Nitrogênio não for compensada, o processo continuará vagarosamente ou então, poderá cessar. No caso de resíduos ricos em proteínas e automaticamente com concentrações mais elevadas de Nitrogênio, a situação inverte-se. Pelo fato do processo de decomposição se dar em presença de O<sub>2</sub> atmosférico, há formação de gás carbônico e Amônia, sendo essa última liberada para a atmosfera, até que sejam estabelecidos os níveis adequados para o desenvolvimento normal do processo. Para que seja possível evitar perdas desnecessárias de

Nitrogênio, com o empobrecimento nutricional do húmus ou composto obtido, é indispensável a adição de uma fonte de Carbono ao material a ser estabilizado, (BIDONE e POVINELLI, 1999; KIEHL, 1985).

O processo de compostagem divide-se em três diferentes etapas: a primeira, mesofílica, correspondente à decomposição dos componentes facilmente biodegradáveis, a segunda etapa, termofílica, onde a celulose e materiais similares são degradados pela atividade fortemente oxidativa dos microrganismos e a terceira, de maturação/estabilização (KIEHL, 1998).

Os microrganismos que participam mais ativamente do processo são os aeróbios e os facultativos. Esses microrganismos, exotérmicos, liberam energia na forma de calor; o que explica o aquecimento natural das pilhas/leiras de compostagem, e justifica a importância do controle térmico do processo. Fazendo este controle, evita-se que temperaturas muito elevadas possam eliminar a massa biológica responsável pela estabilização do material em processamento. Na medida em que os materiais mais facilmente decomponíveis tornam-se escassos, o processo diminui em intensidade, até cessar, com o retorno às condições ambientais de temperatura e com o material bruto já transformado em húmus (BIDONE e POVINELLI, 1999).

### **3.2 Elementos biológicos fundamentais na compostagem**

A fertilidade do solo é aumentada pela ação dos microrganismos no solo. O Nitrogênio atmosférico é convertido em compostos nitrogenados, utilizados pelas plantas em síntese de proteínas. As substâncias inorgânicas são convertidas em compostos inorgânicos que são úteis para os vegetais (PELCZAR *et al.*, 1980).

Os microrganismos que participam do processo de transformação biológica da matéria orgânica crua biodegradável ao estado de matéria orgânica humificada, são influenciados por diversos fatores ambientais. Os principais microrganismos responsáveis pelo processo de compostagem são as bactérias, os fungos e os actinomicetos (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Segundo Kiehl (1998) na degradação da matéria orgânica também participam outros organismos como: algas, protozoários, nematoides, vermes, insetos e suas larvas.

Na etapa mesófila (40 a 50° C), início do processo de decomposição da matéria orgânica, predominam as bactérias e fungos produtores de ácidos orgânicos e pequenas

quantidades de ácidos minerais. De acordo com Kiehl (1985) a elevação da temperatura (fase termófila) a população dominantes será de actinomicetes, bactérias e fungos termofílicos ou termotolerantes. Isso ocorrerá, principalmente, pela disponibilidade de Oxigênio. Em temperaturas acima de 70°, as bactérias formadoras de esporos se desenvolverão, segundo o autor. As bactérias e fungos mesofílicos reaparecem com abaixamento da temperatura e extinção dos açucars e amidos.

A etapa de humificação do composto é conduzida por microrganismos específicos que sintetizam os polímeros complexos criando substratos para futuras atividades biológicas (SHARMA *et al.*, 1997).

A predominância dos microrganismos é influenciada, principalmente, pelos parâmetros: substâncias químicas da matéria que está sendo digerida com maior intensidade, teor de umidade, disponibilidade de Oxigênio, relação C:N, pH e temperatura (DEVENS, 1995).

Em sistema de compostagem bem arejado, os principais organismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, as bactérias, os fungos e os actinomicetos, multiplicam-se espantosamente em toda a massa (KIEHL, 1985).

### **3.2.1 Bactérias**

Bactéria (do grego βακτηριον, bakterion: bastão) é um domínio de micro-organismos unicelulares, procariontes (desprovidos de envoltório nuclear e organelas membranosas), antes também chamados Schizomycetes (ALCAMO, 1997). Sua multiplicação é feita, normalmente, por divisão primaria simples.

Para Devens (1995) as características mais marcantes das bactérias para o processo de compostagem são: exigências nutritivas, condições físicas necessárias ao crescimento e reprodução. As bactérias absorvem P, N, Mn, Fe, Zn, Cu e outros elementos de substâncias orgânicas, podendo ainda o N ser retirado da atmosfera.

O crescimento bacteriano pode ser profundamente afetado pela temperatura, uma vez que todos os processos de crescimento dependem de reações químicas e que essas reações são influenciadas por esta condição. Quanto às exigências atmosféricas, o Oxigênio e o Dióxido de Carbono são os principais gases que afetam o crescimento bacteriano.

Para a maioria das bactérias, o pH ótimo de crescimento se localiza entre 6,5 e 7,5. As variações mínimas e máximas, para a maior parte das espécies, estão entre pH 4 e pH 9 (PELCZAR *et al.*, 1980).

### 3.2.2 Fungos

A palavra portuguesa fungo deriva do termo latino fungus (cogumelo), usado nos escritos de Horácio e Plínio, o Velho. Por seu lado, fungus é derivado do grego sphongos/σφογγος ("esponja"), que se refere às estruturas e morfologia macroscópicas dos cogumelos e bolores. É uma planta sem clorofila, que se reproduz por esporos e pode ser parasita de animais ou plantas ou viver de matérias orgânicas em decomposição. Esses microrganismos são eucarióticos quimiorganotróficos. Os fungos não tem clorofila, são filamentosos em geral (5 a 10  $\mu\text{m}$  de dimensão transversal) e comumente ramificados.

Os fungos adaptam-se a condições mais severas do que a maioria dos microrganismos. Prova disso é que podem crescer em substratos com concentrações de açúcar intoleráveis para as bactérias; podem tolerar e crescer em concentrações altas de ácidos, suportando variações de pH entre 2 e 9, embora o ótimo, para a maioria das espécies, esteja situado em torno de 5,6. Embora sejam existentes quanto à umidade, são capazes de sobreviver em ambientes desidratados que inibiriam as bactérias não esporuladas. Segundo Pelczar *et al.* (1980), quando o ambiente se desidrata, os fungos produzem esporos ou entram em estado de vida latente.

### 3.2.3 Actinomicetos

Os actinomicetos são do grupo de bactérias corineformes; este grupo é formado pela família Propionibacteriaceae e pela ordem Actinomycetale. Os microrganismos pertencentes à ordem Actinomicetales são caracterizados por serem filamentosos e ramificados, não formam esporos do tipo encontrado nas verdadeiras bactérias, embora muitas espécies produzam esporos semelhantes aos fungos. O crescimento celular ramificado (micélio), juntamente com os métodos especializados de esporulação, relacionam esses germes com os fungos; deste

modo, os membros da ordem Actinomycetales são designados como bactérias semelhantes e esses microrganismos (PELCZAR *et al.*, 1980).

Frobisher *et al.* (1974) citaram algumas diferenças entre fungos e os actinomicetos: o diâmetro dos filamentos das actinomicetos é de 1 a 5  $\mu\text{m}$  de diâmetro, enquanto nos fungos é de 10 a 20  $\mu\text{m}$  e a estrutura das células dos actinomicetos é procariótica, dos fungos é eucariótica.

### **3.3 Principais variáveis de controle do processo**

A compostagem é um processo biológico aeróbio, sendo assim, os fatores mais importantes que influenciam a degradação da matéria orgânica, são a aeração, os nutrientes e a umidade. Outro fator importante, principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos, é a temperatura, porém é resultado da atividade biológica (FERNANDES E SILVA, 1999).

#### **3.3.1 Umidade**

Para que o processo de compostagem ocorra normalmente é preciso que haja o equilíbrio água-ar, o que se consegue mantendo o material em processamento com um teor de umidade da ordem de 55%. Umidades superiores a 60% levam a anaerobiose e inferiores a 40%, reduzem significativamente a atividade biológica (BIDONE E POVINELLI, 1999). Com umidade abaixo de 40%, a decomposição será aeróbia, mas lenta, predominando a ação de fungos, pois as bactérias estarão pouco ativas (KIEHL, 1998).

#### **3.3.2 Aeração**

A compostagem deve ser realizada em ambiente aeróbio. Dessa forma, o processo torna-se mais rápido e pode ser melhor conduzido, além de não produzir mau cheiro nem

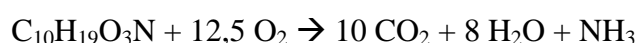
proliferação de moscas. A aeração pode ser feita por revolvimento manual ou por meios mecânicos, com insuflamento de ar (BIDONE, 1996).

O controle do teor de O<sub>2</sub> deve ser feito pela avaliação da temperatura, da umidade e do tempo de revolvimento, visto que há grande dificuldade em se medir esse teor na pilha. Em sua camada externa, próxima à atmosfera, a pilha contém 18 a 20% de O<sub>2</sub>; no interior da pilha, o Oxigênio vai baixando, até que em profundidades maiores que 0,60m, reduz-se 0,5 a 2%, na base e no centro da pilha. Na etapa termófila, considera-se como ideal a concentração de O<sub>2</sub> de 5%, porém já foram encontradas concentrações de 0,5% sem sinais de anaerobiose.

Segundo a Usepa (1994), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, a quantidade de Oxigênio necessária para a compostagem depende do estágio do processo, do tipo de resíduo, do tamanho da partícula e da umidade do substrato.

Para iniciar-se o processo de compostagem, percebe-se que é necessária grande quantidade de suprimento de Oxigênio. De acordo com Sharma *et al.* (1997) a etapa inicial da compostagem necessita de 5 a 15% de Oxigênio. Por outro lado, a etapa final necessita de condições menos oxidativas, onde as atividades biológicas são mais fracas e a temperatura é reduzida, sendo requerida a porcentagem de Oxigênio de 5%.

Teoricamente, a degradação dos sólidos voláteis do material a ser compostado pode ser estimada pela reação química de uma molécula biodegradável:



Com base na equação acima, são necessárias 2g de Oxigênio por grama de sólidos voláteis biodegradáveis para oxidação da matéria orgânica biodegradável. Caso o objetivo da aeração seja também o de secar o composto, então a necessidade de ar pode ser 10 vezes maior (FERNANDES E SILVA, 1999).

### 3.3.3 Temperatura

A compostagem aeróbia pode ocorrer em regiões tanto de temperatura termofílica (45°C a 85°C) como mesofílica (25°C a 43 °C) (ANDREOLI, 2001).

Em relação a temperatura, são definidas três diferentes etapas: a primeira, mesofílica, corresponde a decomposição dos componentes facilmente biodegradáveis, a segunda etapa,

termofílica, onde a celulose e materiais similares são degradados pela atividade fortemente oxidativa dos microrganismos e a terceira, mesofílica, de maturação e estabilização (MODESTO FILHO, 1999). Já, Bidone e Povinelli (1999) definem quatro etapas da compostagem. A 1ª etapa é de elevação da temperatura até o limite preconizado como ótimo na compostagem e pode levar algumas horas (entre 12 e 24 horas) ou alguns dias, dependendo dos condicionantes ambientais na região onde se encontra o pátio de processamento. Após atingir uma temperatura entre 55°C e 60°C, introduz-se o revolvimento, que é considerado um fator externo de controle, com ou sem umidificação, ou a aeração mecânica, realizada de forma intermitente, conduzindo-se, então, a bioestabilização na faixa de aquecimento adequada. A 2ª etapa é a de degradação ativa do material orgânico no método convencional “windrow”, podendo demorar de 60 a 90 dias. Quando as leiras são operadas na forma “estática aerada”, o período resulta significativamente menor, da ordem de 30 dias. Na 3ª etapa, inicia-se o resfriamento do material que, em condições normais, leva de três a cinco dias. A 4ª etapa é de maturação ou cura do material compostado, com a formação de ácidos húmicos, leva de 30 a 60 dias. A Figura 1 representa esquematicamente as quatro etapas da compostagem.

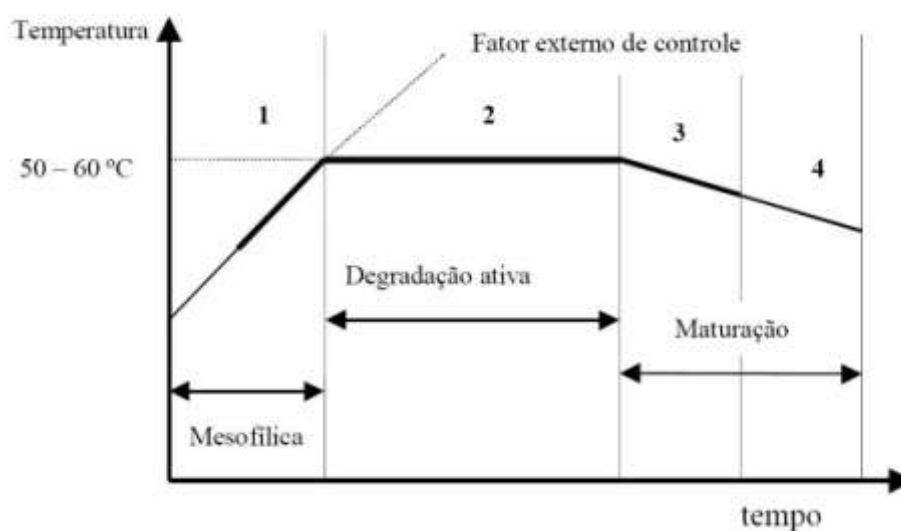


FIGURA 1 - Esquema das etapas da compostagem  
(Fonte: BIDONE, 1996, p. 43)

Alguns autores julgam que a faixa ótima para a ocorrência do processo está entre 50°C e 70°C, dando preferência para um valor médio ao redor de 55°C. Já acima de 65°C, as temperaturas são desaconselháveis, uma vez que mantidas por longos períodos, eliminam os microrganismos bioestabilizadores, responsáveis pela transformação do material bruto em

húmus. Na faixa ideal, ocorre a quase completa erradicação do meio de ervas daninhas e dos microrganismos patogênicos, o que garante a qualidade sanitária do composto. Além disso, elevadas temperaturas levam a pesadas perdas de Nitrogênio, na forma de Amônia, empobrecendo o composto em termos nutricionais.

O aquecimento das pilhas/leiras de compostagem ocorre naturalmente, em função do processamento do material pelos microrganismos cujo metabolismo é exotérmico.

O controle da faixa ideal de temperatura é realizado através do revolvimento do material em processamento, ou de sua irrigação, ou de ambos; baixas temperaturas são indicativos de alta umidade, e temperaturas elevadas indicam baixa umidade. Também, como as pilhas/leiras apresentam diferentes temperaturas da parte mais interna a mais externa, o seu volume e a sua configuração geométrica também podem interferir na temperatura. Portanto, o controle da temperatura pode ser feito com o abaixamento da altura da pilha, irrigação e revolvimento. É importante referir que o revolvimento, por si só, não evita que de 6 a 12 horas após haja a recuperação do calor (BIDONE e POVINELLI, 1999).

A aeração também é usada como meio de controlar a temperatura. Em certos casos, o insuflamento de ar comprimido no composto pode ser de 5 a 10 vezes maior do que o necessário à respiração microbiana, tendo a função de dissipar o calor liberado no processo (ANDREOLI, 2001).

### **3.3.4 Relação Carbono:Nitrogênio**

A relação C:N (peso em peso) ideal para a compostagem é de 30:1. Dois terços do Carbono são liberados como dióxido de Carbono, utilizado pelos microrganismos para obter energia e o outro terço do Carbono juntamente com o Nitrogênio é utilizado para constituir as células microbianas. Quando faltam materiais com elevada relação C:N durante o processo de compostagem dos materiais orgânicos, as perdas de Nitrogênio podem ser muito elevadas. Quando a relação C:N é baixa, o Nitrogênio fica em excesso e poderá ser perdido como Amônia causando odores desagradáveis. Para alta relação C:N, a falta do Nitrogênio irá limitar o crescimento microbiano e o Carbono será degradado lentamente com temperaturas baixas. Um volume de três partes de materiais ricos em Carbono para uma parte de materiais ricos em Nitrogênio é uma mistura muitas vezes utilizada. Com o aumento dos materiais ricos

em Carbono relativamente aos nitrogenados o período de compostagem requerido aumenta. (ESAPL - Manual de Compostagem, 2012).

De acordo com Russo (2003) os elementos C e N são fundamentais, pois constituem elementos presentes nas células microbianas, em que C representa em média 50% e N de 2 a 8%. A relação C:N depende do microrganismo e do meio de crescimento.

Basicamente a relação C/N é utilizada como bom indicador da estabilidade biológica do composto (MOREL *et al.*, 1985), definindo a qualidade do produto resultante da compostagem. No entanto, este parâmetro não dispensa uma interpretação com base nas características iniciais do produto, constituindo melhor avaliação a análise dos valores C:N inicial e final (RUSSO, 2003).

Portanto, é possível conhecer o andamento do processo se for feito o acompanhamento da relação C:N durante a compostagem, indicando quando o composto atingiu a semicura ou bioestabilização (relação C:N em torno de 18:1) e depois transformou-se no produto acabado ou humificado (relação C:N em torno de 10:1) (KIEHL, 1998).

A Figura 2 representa as etapas de transformação do Carbono e do Nitrogênio ao longo do período de estabilização (BIDONE, 1996; KIEHL, 1985).

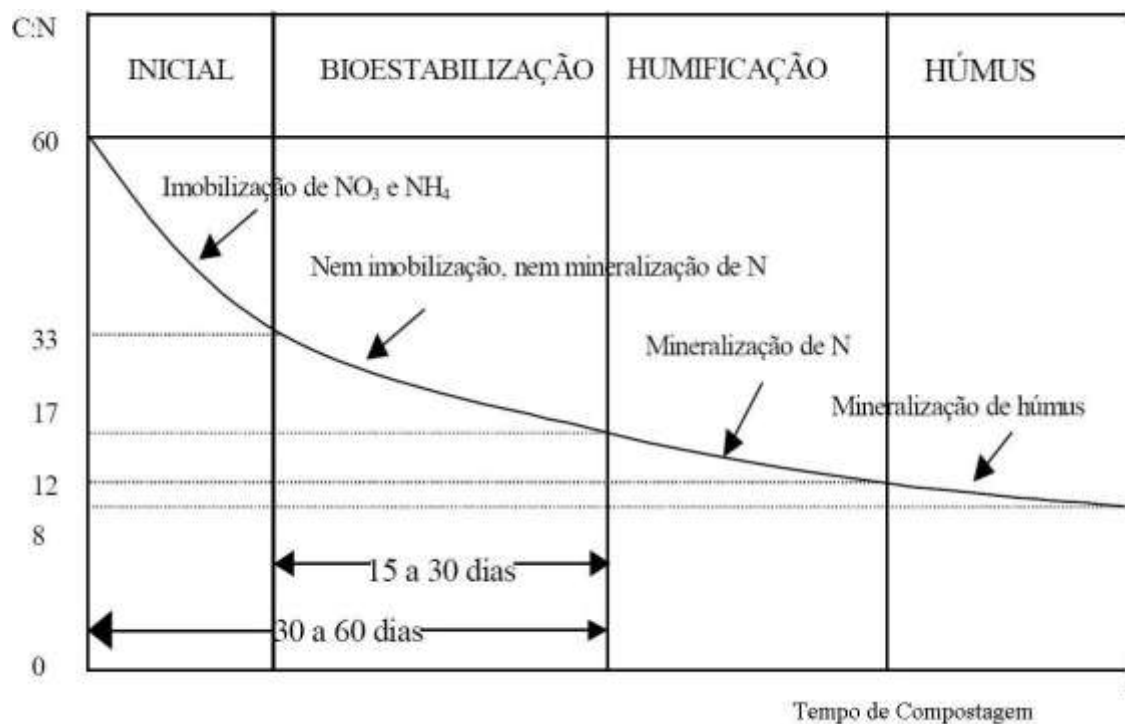


FIGURA 2 - Etapas de decomposição  
(Fonte: BIDONE, 1996, p. 43; KIEHL, 1985, p. 257)

### 3.3.5 pH

A compostagem aeróbia provoca a elevação do pH da massa em biodegradação. No início do processo, devido a formação de ácidos minerais e gás carbônico, o material produzido pode tornar-se mais ácido (pH de 5 a 6). Estes ácidos minerais logo desaparecem, dando lugar aos ácidos orgânicos, que reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino, chegando a valores de pH de 8 a 8,5. Isto se deve principalmente à decomposição das proteínas bem como pela eliminação do gás carbônico. Assim é que independentemente do uso de corretivos, a compostagem conduz à formação de matéria orgânica húmica com reação alcalina (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Quando o pH no início da compostagem é elevado, associado a altas temperaturas, causa a perda de Nitrogênio por volatilização da Amônia (RUSSO, 2003). Vários autores consideram que o pH afeta compostagem e difícil de ser controlado durante o processo. No entanto, de acordo com Russo (2003), o pH é auto regulado no processo de compostagem, não merecendo, por isso, uma preocupação especial em controlá-lo durante o processo de compostagem.

### 3.3.6 Tamanho da partícula

De modo geral, as partículas destinadas à compostagem de resíduos sólidos orgânicos devem apresentar dimensões entre 25 e 75 mm (FERNANDES E SILVA, 1999). Para partículas muito finas, pode ocorrer compactação excessiva do material. Para que isso não ocorra, deve-se agregar material sólido à massa, melhorando a sustentação, a porosidade e a decorrente aeração. Porém, se as partículas forem muito grossas, deve-se triturá-las antes da montagem das leiras (BIDONE e POVINELLI, 1999).

Partículas menores que 2 mm são muito finas e a aeração é mais difícil, enquanto que acima de 16 mm facilita o arejamento natural, sem revolvimentos constantes. Por outro lado, quanto menor forem as partículas, maior será a área de ataque pelos microrganismos (RUSSO, 2003).

### 3.4 Métodos convencionais de compostagem

O método de compostagem utilizado em larga escala nas áreas agrícolas, inicialmente, envolvia somente a estocagem de materiais putrescíveis, levando alguns meses para ser degradado. Atualmente, este método, espontâneo e sem biotecnologia, não é aceito ambientalmente, pelo fato de não garantir a qualidade final do produto, o composto orgânico. A maior diferença entre os processos de compostagem está na metodologia de aeração.

#### 3.4.1 Compostagem pelo sistema “Windrow”

Esse método necessita que o local do projeto seja tecnicamente apropriado. Deve-se levar em consideração condições do solo, topografia, sistema de drenagem existente, além de outras características específicas. Deve haver o correto dimensionamento das leiras para que não ocorra perda de calor para manutenção do processo (SHARMA *et al.* 1997).

Equipamentos mecânicos realizam o revolvimento para misturar e realizar a aeração dos resíduos orgânicos. A introdução de ar na massa de sólidos é feita por difusão e convecção (ANDREOLI, 2001).

Quando é realizado o revolvimento, a matéria orgânica entra em contato com a atmosfera rica em Oxigênio, o que supre momentaneamente as necessidades de aeração do processo biológico. O efeito do revolvimento é limitado e depende de outros fatores, principalmente porosidade, umidade e nutrientes.

Os equipamentos mecânicos utilizados para revolvimento e mistura do composto, são de dois tipos básicos:

- implementos tracionados por tratores agrícolas, alguns já fabricados no Brasil;
- equipamentos auto propelidos, que se deslocam sobre a leira e realizam o revolvimento, deixando as leiras com dimensões padrão, fixadas pelo modelo do equipamento.

Na prática, utilizam-se pás carregadeiras ou retroescavadeiras, que são equipamentos convencionais de obras de terraplenagem, cuja eficiência é menor, porém podem ser usadas com bons resultados.



FIGURA 3 - Equipamento utilizado para Revolvimento do Composto (Pá de trator)



FIGURA 4 - Equipamento utilizado para Revolvimento do Composto (Trator Auto Propelado)

O resíduo estruturante e o método de construção, determinam a altura e seção ideais das leiras. As mais comuns são as de seção triangular com altura de 1,50 a 1,80m e as de 4,0 a 4,5m de base. Porém é possível variar as dimensões, como mostra a Tabela 1. As características do equipamento que realizará o revolvimento determinam o espaçamento entre as leiras (FERNANDES e SILVA, 1999).

TABELA 1 - Comparação entre as dimensões das leiras e áreas necessárias para a compostagem pelo sistema “windrow”

<b>Parâmetro</b>	<b>Baixo</b>	<b>Médio</b>	<b>Alto</b>
Altura (m)	0,9	1,4	2,1
Base (m)	3,7	4,3	7,0
Volume por comprimento (m <sup>3</sup> /m)	1,7	3,0	7,35
Relação superfície/volume (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	2,2	1,43	0,95

(Fonte: adaptado de FERNANDES E SILVA, 1999, p. 42.).

Segundo Fernandes e Silva (1999), durante a compostagem, as leiras devem ser revolvidas no mínimo três vezes por semana para atender os seguintes objetivos:

- aerar a massa de resíduos em compostagem;
- aumentar a porosidade do meio, que sofre uma compactação natural devido ao peso próprio do resíduo;
- homogeneizar a mistura;
- expor as camadas externas às temperaturas mais elevadas do interior da leira, melhorando a eficiência da desinfecção;
- em alguns casos, reduzir a granulometria dos resíduos;
- diminuir o teor de umidade dos resíduos;
- controlar a temperatura do processo

No início do processo, o sistema de leiras revolvidas pode gerar alguns problemas de odor. No início do revolvimento, esta emissão é mais intensa. Para amenizar esse problema, pode-se aumentar a frequência do revolvimento, evitando assim a anaerobiose.

Há uma relação ideal entre a porosidade e o conteúdo de água do material orgânico em compostagem, que deve ser de 30% a 36% de porosidade e 55% e 65% de umidade. Materiais estruturalmente mais resistentes, de granulometria grosseira e de consistência firme, pelo fato de não compactarem-se pela pressão exercida por outras camadas superiores, garantem melhor aeração da pilha ou leira. Essa aeração torna-se mais difícil em materiais tenros, amorfos e de granulometria fina, por possuírem poucos espaços vazios.

Em sistemas “windrow” a mistura de resíduos está bem equilibrada, normalmente, nos primeiros 2 – 4 dias de compostagem a temperatura deve passar dos 55°C e se estabilizar em torno de 60°C durante toda a etapa de estabilização, que terá sua duração variável,

dependendo das características dos resíduos e da operação do sistema. Geralmente, um período de 1 a 2 meses é suficiente para que a etapa termofílica complete seu ciclo. Na etapa de maturação, o composto é geralmente transportado para um pátio específico, onde a necessidade de aeração é menor e o revolvimento pode ser realizado a cada 20 – 25 dias. Através de testes específicos, pode-se determinar o período final da etapa de maturação, porém essa tem duração média de 2 a 3 meses. Após a maturação, o composto pode peneirado e ensacado ou ainda vendido a granel.

No manual da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, a USEPA (1994) é apresentado um simplificado sistema “windrow”. Denominado de compostagem passiva, é utilizado principalmente para resíduos com partículas uniformes. Embora esse sistema seja aplicável para qualquer tipo de resíduo, não é recomendado para resíduos que podem causar problemas de odores, como os domiciliares. É o sistema mais econômico, consiste da montagem das leiras e de um revolvimento a cada ano. O controle da umidade deve ser rigoroso para manter o processo na faixa ideal. A temperatura é a medida essencial do processo, indicando a eficiência da compostagem. É possível controlar a temperatura e umidade pela configuração geométrica da leira. Trata-se de um sistema simples, porém sua implantação deve ser feita em regiões com pouca densidade populacional e com proteção ambiental através da instalação de cortina vegetal para emanção dos odores.

### **3.4.2 Compostagem em leiras estáticas aeradas**

O método foi desenvolvido na Estação Experimental de Beltsville, no Estado de Maryland, USA (Kiehl, 1998), sendo conhecido como Método da Pilha Estática, aplicado inicialmente para lodo de esgoto. A diferença entre a leira estática aerada e a compostagem natural é o revolvimento, que não ocorre na primeira. O material ideal para ser compostado através desse sistema deve ser homogêneo e possuir granulometria suficiente para garantir boa permeabilidade do ar insuflado sob baixa pressão, por esse motivo, não é recomendado para todo tipo de resíduo sólido.

O processo consiste em colocar no piso do pátio uma tubulação plástica ou metálica, perfurada, de 10 cm de diâmetro em forma de retângulo e ligada a um exaustor. Sobre esta tubulação, dispõe-se uma camada de madeira triturada com 15 a 20 cm de espessura, servindo

de leito filtrante para o lixiviado e também facilitar a passagem do ar na leira, que será insuflado ou aspirado através dos orifícios da tubulação. Sobre esta drenagem é montada a leira, formada pela mistura de resíduos. No final da montagem recobre-se a leira com uma camada fina de composto maturado e peneirado, cuja finalidade é reter o calor na pilha e filtrar os gases, diminuindo os odores (Figura 5). Fernandes e Silva (1999) recomendam 5 cm para esta camada, enquanto Kiehl (1998) indica 30 cm. Kiehl (1998) afirmou que inicialmente era realizada somente a aspiração intermitente. Depois passou-se a intercalar aspiração e insuflação de ar. Nesta técnica, o ar retirado da leira é insuflado em composto pronto como forma de reter os odores.

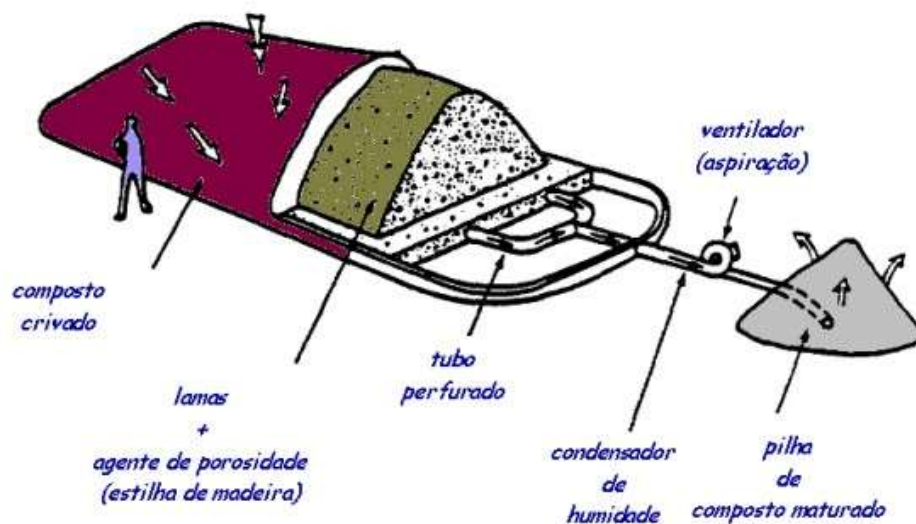


FIGURA 5: Configuração de uma Leira Estática aerada.

### 3.4.3 Compostagem em reatores biológicos

A compostagem em reatores biológicos (In-vessel) é um processo em sistema fechado, onde é possível controlar todos os parâmetros importantes do processo. É um processo vantajoso, devido ao período reduzido da etapa termofílica, o que em alguns casos conferiu a esse processo o nome de “compostagem acelerada”. Supõe-se que esse sistema tenha mais eficiência na mistura, devido às suas condições operacionais, equilibrando a temperatura em toda a massa de resíduos, garantindo a eliminação eficiente dos patógenos. O maior controle

de odores é outra característica importante desse processo, pois o sistema é fechado e a aeração controlada.

O tempo de detenção nos reatores biológicos pode variar de 7 a 20 dias, de acordo com as características dos resíduos e do tipo de equipamento, portanto requer menor espaço para implantação. Por se tratar de um sistema fechado, a aeração é realizada sob pressão e sua taxa é facilmente controlada. Quando a taxa de  $O_2$  está abaixo de 2%, aumenta-se a vazão do ar para evitar anaerobiose. Antes de ser utilizado, o composto deve passar por um período de maturação de aproximadamente 60 dias, assim como descrito nos sistemas anteriores, mesmo possuindo uma etapa termofílica mais rápida e intensa.

De maneira geral, os reatores enquadram-se em três grandes categorias:

- Reatores de fluxo vertical (Figura 6): constituídos por sistemas parecidos com silos verticais, onde os resíduos geralmente entram pela parte superior e percorrem o reator no sentido descendente. O ar pode ser injetado em vários níveis ou apenas na parte inferior do reator.
- Reatores de fluxo horizontal (Figura 7): dispostos horizontalmente e, geralmente, de forma cilíndrica. Podem também ser conhecidos como tuneis. Os resíduos entram por uma extremidade do reator e saem pela outra, com tempo de detenção suficiente para realização da etapa termofílica.
- Reatores de batelada: diferente dos anteriores pelo fato do composto ficar confinado, sem se deslocar. O reator geralmente é dotado de um sistema de agitação da massa de resíduos, que pode ser por rotação lenta do reator em torno de seu próprio eixo, ou por um sistema misturador interno. O revolvimento é necessário para limitar os caminhos preferenciais de passagem do ar, no entanto, alguns reatores, entretanto, não realizam esta operação.



FIGURA 6 - Reator de Fluxo Vertical

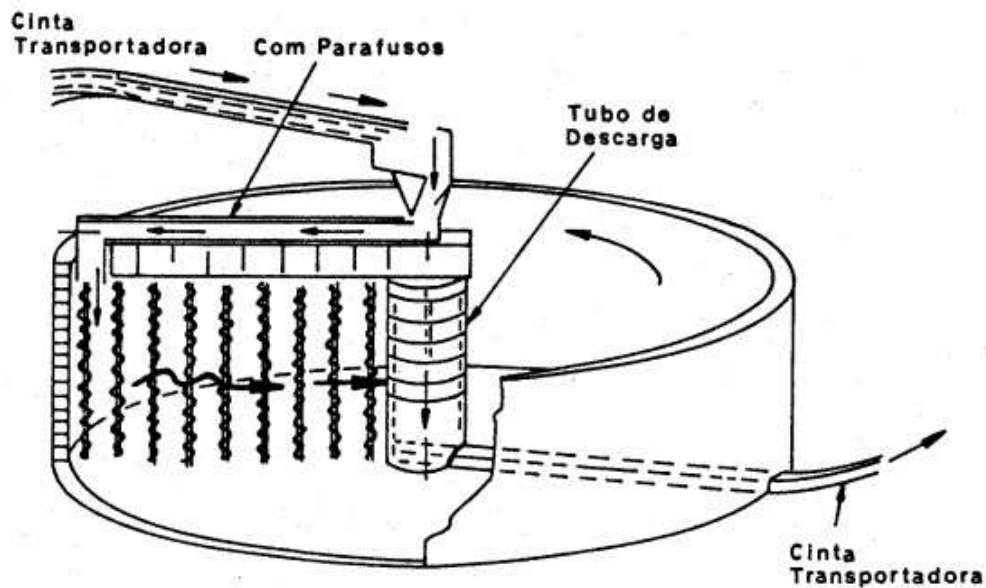


FIGURA 7 - Reator de Fluxo Horizontal

Nos dois primeiros casos, os resíduos passam pelos reatores em fluxo contínuo, onde o período de detenção é definido pela velocidade com que os resíduos percorrem o trajeto de entrada até a saída do reator. No terceiro caso, o reator recebe determinada quantidade de resíduos, processa-os, e quando a etapa termofílica chega ao final, o reator é aberto,

descarregado em batelada, recomeçando-se o processo com novos resíduos frescos (SHARMA *et al.*, 1996).

#### **3.4.4 Vantagens e desvantagens dos sistemas**

Para realização de uma compostagem eficiente não é preciso uma tecnologia sofisticada. É necessário um controle de qualidade dos resíduos que serão processados e um monitoramento do processo, de forma a garantir a produção ambientalmente correta de um composto orgânico. A determinação da tecnologia a ser utilizada, é avaliada de acordo com os critérios técnicos e econômicos. As principais vantagens e desvantagens dos três sistemas são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2 - Principais vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de compostagem.

<b>Sistema de Compostagem</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Leiras revolvidas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Baixo investimento inicial;</li> <li>2. Flexibilidade de processar volumes variáveis de resíduos;</li> <li>3. Simplicidade de operação;</li> <li>4. Uso de equipamentos simples;</li> <li>5. Produção de composto homogêneo e de boa qualidade;</li> <li>6. Possibilidade de rápida diminuição do teor de umidade das misturas devido ao revolvimento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Maior necessidade de área, pois as leiras tem que ter pequenas dimensões e há necessidade de espaço livre entre elas;</li> <li>2. Problema de odor mais difícil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento;</li> <li>3. Muito dependente do clima. Em períodos de chuva o revolvimento não pode ser feito;</li> <li>4. O monitoramento da aeração deve ser mais cuidadoso para garantir a elevação da temperatura.</li> </ol>
Leiras estáticas aeradas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Baixo investimento inicial;</li> <li>2. Melhor controle de odores;</li> <li>3. Etapa de estabilização mais rápida que o sistema anterior;</li> <li>4. Possibilidade de controle da temperatura e da aeração;</li> <li>5. Melhor uso da área disponível que o sistema anterior.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Necessidade de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem;</li> <li>2. Operação também influenciada pelo clima.</li> </ol>

Compostagem em reator biológico	1. Menor demanda de área;	1. Maior investimento inicial;
	2. Melhor controle do processo de compostagem;	2. Dependência de sistemas mecânicos especializados, o que torna mais delicada e cara a manutenção;
	3. Independência de agentes climáticos;	3. Menor flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos;
	4. Facilidade para controlar odores;	4. Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado ou a tecnologia proposta for inadequada.
	5. Potencial para recuperação de energia térmica (dependendo do tipo de sistema).	

---

(Fonte: FERNANDES e SILVA, 1999).

### 3.5 Fontes potenciais de resíduos orgânicos

De acordo com Sharma *et al.* (1997) os resíduos orgânicos podem ser classificados em duas categorias, tais como resíduos agroindustriais e derivados de área urbanas. Dentre estes, os principais grupos são os dejetos de animais, os resíduos de colheitas, os restos de frutas e vegetais, a biomassa aquática, os resíduos de peixes e similares, os resíduos industriais e os resíduos de habitação humana, entre outros apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – Fontes potenciais de matéria orgânica

- 
1. Resíduos de agricultura (da colheita e de dejetos de animais): esterco e urina de animais, casca de arroz, bagaços e outros resíduos de cereais.
  2. Resíduos urbanos: fração orgânica do resíduo sólido domiciliar, lodos de tratamento de esgotos, resíduos verdes (podas e limpeza de praças)
  3. Resíduos de processamento de madeira: serragem, cavacos e cascas de madeira.
  4. Resíduos de processamento de alimentos: indústria da cana, maltarias, leiteira, processamento de peixes, resíduos de indústria de doces, vinhos, óleos, etc.

5. Outros resíduos industriais: resíduos de fermentação, resíduos da indústria de papel e celulose, lodo de tratamento de efluentes da indústria de tanino, etc.
6. Outros resíduos locais e especiais: casca de coco, bagaços, ervas de chás.
7. Resíduos humanos de habitações: fezes e urina.
8. Biomassa aquática: macrófitas.

---

(Fonte: Sharma *et al.*, 1997)

Resíduos gerados em atividades rurais apesar de estarem facilmente disponíveis, são encontrados de forma dispersa para serem reaproveitados conjuntamente. Os resíduos orgânicos urbanos podem mais facilmente ser utilizados conjuntamente em unidades de tratamento.

As maiores causas de efeitos adversos no ambiente são aplicações sucessivas de culturas e mau uso de fertilizantes minerais. Com isso, a busca por alternativas que promovam a fertilidade do solo com o mínimo de impacto ambiental tem aumento significativamente. Desse modo, a reciclagem de matéria orgânica tem se tornado muito importante. A aplicação de fertilizante orgânico eleva a produtividade do solo, pois melhora suas propriedades físicas, físico-químicas e biológicas.

É importante salientar que a produção de um composto orgânico de boa qualidade requer matéria orgânica que não esteja contaminada com substâncias tóxicas. A presença de metais pesados, materiais inertes e a instabilidade biológica estão entre os principais problemas apresentados em compostos orgânicos não produzidos adequadamente. Entretanto, não há contaminação que não possa ser evitada com uma separação na fonte ou uma “catação” (triagem) e/ou peneiramento eficientes na unidade de triagem e compostagem. Portanto, para produzir um composto de boa qualidade é necessário adotar processos de purificação da matéria orgânica com implantação de tecnologias apropriadas, tais como triagem manual, separador magnético, separador balístico (REIS *et al.*, 2000).

Segundo Gouvea e Pereira Neto (1997), o aproveitamento de resíduos urbanos (“lixo” e esgoto) como alternativa de corretivos e fertilizantes mais baratos e, paralelamente, diminuição dos impactos ambientais, ocasionados pelo acúmulo e não aproveitamento destas fontes poluidoras parece ser uma solução pautada para o problema.

### 3.5.1 Resíduos sólidos urbanos

Há diversas fontes de matéria orgânica nos resíduos sólidos urbanos, tais como resíduos sólidos domiciliares, resíduos verdes de podas urbanas, resíduos de coletas especiais em estabelecimentos comerciais, industriais, entre outros. A seleção dos resíduos e métodos deve levar em consideração os seguintes aspectos: a proteção ambiental, o gerenciamento do processo, a comercialização dos subprodutos e a sustentabilidade da solução adotada.

De acordo com Sharma *et al.* (1997) esses resíduos podem ser divididos em três categorias:

- Matéria orgânica facilmente decomposta: restos de alimentos e similares.
- Matéria orgânica de difícil biodegradabilidade: madeiras, galhos verdes, papel e papelão não plastificado.
- Materiais inertes: plásticos, vidros, metais e outros sintéticos.

Os diversos processos de tratamento em unidades de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos envolvem etapas de purificação para garantir a máxima recuperação e qualidade da matéria orgânica.

### 3.5.2 Resíduo sólido domiciliar

Os resíduos sólidos domiciliares são aqueles originados das residências familiares típicas. Os dados nacionais indicam que tais resíduos são compostos, em média, por restos de alimentos (67%), papéis (19,8%), plásticos (6,5%), vidros (3%) e metais (3,7%) (ROTH, ISAIA e ISAIA, 1999). Considerando-se as características dos resíduos sólidos no Brasil, observa-se o grande potencial de reciclagem destes, com o aproveitamento da matéria orgânica. As chamadas “Usinas de reciclagem de lixo” não fazem a correta triagem dos materiais na esteira ou local de separação dos resíduos recicláveis secos e rejeitos. Plásticos não recicláveis, madeiras, isopor, entre outros, são considerados rejeitos e na maioria das vezes são encaminhados ao pátio de compostagem juntamente com a matéria orgânica, prejudicando a operação no pátio, dificultando o peneiramento e interferindo negativamente na qualidade final do composto produzido. Os usos mais comuns do composto orgânico

contemplam hortas, hortos e viveiros, agricultura em geral e fruticultura, floricultura, programas de paisagismo, parques e jardins, “play-grounds”, programas de reflorestamento, controle de erosão, recuperação de áreas degradadas e recuperação vegetal de solos exauridos, controle de doenças e pragas agrícolas, cobertura e vegetação de aterros e produção de fertilizantes organominerais.

A tendência mundial de reciclagem de resíduos orgânicos através da compostagem tem sido uma importante estratégia para o gerenciamento integrado de resíduos. Um estudo de Mbuligwe *et al.* (2002) avaliou o potencial de compostagem de resíduos sólidos domiciliares.

Em um estudo piloto, foi evitada a contaminação da matéria orgânica por metais pesados, pela segregação e coleta dos resíduos sólidos orgânicos diretamente na fonte. Aproximadamente 78% dos resíduos domiciliares eram resíduos orgânicos e estes tinham relação C:N inicial de 37:1 – 43:1. Foi realizado o acompanhamento da umidade, relação C:N, temperatura, pH e aeração, bem como dos organismos envolvidos para monitoramento do processo. Adicionalmente, foi monitorada também a frequência de revolvimento (0 – 3 vezes por semana), assim como a manutenção da umidade através da irrigação. Ao final de 26 dias, a relação C:N chegou a 16:1 – 21:1. A compostagem dos resíduos orgânicos reduziu a massa em 60%.

A compostagem dos resíduos sólidos domiciliares consiste de três etapas básicas: triagem dos resíduos, quando é retirada a parcela não orgânica, a decomposição da fração biodegradável e preparação do produto final (composto). Esta alternativa de tratamento para os resíduos sólidos domiciliares é viável, devido ao teor significativo de matéria orgânica presente nos mesmos.

### **3.5.3 Resíduos “verdes”**

Os resíduos sólidos “verdes” são caracterizados por aqueles provenientes de práticas de podas urbanas e de sobras de produtos hortifrutigranjeiros. Estes representam uma considerável fração dos resíduos orgânicos gerados em um município. Estes resíduos, apesar de sua grande concentração de lignina, são biodegradáveis, sendo classificados pela norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004) como resíduos Classe II A – não

inertes, podendo, desta forma, receber tratamento e destinação final similares aos dispensados aos resíduos domiciliares (BIDONE *et al.*, 2001).

Os resíduos verdes provenientes de coletas especiais, contendo restos de frutas, verduras e principalmente materiais resultantes da limpeza de jardins, como gramas, folhas e galhos, podem resultar em um composto de excelente qualidade. As indústrias de alimentos, os supermercados, as feiras e os serviços de limpeza de áreas verdes, estão entre as principais fontes destes resíduos. É possível a presença de fitopatogênicos em qualquer resíduo, que geralmente são destruídos na compostagem. Se realizada segregação adequada dos materiais em sua origem, a presença de contaminantes químicos é evitada. A principal característica dos resíduos provenientes das podas é alta relação C:N, a mistura com resíduos ricos em Nitrogênio pode resolver o problema na compostagem, como resíduos vegetais que possuem alto poder de fermentação (SHARMA *et al.*, 1997).

Outros resíduos que possuem grande potencial de reaproveitamento na compostagem são os restos orgânicos provenientes de centrais de abastecimento e de processamento de alimentos. A compostagem deste tipo de resíduo tem sido avaliada em vários países, pelo fato deste processo converter o resíduo em um produto estável e livre de patógenos. O processo de compostagem, quando corretamente executado, destrói os patogênicos e as ervas daninhas através do calor metabólico gerado pelos microrganismos durante o processo (VAN HEERDEN *et al.* 2002). Os restos orgânicos provenientes de diversas fontes apresentam-se de várias formas, como folhas, talos, cascas, polpas, brotos e lodos. Na maioria dos casos é necessário ajustar alguns fatores para a destinação destes resíduos ao processo de compostagem. Muitos apresentam elevada umidade, de até 90%, e pH ácido. Portanto, é necessário acrescentar agentes estruturantes que ajustam estes fatores, além de proporcionar outras vantagens. Alguns métodos de secagem dos resíduos também são utilizados para diminuir a quantidade de agentes estruturantes, embora estes também auxiliem no aumento da porosidade, melhorando a aeração no processo de compostagem (SHAUB e LEONARD, 1996).

### 3.5.4 Lodos de esgoto

Os produtos resultantes do tratamento biológico de esgotos provenientes de áreas residenciais, indústrias alimentares, de papel, entre outras, são chamados de Lodos. Esse é um dos resíduos mais estudados com relação à sua aplicação no solo e nas inter-relações solo-planta-animal com o Homem. Lodos provenientes de estações de tratamento de esgotos domésticos podem ser interessantes fontes de N e P para as plantas, entretanto, podem apresentar altos teores de elementos tóxicos e organismos patogênicos (TEDESCO e STAMMEL, 1986).

É necessário agregar resíduos estruturantes que possuem baixa umidade, maior granulometria e alta relação C:N aos lodos de esgoto, pois alta umidade, baixa relação C:N e granulometria muito fina dificultam a compostagem deste resíduo isoladamente. Essa adição de resíduos estruturantes aumenta a eficiência do processo. O fato de o material adquirir maior granulometria, ao ser misturado com resíduos estruturantes, garante maior facilidade na aeração e nos ajustes de umidade e nutrientes. O lodo é um resíduo rico em Nitrogênio, que apresenta relação C:N entre 5 e 11.

As características qualitativas dos lodos de esgoto dependem de certos fatores, como origem, tipo de tratamento biológico, condição final de estabilização e tipo de secagem/desidratação utilizada. O lodo livre de impurezas é um importante fertilizante, com baixos teores de Potássio, mas com consideráveis quantidades de Nitrogênio e Fósforo (SHARMA *et al.*, 1997).

## 3.6 Legislação

A NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto a seus riscos para o meio ambiente e para a saúde pública. Os resíduos radioativos não entram nessa classificação, por ser competência exclusiva da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Essa norma separa os resíduos em quatro classes: Classe I – resíduos perigosos; Classe II – resíduos não perigosos, que é subdividida em Classe II A, não inertes e Classe II B, inertes. Sendo assim,

podemos classificar a maior parte dos resíduos orgânicos como Classe II A, não inertes, por se tratarem de resíduos biodegradáveis.

O composto orgânico humificado pode ser definido como sendo todo produto de origem vegetal ou animal que, aplicado ao solo em determinadas quantidades, em época e de forma adequadas, pode trazer melhorias de qualidades físicas, químicas e biológicas desse solo, sendo também um corretivo da acidez, um complexante de elementos tóxicos e uma fonte de nutrientes às plantas. Isso garante a produção de colheitas compensadoras, com produtos de boa qualidade, não causando danos ao solo, à planta ou ao ambiente (KIEHL, 1985).

O decreto federal nº 86.955 de 18 de fevereiro de 1982, regulamenta os fertilizantes organominerais no Brasil. A definição: “Fertilizante organomineral – fertilizante proveniente da mistura ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos” é estabelecida por esse decreto. A portaria nº 31 do Ministério da Agricultura, de 8 de junho de 1982, que aprova os métodos analíticos que passaram a constituir os métodos padrões e oficiais para análise de fertilizantes, e a Portaria nº 1 do mesmo ministério, de 4 de março de 1983, que fixa especificações, garantias e tolerâncias dos produtos, complementam esse decreto. A Portaria nº 1 define alguns parâmetros que devem ser respeitados para o composto que é colocado à venda, porém não toca em questões importantes para a qualidade, como metais pesados e microrganismos patogênicos.

A Tabela 4 apresenta alguns parâmetros fixados pela Portaria nº1.

TABELA 4 - Especificação dos fertilizantes organomineral e “composto”

<b>Garantia</b>	<b>Organomineral</b>	<b>Composto</b>
Matéria Orgânica	Mínimo de 15%	Mínimo de 40% Tolerado 36%
Total	Tolerado 13,5%	
Nitrogênio Total	Conforme declarado no registro	Mínimo de 1,0% Tolerado 0,9%
Umidade	Mínimo de 20% Tolerado 22%	Mínimo de 40% Tolerado 44%
Relação C:N	-	Mínimo de 18/1 Tolerado 21/1
pH	Mínimo de 6,0 Tolerado 5,4	Mínimo de 6,0 Tolerado 5,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Conforme declarado no registro	-
K <sub>2</sub> O	Conforme declarado no registro	-
Soma de NPK, NP, PK ou KN	Mínimo de 6,0% Tolerado 5,0%	-

Obs: Correspondente à tabela no 3 da Portaria nº 1, acrescida de colunas contendo as tolerâncias permitidas.  
(Fonte: KIEHL, 1985).

Após a Portaria nº 1 do Ministério da Agricultura foram aprovadas as seguintes instruções normativas (IN):

IN Nº 10 de 10 de maio de 2004: classifica os fertilizantes de acordo com a natureza, quantidade de nutrientes, por categoria e modo de aplicação;

IN Nº 10 de 18 de outubro de 2004: aprova as definições e normas para fertilizantes minerais;

IN Nº 15 de 22 de dezembro de 2004: aprova as definições e normas para fertilizantes orgânicos e outros. De acordo com esta instrução normativa o composto de “lixo” é definido como “fertilizante orgânico composto” obtido pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização na agricultura e atendendo aos limites estabelecidos para contaminantes; ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos. E este pertence à classe C, ou seja, fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

A NBR 13591 (ABNT, 1996) define os termos empregados exclusivamente em relação à compostagem de resíduos sólidos domiciliares.

### **3.7 Contaminantes Químicos e Biológicos no Composto**

O material de origem, qualidade dos insumos nele utilizados definem a quantidade de metais no solo. Em condições naturais não é possível observar toxicidade de metais para plantas, apesar de essas absorverem diferentes quantidades de metais. O uso de compostos orgânicos no solo tem como objetivos principais a utilização do solo como meio de tratamento e/ou destino final e o fornecimento de nutrientes para as plantas. Contudo, os resíduos utilizados para formação do composto orgânico contém diferentes quantidades de metais pesados que podem atingir o solo e contaminá-lo. A qualidade do produto final da compostagem deve ser normatizada por legislação específica, pois o composto não é um produto único, podendo sua qualidade variar de excelente à péssima, de acordo com os resíduos e processos empregados.

### **3.8 Análise do composto**

Para selecionar o método ideal de compostagem é preciso conhecer a disponibilidade de nutrientes e as características dos resíduos orgânicos. É preciso também analisar o produto resultante da compostagem no que diz respeito à sua qualidade para seu uso e comercialização. Para que isso seja possível, é preciso conhecer as características físicas, químicas, biológicas e microbiológicas do substrato orgânico. Quanto às características químicas, o material da compostagem é analisado quanto aos teores de Nitrogênio, Potássio, Fósforo, relação C:N, micronutrientes, etc. Os parâmetros biológicos são de fundamental importância para o acompanhamento da evolução do processo. Os resultados dessas análises são importantes para determinar a estabilidade e maturidade do composto orgânico. Para avaliar a viabilidade agrônômica do composto são necessárias também análises físicas do composto, tais como capacidade de retenção de água e de prevenção de erosão, entre outros.

### 3.9 Utilização do composto no solo

A obtenção da quantidade ótima de utilização do composto no solo varia em função das condições do local de aplicação, do clima e da cultura em questão, além das características do próprio composto. Além disso, há a possível contribuição de substâncias estimuladoras de crescimento vegetal, como hormônios e vitaminas, formadas a partir da decomposição dos resíduos orgânicos adicionados ao solo (REIS, SELBACH e BIDONE, 2003).

Não há registros na literatura sobre a correta forma de aplicação do composto no solo. De forma geral, o composto mais seco é considerado com umidade adequada e pode ser aplicado via lançamento simples na superfície do solo por uma espalhadeira de calcário, tracionada por trator, por caminhão aplicador de calcário, ou manualmente, se a área for pequena. Para o plantio direto, o composto pode ser deixado sobre a superfície, já no cultivo convencional, pode ser incorporado ao solo por arado ou grade. No caso da utilização do plantio direto, é recomendado avaliar possíveis perdas por escoamento superficial, em função da topografia do terreno, da cobertura vegetal e do regime de precipitações para evitar a contaminação de águas superficiais (REIS, SELBACH e BIDONE, 2003).

A adição de matéria orgânica no solo proporciona a formação de compostos orgânicos secundários oriundos do metabolismo microbiano, que liberam nutrientes e CO<sub>2</sub>, além de proporcionar no solo melhorias como: agregação, infiltração de água, retenção de água, aeração, porosidade, aumento da CTC (VEZZANI, 2001). O fornecimento de matéria orgânica no solo visa à manutenção e melhoria das propriedades e qualidades físicas, químicas e biológicas do solo sob cultivo.

A utilização da matéria orgânica no solo traz diversos benefícios, dentre eles, pode-se citar: O fornecimento de elementos nutritivos ao solo, embora em pequenas quantidades, promove a melhoria da nutrição de macro e micronutrientes em solos minerais, tais como Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Zinco e Boro; a matéria orgânica ajuda na retenção de nutrientes fornecidos quimicamente, melhorando o nível de aproveitamento dos adubos minerais, amenizando os efeitos da sua infiltração rápida para as camadas mais profundas do solo; promove a solubilização de nutrientes em solos minerais devido à ação dos ácidos orgânicos húmicos contidos nos húmus (vegetais ou animais decompostos); melhora a granulação do solo conferindo maior capacidade de absorção e armazenamento de água,

possibilitando, ainda, uma boa aeração, um melhor desenvolvimento do sistema radicular e maior facilidade dos cultivos; favorece maior atividade microbiana ao solo; eleva a capacidade de troca de cátions do solo; melhora da capacidade tampão do solo, permitindo uma rápida correção da acidez e tendendo a estabilizar o pH próximo à neutralidade; reduz a toxidez por pesticidas e outras substâncias tóxicas (OLIVEIRA *et al.* 2004).

### **3.10 Efeitos ambientais do processo de compostagem**

A avaliação dos impactos ambientais causados pelo processo de compostagem é facilitada pela “Avaliação do ciclo de vida” (ACV). A ACV tem como ponto de partida um inventário de emissões durante todo o processo, para que ao final possam ser quantificados os impactos ambientais. Durante todo o ciclo de vida do processo os fluxos (materiais, energia, emissões gasosas, líquidas, sólidas, etc.) são quantificados. Deste inventário resulta uma grande quantidade de dados numéricos que, para serem manipuláveis e interpretáveis devem ser agrupados, através de fatores de equivalência adequados, por categorias de impacto (aquecimento global, redução da camada de ozônio, eutrofização, depleção de energia, etc.). A especificação técnica desta metodologia está descrita nas seguintes normas ISO: ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 e ISO 14043:2000 (MATOS e PEREIRA, 2003).

Na Tabela 5 resumem-se os dados de inventário referentes aos fluxos de materiais, energia e emissões, tomando-se como base 1 tonelada de resíduos sólidos.

TABELA 5 - Inventário de emissões na ACV do processo de tratamento biológico de resíduos sólidos urbanos por compostagem.

Fluxo ou emissão		
Composto produzido		500 kg
Consumo de energia elétrica		30 kWh
Emissões atmosféricas		
	CO <sub>2</sub>	32000 g
Águas residuais		
	DBO	81 g
	DQO	137 g
	Amônia	14 g

(Fonte: WHITE *et al.*, 1996)

A maior emissão gasosa (em volume) é a de CO<sub>2</sub>, contribuindo fundamentalmente para a categoria de impacto “Aquecimento Global” (Efeito estufa). Praticamente todo Carbono orgânico biodegradável é convertido em CO<sub>2</sub> durante o processo de compostagem. Em alguns casos, quando o processo é conduzido de forma deficiente, com formação de zonas anóxicas (sem a presença do Oxigênio, mas com presença de nitrato) e anaeróbias, uma pequena parte é convertida em CH<sub>4</sub>, sendo que este é também, um grande contribuinte para o Efeito Estufa. Além dos gases citados e H<sub>2</sub>O há também uma pequena formação de outros gases e vapores (odores e compostos orgânicos voláteis). Dentre estes vapores, pode-se destacar, por seu alto nível de contribuição com o aquecimento global, a Amônia (NH<sub>3</sub>), o Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e os Hidrocarbonetos. Os dois primeiros contribuem essencialmente para a categoria de impacto “acidificação” e a Amônia, adicionalmente, para a “eutrofização”. Os compostos orgânicos voláteis, hidrocarbonetos, contribuem para “diminuição da camada de ozônio” e “formação de agentes fotoquímicos”.

Com relação a efluentes líquidos, sua quantidade depende da natureza do resíduo e do tipo de processo empregado. Na compostagem há uma evaporação significativa de vapor de água para a atmosfera e o pouco de lixiviado que se forma é reutilizado nas pilhas.

O resíduo sólido mais importante produzido do processo é o produto final: o composto. De acordo com o material utilizado pode-se originar diversos resíduos, geralmente constituídos de materiais inorgânicos e orgânicos não degradáveis separados no início do processo e que, por qualquer motivo, não podem ser reciclados.

O consumo energético durante o processo é variável de acordo com o tipo de processo utilizado. Esse consumo está diretamente relacionado com os seguintes fatores: operações mecânicas de manipulação de resíduos (transporte, moagem, etc.), produção de energia para aquecimento do reator, transporte de fluidos, etc.

Os resultados de uma ACV não podem ser generalizados por dependerem da região ou país onde o processo de compostagem está sendo realizado. Porém é possível obter algumas conclusões gerais sobre o processo. Por exemplo: em uma ACV do processo de compostagem é realizado um balanço entre as emissões geradas ao longo do ciclo e aquelas que puderam ser evitadas, utilizando-se desse para definir os benefícios da aplicação no solo. O principal exemplo é o balanço entre a geração de gases estufa (principalmente o CO<sub>2</sub> que possui a maior taxa de emissão em volume e é emitido tanto durante o processo, quanto durante o transporte dos materiais para a área de compostagem) e emissão desses mesmos gases que podem ser evitadas, pelo fato de ter sido reduzida a utilização de fertilizantes convencionais, biocidas, herbicidas, etc.

De forma geral, pode-se considerar que as emissões dos gases estufa, de nutrientes orgânicos (N, P e K) e de quaisquer produtos tóxicos resultantes da produção e distribuição do composto, são totalmente compensadas pelo fato dessas mesmas emissões terem sido evitadas por conta da utilização do composto no solo. Essas emissões foram evitadas pela potencial redução das necessidades de água, fertilizantes, herbicidas, biocidas e eletricidade das culturas que tiveram a utilização do composto orgânico.

O inverso ocorre nas categorias de impacto de formação de agentes fotoquímicos e de diminuição de recursos, onde os custos ambientais da produção e utilização do combustível para produção de energia, excedem os benefícios virtuais resultantes da redução potencial das culturas em necessidades de água, fertilizantes, herbicidas, biocidas, e eletricidade.

A análise deste balanço de impactos fornece indicações úteis sobre quais os processos e fases do ciclo de vida podem ser modificados para diminuir os impactos negativos.

Em 2010, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) criou o programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC), visando a produção de alimentos e bioenergia utilizando processos tecnológicos que neutralizam ou minimizam a emissão de gases estufa.

Visando a difusão de uma nova agricultura sustentável, que reduza o aquecimento global e a liberação de Carbono na atmosfera, o Programa ABC incentiva seis iniciativas básicas com metas e resultados previstos até 2020 (MAPA, 2012).

1. Plantio direto na palha

A técnica dispensa o revolvimento do solo e evita a erosão com a semeadura direta na palha da cultura anterior. A técnica protege o solo, reduz o uso de água, aumenta a produtividade da lavoura e diminui despesas com maquinário e combustível. O objetivo é ampliar os atuais 25 milhões de hectares para 33 milhões de hectares. Esse acréscimo permitira a redução da emissão de 16 a 20 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes.

#### 2. Recuperação de pastos degradados

O objetivo é transformar as terras desgastadas em áreas produtivas para a produção de alimentos, fibras, carne e florestas. A previsão é recuperar 15 milhões de hectares e reduzir entre 83 e 104 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes.

#### 3. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta

O sistema busca alternar pastagem com agricultura e floresta em uma mesma área. Isso recupera o solo, incrementa a renda e gera empregos. A meta é aumentar a utilização do sistema em 4 milhões de hectares e evitar que entre 18 e 22 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes sejam liberadas.

#### 4. Plantio de Florestas Comerciais

O plantio de eucalipto e de pinus proporciona uma renda futura para o produtor e reduz o Carbono do ar através do Oxigênio liberado pelas árvores. O foco é aumentar a área de seis milhões de hectares para nove milhões de hectares.

#### 5. Fixação biológica de Nitrogênio

A técnica visa desenvolver microrganismos/bactérias para captar o Nitrogênio existente no ar e transformá-lo em matéria orgânica para as culturas, o que permite a redução do custo de produção e melhora a fertilidade do solo. O ABC pretende incrementar o método na produção de 5,5 milhões de hectares e reduzir a emissão de 10 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes.

#### 6. Tratamento de resíduos animais

A iniciativa aproveita os dejetos de suínos e de outros animais para a produção de energia (gás) e de composto orgânico. Outro benefício é a possibilidade de certificados de redução de emissão de gases, emitidos por mercados compradores. O objetivo é tratar 4,4 milhões de metros cúbicos de resíduos da suinocultura e outras atividades, deixando de lançar 6,9 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes na atmosfera.

Há uma grande tendência no mundo de adotar a compostagem como tratamento de resíduos orgânicos com vantagens estratégicas como forma de disposição. Pelo fato deste processo reduzir o volume de resíduos orgânicos de 40 a 50%, eliminar os patogênicos presentes em alguns resíduos, resultando na produção de um composto com características de

fertilizante que possuem nutrientes como Nitrogênio, Fósforo e Potássio, além de suas propriedades físicas que promovem a aeração e capacidade de retenção de água no solo (ZORPAS *et al.*, 2000).

## **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A compostagem é um processo tecnológico capaz de promover a redução do volume de resíduo orgânico, além de ser uma estratégia para reduzir os impactos ambientais.

O tratamento de resíduos orgânicos utilizando sistema aeróbico atende plenamente a tendência mundial de obter a sustentabilidade no modelo produtivo, uma vez que possibilita sua utilização na agricultura moderna.

O Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) considera o tratamento de resíduos orgânicos como uma alternativa de sustentabilidade para agricultura moderna.

## 5 REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13591**: Compostagem - Terminologia. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ALCAMO, I. E. **Fundamentals of Microbiology**. 5th ed. Menlo Park, California: Benjamin Cumming, 1997.

ANDREOLI, C. V.. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES. 2001

BIDONE, F. R. A. (Org.). **Metodologia e Técnicas de Minimização, reciclagem e reutilização de Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro: ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1999. 65 p.

BIDONE, F. R. A. **Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Domésticos**. Apostila. Porto Alegre: UFRGS. 1996.

BIDONE, F. R. A.; GEHLING, G. R.; SOUZA, L. F.; REIS, M. F. P.; MACHADO, R. M.; MIRANDA, A. R.; MARTINS, A.; BARRELLA, K. M.; ALVES, K. C. 231 G.; SOARES, S. R.; ROCHA, J. C. **Resíduos Sólidos Provenientes de coletas Especiais: Eliminação e valorização**. Rio de Janeiro: ABES. 2001.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos, São Paulo: EESC – USP. 1999.

DEVENS, D. C. **Aplicação do processo de compostagem com aeração forçada positiva aos resíduos sólidos da indústria de café solúvel**. Dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em engenharia ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo. 1995. p.169.

ESAPL. **MANUAL DE COMPOSTAGEM**. 2012. Disponível em: <<http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/>>. Acesso em: 16 mai. 2012.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES. 1999.

FROBISHER, M.; HINS DILL, R.; CRABTRRE, K. T.; GOODHEART, C. R. **Fundamentals of Microbiology**. 9ª edição. EUA. 1974. p. 850.

GOUVÊA, L. C. e PEREIRA NETO, J. T. Avaliação da Distribuição de Metais Pesados durante o Processo de Compostagem de Lodo de Esgoto estritamente doméstico. In: **Anais do XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Foz do Iguaçu, v. I, n. 59, 1997. p. 346 - 360.

GRUBE, M.; LIN, T. J. G.; LEE, P. H.; KOKOREVICH, S. **Evaluation of sewage sludgebased compost by FT-IR spectroscopy**. *Geordema*, v. 130, p. 324-333, 2006.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985. 482p.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem**. Piracicaba: Editora Ceres. 1998.

KIEHL, E.J. **Metodologia de compostagem e ação fertilizante do composto de resíduos domiciliares**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz-USP, 1979.

LOPEZ, M. J.; VARGAZ-GARCIA, M. C.; SÚAREZ-ESTRLLA, F.; MORENO, J. **Biodelignification and humification of horticultural plant residues by fungi**. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 57, p. 24-30, 2006.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa ABC**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/abc/>>. Acesso em: 23 mai. 2012.

MATOS, M. e PEREIRA, F.J.M. **Tratamento e Gestão de Resíduos Sólidos**. Universidade de Aveiro - Departamento de Ambiente - Aveiro, 2003.

MBULIGWE, S. E. ; KASSENGA, G. R.; KASEVA, M. E.; CHAGGU, E. J.. Potencial and constrains of composting domestics solid waste in developing countries: findings from a pilot study in Dar es Salaam, Tanzânia. *Resources, Conservation and Recycling*, artigo não publicado. 2002.

MODESTO FILHO, P.. **Reciclagem da matéria orgânica através da vermocompostagem**. 1999. In: TEIXEIRA, B. A. N.; TEIXEIRA, E. N.; BIDONE, F. R.; GOMES, L. P.; ZANIN, M.; SAT, M.; MODESTO, P. F.; ZEILHOFER, P.; SCHALCH, V. Metodologias e técnicas de minimização, reciclagem e reutilização de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, RJ: ABES. 65 p.

MOREL, J. L., COLIN, F., GERMON, J. G., P. e JUSTE, C. - “Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost”, In *Composting of agricultural and other wastes*, pp. 56-72. (Ed. J. K. R. Gasser). **Elsevier Applied Science**, London. 1985.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, H. J. M.; CAJAZEIRA, J. P. **Uso da Compostagem em sistemas agrícolas orgânicos**. Fortaleza, CE: Ed. Embrapa Agroindústria Tropical, 2004.

PELCZAR, M. J.; REID, R.; CHAN, E. C. S. 1980. **Microbiologia**. São Paulo. Mcgraw-Hill. V. 1. p. 576.

REIS, M. F. P.; REICHERT, G. A.; BRITTO, M. J. S. Segregação na origem: uma solução para a qualificação do composto produzido em unidade de triagem e compostagem de resíduos sólidos. 2000. In: Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. Porto Alegre. V. 27. **Anais**. Rio de Janeiro: ABES, 2000. p.223-224.

REIS, M. F. P.; SELBACH, P. A.; BIDONE, F. R. A. Apostila do Curso Compostagem: Aspectos Teóricos e Operacionais. ABES/RS, Porto Alegre, 2003. p. 55.

ROTH, B. W. , ISAIA, E. M. B e ISAIA, T. Destinação final dos resíduos sólidos urbanos”. **Ciência & Ambiente**, Janeiro/junho. 1999. p. 25 - 40.

ROU-Recycled Organics Unit. “**Life Cycle Inventory and Life Cycle Assessment for Windrow Composting Systems. Report prepared for NSW Department of Environment and Conservation (Sustainability Programs Division)**”, Published by Recycled Organics Unit, The University of New South Wales, Sydney. 2003.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. 2003. Disponível em: < [http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes\\_antigas/Tratamentos\\_Residuos\\_Solidos.pdf](http://www1.ci.uc.pt/mhidro/edicoes_antigas/Tratamentos_Residuos_Solidos.pdf) >. Acesso em: 16 mai. 2012.

SHARMA, V. K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F.; CORNACCHIA. Processing of Urban and Agro-Industrial Residues by aerobic composting: Review. In: **Energy Conversion and Management**, Inglaterra, v. 38, n. 5, 1997. p. 453-478.

SHAUB, S. M.; LEONARD, J. J. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. Trends in **Food Science & Technology**, August, v.7, 1996. p. 263 – 267.

TEDESCO, M. J. & STAMMEL, J.G. **Reciclagem de nutrientes contidos em resíduos orgânicos**. In: Curso de atualização em fertilização do solo sob condições de cultivo reduzido. Santa Maria: UFSM, 1986. p. 1 - 40.

TEIXEIRA, R.F.F. **Compostagem**. In: HAMMES, V.S. (Org.) Educação ambiental para o desenvolvimento sustentável. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v.5, 2002, p.120-123.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. Composting of Yard Trimmings and Municipal Solid Waste, EPA/530/R91 – 003, 1994. 151 p.

VAN HEERDEN, I.; CRONJÉ, C.; SWART, S. H.; KOTZÉ. Microbial, chemical and physical aspects of citrus waste composting. **Bioresource Technology**, Grã-Bretanha, n. 81, 2002. p. 71 -76.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

WHITE, P., FRANKE, M., HINDLE, P. **Integrated solid waste management. A Life Cycle Inventory**. Blackie Academic & Professional, 1996.

ZORPAS, A. A.; KAPETANIOS, E.; ZORPAS, G. A.; KARLIS, P.; VLYSSIDES, A.; HARALAMBOUS, I. LOUZIDOU, M. Compost produced from organic fraction of municipal solid waste, primary stabilized sewage sludge and natural zeolite. **Journal of Hazardous Materials**, n. B77, 2000. p. 149 –159.