

UNIVERSIDADE JOSÉ DO ROSÁRIO VELLANO – UNIFENAS
MARIO VIANA PAREDES FILHO

UTILIZAÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS EFICAZES (EM)
NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Alfenas - MG
2013

MARIO VIANA PAREDES FILHO

**UTILIZAÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS EFICAZES (EM)
NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade José do Rosário Vellano – UNIFENAS, como parte das exigências do curso de Mestrado Profissional em Sistemas de Produção na Agropecuária, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dra. Ligiane Aparecida Florentino

Coorientador: Prof.^o Dr. Francisco Rodrigues da Cunha Neto

**Alfenas - MG
2013**



Certificado de Aprovação

TÍTULO: "UTILIZAÇÃO DE MICROORGANISMOS EFICAZES (EM) NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM".

AUTOR: Mário Viana Paredes Filho

ORIENTADOR: Profa. Dra. Ligiane Aparecida Florentino

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de **Mestre Profissional em Sistemas de Produção na Agropecuária** pela Comissão Examinadora.

Profa. Dra. Ligiane Aparecida Florentino

Profa. Dra. Roberta Bessa Veloso Silva

Profa. Dra. Herlane Costa Calheiros

Alfenas, 26 de agosto de 2013.

Prof. Dr. José Messias Miranda
Coordenador do Mestrado Profissional
Sistemas de Produção na Agropecuária

Paredes Filho, Mário Viana
Utilização de micro-organismos eficazes(EM) no
processo de compostagem.—Mário Viana Paredes Filho.--
2013.

63 f.,enc.,il.,color.

Orientadora: Profª Drª Ligiane Aparecida Florentino
Co-orientador: Prof. Francisco Rodrigues da Cunha Neto

Dissertação(Mestrado) - Programa de Pós-graduação
em Sistemas de Produção na Agropecuária - Universidade
José do Rosário Vellano, Alfenas, 2013.

Referências: 58-63

1. Resíduos 2. Tratamento 3. Micro-organismos
Regenerativos 4. Composto orgânico 5. Legislação I. Título

CDU : 628.4:547-3(043)

Dedico este trabalho à memória de
Antônia Paulino Vicente (Tonha)

AGRADECIMENTOS

À orientadora Prof.^a Dra. Ligiane Aparecida Florentino, pela disponibilidade, clareza nas respostas, e pela autonomia dada no desenvolvimento deste trabalho.

Ao coorientador, Prof.^o Dr. Francisco Rodrigues da Cunha Neto, pelo início do desenvolvimento deste trabalho.

À Prof.^a Dra. Roberta Bessa Veloso, pela ótima vontade em auxiliar-me no estudo estatístico deste trabalho.

À Prof.^a Dra. Herlane Costa Calheiros que colaborou de forma brilhante na avaliação, enriquecendo este trabalho.

A todos os Professores do curso de Mestrado que contribuíram para o crescimento do aprendizado.

Ao Sr. Anderson José Teixeira, proprietário da empresa Nutriorg, pela cooperação no desenvolvimento dos trabalhos de campo.

Aos familiares, pelo constante incentivo aos estudos.

À minha esposa Flávia, pelo apoio e compreensão durante o período dedicado à execução dos estudos e trabalhos de campo.

Aos colegas de turma que participaram ao longo do curso de mestrado.

“Quando Deus quer,
o homem sonha, a obra nasce”.

Fernando Pessoa

RESUMO

Os resíduos, sem o devido tratamento, constituem um problema ambiental e o seu gerenciamento deve ser conduzido de forma adequada, seja pela sua disposição final ou pela reciclagem. Entre as alternativas convencionais para o tratamento de resíduos estão: o aterro sanitário, a incineração, o uso de biodigestores e a compostagem. A compostagem é um processo de decomposição aeróbia controlada, onde através deste, obtêm-se um produto final estável, higienizado, rico em compostos húmicos e cuja utilização no solo não oferece riscos ao meio ambiente e à saúde pública. A eficiência do processo de compostagem está diretamente relacionada a técnicas que podem proporcionar condições ótimas para que os micro-organismos possam se multiplicar e atuar na degradação da matéria orgânica, como a utilização de micro-organismos eficazes (EM). O presente trabalho teve como objetivo avaliar a redução do período de compostagem e a influência do uso de micro-organismos eficazes na qualidade do composto orgânico. O trabalho foi desenvolvido na usina de compostagem denominada Nutriorg Fabricação de Adubos Orgânicos LTDA, situada no município de São Sebastião da Bela Vista, MG, no período de março de 2013 a julho de 2013. Foi realizado o preparo do EM utilizando-se 4 m³ de iogurte, 40 kg de farinha de trigo, 30 kg de açúcar, 0,2 kg de fermento de pão e 1 m³ de água. Foram montadas 5 leiras sem EM e 5 leiras com EM, onde as mesmas apresentaram 1,5 m de altura, 3 m de base e 100 m de comprimento, obtendo-se um volume de 225 m³. Para a aplicação do EM nas leiras, o mesmo foi previamente diluído numa proporção de 1:20, onde foi aplicado em cerca de 110 toneladas de massa de resíduos. Os dados coletados foram submetidos ao teste t de Student ao nível de 5 % de significância para comparar as médias das amostras obtidas nas amostras sem EM e com EM, onde se avaliaram os parâmetros físico-químicos. Foram avaliadas amostras sem EM e com EM para os agentes biológicos e metais pesados para determinar a qualidade do composto produzido. Comprovou-se a redução no período de compostagem através do enquadramento dos elementos CTC, pH e relação C/N, que indicam se a decomposição da matéria orgânica atingiu níveis desejáveis para que seja atribuída a qualidade do composto e pelo “teste da mão”. As análises estatísticas realizadas indicaram uma não significância ($P > 0,05$) para os parâmetros físico-químicos sem EM e com EM. Quanto aos agentes biológicos e metais pesados, os mesmos enquadraram-se na legislação e ocorreu uma redução expressiva nos parâmetros do composto com o uso do EM. Conclui-se que o EM reduziu o período de compostagem, entretanto não se justificou a influência no uso de micro-organismos eficazes no processo de compostagem, pois no composto sem EM, observou-se que a concentração de nutrientes no composto com EM foram semelhantes.

Palavras-chave: Resíduos. Tratamento. Micro-organismos regenerativos. Composto orgânico. Legislação.

ABSTRACT

The waste without proper treatment constitute an environmental problem and its management should be conducted appropriately, either it be for its final disposal or recycling. Among the conventional alternatives to the waste treatment are the landfill, incineration, use of biodigesters and composting. The composting is a controlled aerobic decomposition process, where through this, we obtain a final product stable, sanitized, rich in humic compounds and whose use in soil offer no hazard to the environment and public health. The efficiency of the composting process is directly related to techniques that can provide great conditions in wich the microorganisms can multiply and work in the degradation of organic matter, such as the use of effective microorganisms (EM). This present study had as aimed to evaluate the reduction of the period of composting and the influence of the use of effective microorganisms in compost quality of the organic compound. The work was developed in the composting plant called Nutriorg Manufacture of Organic Fertilizers LTDA, located in São Sebastião da Bela Vista, MG, from March 2013 to July 2013. The preparation of the EM was performed using 4 m³ yogurt, 40 kg of wheat flour, 30 kg of sugar, 0,2 kg of bread yeast and 1 m³ of water. 5 windrows without EM where the same presented 1.5 m in height, 3m of base and 100 m of length, resulting in a volume of 225 m³. For the application of the EM in the windrows, the same was previously diluted in a proportion of 1:20, where it was applied in approximately 110 tons of waste mass. The collected data were subjected to Student's t test at the level of 5% significance to compare the averages of the obtained samples in the samples without and with EM, where the physical and chemical parameters were evaluated. Also were evaluated samples without and with EM to the biological agents and heavy metals to determine the quality of the compost produced. That was proved the reduction in the period of composting through the framing elements of CTC, pH and C / N ratio, indicating if the decomposition of organic matter reached desirable levels to be accorded to the status of the compound and for the "hand test". The performed statistical analyzes indicated a non-significant ($P > 0.05$) for the physico-chemical parameters without and with EM. Regarding biological agents and heavy metals, the same fell into the legislation and there was a significant reduction in the parameters of the compound with the use of EM. It is concluded that EM reduced composting period, however the effect was not justified the use of effective microorganisms in the composting process because without the compound EM, it was observed that the concentration of nutrients in the compound with EM were similar.

Key-words: Waste. Treatment. Regenerative microorganisms. Organic compound. Legislation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Principais tipos de resíduos orgânicos.....	23
Figura 2– Forma geométrica da pilha e leira de compostagem.....	24
Figura 3 – Fases do processo de compostagem.....	25
Figura 4 – Relação entre temperatura e a taxa de consumo de oxigênio (taxa de degradação) na compostagem.....	27
Figura 5 – Distribuição uniforme de água na massa de compostagem para reposição da umidade perdida.....	28
Figura 6 – Variação de temperatura na leira durante a compostagem.....	29
Figura 7 – Variação do pH na leira durante a compostagem.....	30
Figura 8 – A umidade no processo de compostagem e no produto acabado.....	31
Figura 9 – Exemplo de leiras revolvidas utilizando equipamento específico no revolvimento (composteira).....	34
Figura 10 – Equipamento acoplado a tomada de potência do trator, utilizado no revolvimento de leiras (composteira).....	34
Figura 11 – Coordenadas geográficas do município de São Sebastião da Bela Vista – MG....	43
Figura 12 – EM pronto para uso.....	45
Figura 13 – Fluxograma do processo de produção na usina de compostagem.....	46
Figura 14 – Baia de material seco.....	47
Figura 15 – Baia de material líquido.....	47
Figura 16 – Leira montada em área externa.....	47
Figura 17 – Bombeamento do chorume da caixa de contenção.....	48
Figura 18 – Composteira utilizada no revolvimento das leiras de compostagem.....	48
Figura 19 – Aplicação do EM na leira de compostagem.....	49
Figura 20 – Leitura da temperatura na leira de compostagem com termômetro analógico.....	49
Figura 21 – Peneirador rotativo.....	50
Figura 22 – Composto a granel pronto para comercialização.....	50
Figura 23 – Composto ensacado pronto para comercialização.....	50
Figura 24 – Teste de mão.....	52
Figura 25 – Avaliação da cura de composto orgânico através do teste da mão.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Bactérias, fungos e actinomicetos identificadas na compostagem de diferentes substratos e em diversos sistemas.....	26
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens do método de compostagem de leiras revolvidas.....	34
Tabela 3 – Médias comparadas pelo teste t de Student ao nível de 5% de significância para as amostras obtidas sem EM e com EM em relação aos parâmetros físico-químicos levando em consideração as variâncias e os tamanhos amostrais.....	53
Tabela 4 – Análise biológica de coliformes termotolerantes, <i>salmonella sp.</i> e ovos viáveis de helmintos de composto orgânico sem EM e com EM em uma amostra.....	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Destino final dos resíduos sólidos no Brasil, por unidades de destino – 1989/2008	18
Quadro 2 – Temperatura e tempo requeridos para inativação de patógenos.....	29
Quadro 3 – Características dos principais resíduos utilizados na compostagem.....	33
Quadro 4 – Valores de referência utilizados como limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos, resíduos de biodigestor, resíduos de lagoa de decantação e fermentação, e excrementos oriundos de sistema de criação com o uso intenso de alimentos e produtos obtidos de sistemas não orgânicos.....	36
Quadro 5 – Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.....	37
Quadro 6 – Principais diferenças entre a produção de composto orgânico com EM e composto orgânico tradicional.....	42
Quadro 7 – Memorial descritivo da usina de compostagem.....	44
Quadro 8 – Análise microbiológica, química e física do EM.....	45
Quadro 9 – Resultados analíticos de composto orgânico sem EM para metais pesados, CTC, pH, umidade, matéria orgânica e relação C/N.....	55
Quadro 10 – Resultados analíticos de composto orgânico com EM para metais pesados, CTC, pH, umidade, matéria orgânica e relação C/N.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C	Carbono
°C	Graus Celsius
CH ₄	Metano
C/N	Relação carbono/nitrogênio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CO ₂	Gás carbônico
CTC	Capacidade de troca catiônica
EM	Micro-organismos Eficazes
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
g	Grama
H ₂ S	Sulfeto de hidrogênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IN	Instrução Normativa
kg	Quilograma
l	Litro
m	Metro
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e de Abastecimento
mg	Miligrama
mg/kg	Miligrama por quilo
ml	Mililitro
mm	Milímetro
mmol	Milimol
MOA	Fundação Mokiti Okada
MS	Matéria seca
m ³	Metro cúbico
N	Nitrogênio
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
NMP	Número mais provável

O ₂	Oxigênio
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RS	Resíduos Sólidos
RSD	Resíduos Sólidos Domésticos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SMEWW	Standard Methods for Examination of Water and Wastewater
ST	Sólidos totais
UFC	Unidade formadora de colônia
UFC/ml	Unidade formadora de colônia por mililitro

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo geral.....	17
2.2	Objetivos específicos.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1	Os Resíduos no Mundo.....	18
3.2	Os Resíduos no Brasil.....	18
3.3	Definição, origem e composição dos Resíduos Sólidos.....	19
3.4	Características dos Resíduos Sólidos que influenciam o processo de compostagem	19
3.4.1	Teor de umidade.....	19
3.4.2	Compressividade.....	20
3.4.3	Relação Carbono/Nitrogênio (C/N).....	20
3.4.4	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	20
3.4.5	Espécies microbiológicas.....	20
3.5	Classe de Resíduos Sólidos utilizados na compostagem.....	21
3.5.1	Resíduos classe II A - Não inertes	21
3.6	Origem dos Resíduos Sólidos utilizados na compostagem.....	21
3.6.1	Resíduos sólidos urbanos (RSU).....	21
3.6.2	Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico.....	21
3.6.3	Resíduos industriais.....	22
4	COMPOSTAGEM.....	23
4.1	Definição.....	23
4.2	Fases da compostagem.....	24
4.3	Parâmetros de controle da compostagem.....	25
4.3.1	Micro-organismos.....	25
4.3.2	Aeração.....	27
4.3.3	Temperatura.....	28
4.3.4	pH.....	30
4.3.5	Umidade.....	30

4.3.6	Granulometria.....	31
4.3.7	Relação Carbono/Nitrogênio.....	32
4.4	Métodos de compostagem.....	33
4.4.1	Leiras revolvidas (Windrow).....	33
4.4.2	Leiras aeradas estaticamente (Static pile).....	35
4.4.3	Reatores biológicos (In-vessel).....	35
4.5	Legislação aplicada aos compostos orgânicos.....	35
5	MICRO-ORGANISMOS EFICAZES EM).....	38
5.1	Histórico.....	38
5.2	Importância e benefícios do EM.....	38
5.3	Grupos de micro-organismos eficazes.....	39
5.4	Modo de preparo do EM.....	40
5.5	Formação e ativação do EM.....	40
5.6	Tipos de utilização do EM.....	41
5.6.1	Na compostagem.....	41
6	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
6.1	Localização e caracterização da usina de compostagem.....	43
6.2	Preparação e caracterização dos micro-organismos eficazes (EM).....	44
6.3	Preparação e manejo das leiras de compostagem sem e com a utilização de micro-organismos eficazes	45
6.4	Análise estatística.....	51
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
7.1	Período de Compostagem.....	52
7.2	Parâmetros físico-químicos, biológicos e metais pesados.....	53
8	CONCLUSÃO.....	57
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

O volume de resíduos cresce de maneira acelerada tanto nos países desenvolvidos quanto naqueles em desenvolvimento, e sua composição modifica-se ao longo dos anos, devido ao constante desenvolvimento industrial, constituindo assim, um problema de ordem social, econômica e ambiental. Se os resíduos forem lançados em qualquer local ou não receberem tratamento ou disposição adequada, servirão de fonte de proliferação de insetos e roedores, provocando riscos para a saúde pública.

Os problemas ocasionados pela utilização de fertilizantes solúveis e compostos tóxicos para o controle de insetos, patógenos e plantas daninhas são conhecidos. Entretanto, a demanda pela produção de alimentos sem resíduos de agrotóxicos é crescente em todo o mundo, onde devem ser produzidos sob métodos que não deteriore as condições do ambiente.

Na tentativa de equacionar este problema, vários métodos de tratamento e disposição de resíduos orgânicos foram e vêm sendo pesquisados em todo o mundo, destacando-se a compostagem.

A compostagem é uma técnica simples e adequada para a disposição e o tratamento de resíduos, pois contribui na proteção ambiental, tanto pelo controle da poluição, quanto pela economia de energia e de recursos naturais. Esta técnica traz uma série de vantagens, como exemplo a economia de espaço em aterros sanitários, o aproveitamento agrícola da matéria orgânica através do composto orgânico gerado, a economia no tratamento de efluentes, a reciclagem de nutrientes para o solo, por ser um processo ambientalmente seguro e por eliminar patógenos nocivos ao homem.

O EM contém vários grupos de micro-organismos com funções diferentes, dentre os quais podemos citar as bactérias produtoras de ácido láctico, as leveduras, os actinomicetos, e as bactérias fotossintéticas que coexistem dentro de um mesmo meio líquido (Pergorer *et al.*, 1995).

Como benefícios do uso do composto orgânico na agricultura citam-se: a redução da poluição de recursos hídricos, o aumento da vida útil de aterros sanitários e a mitigação de emissões de metano (CH₄). A utilização do composto orgânico na atividade agrônômica depende, sobretudo, da sua qualidade, especialmente do conteúdo em matéria orgânica, da sua maturidade, da concentração de nutrientes e da presença ou ausência de substâncias potencialmente perigosas e indesejáveis ao meio ambiente.

Quanto à qualidade do composto produzido, adotam-se os valores de referência dos elementos constantes no Anexo VI da Instrução Normativa (IN) nº 46/2011 do Ministério da Agricultura, Pecuária e de Abastecimento (MAPA), bem como, as suas classificações e especificações informadas na Instrução Normativa nº 25/2009 do MAPA, em função das matérias primas utilizadas na sua produção.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o uso de micro-organismos eficazes no processo de compostagem.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar o efeito do uso dos micro-organismos eficazes na redução do período de compostagem.

Verificar a influência do uso de micro-organismos eficazes na qualidade do composto orgânico.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Os Resíduos no Mundo

Segundo Leripio (2004), nos últimos 20 anos, a população mundial cresceu menos que o volume de lixo por ela produzido. Enquanto que entre os anos de 1970 e 1990 a população do planeta aumentou em 18%, a quantidade de lixo sobre a Terra tornou-se 25% maior.

3.2 Os Resíduos no Brasil

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), são 5.553 os municípios com serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos, totalizando uma quantidade coletada diária de 183.488 toneladas. Entretanto, 259.547 (tonelada/dia) de resíduos são encaminhados nas várias unidades de destino final de resíduos sólidos coletados e/ou recebidos (IBGE, 2010). Observa-se que existe uma destinação final inadequada dos resíduos sólidos, de acordo com o QUADRO 1.

QUADRO 1

Destino final dos resíduos sólidos no Brasil, por unidades de destino – 1989/2008.

Ano	Destino final de resíduos sólidos no Brasil, por unidades de destino (%)		
	Vazadouro a céu aberto	Aterro controlado	Aterro sanitário
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	50,8	22,5	27,7

Fonte: IBGE (2010).

3.3 Definição, origem e composição dos Resíduos Sólidos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR 10004/2004 (ABNT, 2004) define os Resíduos Sólidos (RS) como resíduos em estado sólido e semissólido, oriundos de atividades doméstica, industrial, de serviços, de varrição, comercial, agrícola e hospitalar.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) também define o termo Resíduo Sólido como qualquer material, substância, objeto ou bem descartado oriundo de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou está obrigado a proceder, no estado sólido ou semissólido (BRASIL, 2010).

Os restos das atividades humanas, considerados como inservíveis, indesejáveis ou descartáveis, são chamados de resíduos. Destaca-se, no entanto, a relatividade da característica inservível do lixo ou resíduo, pois aquilo que já não apresenta nenhuma serventia para quem o descarta, para outro pode se tornar matéria – prima para um novo produto ou processo (MONTEIRO *et al.*, 2001).

3.4 Características dos resíduos sólidos que influenciam o processo de compostagem

3.4.1 Teor de umidade

O teor de umidade representa a quantidade de água presente em uma amostra de resíduo sólido. O teor de umidade exerce papel fundamental no metabolismo dos micro-organismos aeróbios ou anaeróbios, ou seja, altera a velocidade de degradação do resíduo, atuando como fator limitante em processos de compostagem ou disposição em aterro sanitário (BRASIL, 2010).

3.4.2 Compressividade

A compressividade é a capacidade da redução do volume do resíduo sob a ação de uma pressão. O grau de compactação do resíduo influi diretamente na vida útil do aterro sanitário (BRASIL, 2010).

3.4.3 Relação Carbono/Nitrogênio

A relação de carbono/nitrogênio (C/N) aponta o grau de decomposição da massa do resíduo, pois o carbono é a fonte básica de energia para as atividades dos micro-organismos e o nitrogênio é necessário à reprodução dos mesmos (PEREIRA NETO, 2007). Geralmente, essa relação encontra-se na ordem de 20/1 a 35/1 (BRASIL, 2010).

3.4.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O Potencial Hidrogeniônico (pH) indica se o teor da massa de resíduo é ácida ou alcalina. O pH altera-se durante as diversas fases da compostagem, sendo que, no final do processo, os valores ficam próximos da neutralidade (BRASIL, 2010).

3.4.5 Espécies microbiológicas

O conhecimento das características biológicas dos resíduos é muito utilizado no desenvolvimento de inibidores de cheiro e como inibidores ou aceleradores do processo de decomposição da matéria orgânica (BRASIL, 2010).

3.5 Classe de Resíduos Sólidos utilizados na compostagem

3.5.1 Resíduos classe II A – Não inertes

Compõem-se os resíduos que não enquadram nas classificações de Resíduos Classe I (Perigosos) ou de Resíduos Classe II B (Inertes). São os resíduos passíveis de possuir propriedades tais como a combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2004).

3.6 Origem dos Resíduos Sólidos utilizados na compostagem

3.6.1 Resíduos sólidos urbanos (RSU)

São compostos pelos resíduos domiciliares e os resíduos de limpeza urbana (BRASIL, 2010). Como exemplo pode-se citar os restos de comida (restaurantes), podas e manutenção de gramados (INÁCIO; MILLER, 2009).

Cerca de 60 % do RSU gerado no país é constituído de matéria orgânica (PEREIRA NETO, 2007). Para Grippi (2001), aproximadamente 70 % do resíduo municipal é formado por matéria orgânica. Segundo Inácio e Miller (2009), os resíduos sólidos domésticos (RSD), apresentam fração orgânica de 45 a 60 % em peso.

3.6.2 Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico

São compostos pelos lodos gerados nas Estações de Tratamento de Água (ETA) e Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), onde os mesmos devem ser desidratados e tratados (BRASIL, 2010).

3.6.3 Resíduos industriais

São gerados pelos processos produtivos e demais instalações industriais (BRASIL, 2010). Como exemplo, pode-se citar os restos de comida (refeitórios), podas e manutenção de gramados, restos de madeira (serragem e aparas) e lodos biológicos classe IIA, oriundos de efluente sanitário e industrial (INÁCIO; MILLER, 2009).

4 COMPOSTAGEM

4.1 Definição

Barros (2012) define que a compostagem é um processo aeróbio que se desenvolve a partir da mistura de elementos ricos em carbono (C) e nitrogênio (N), na presença de oxigênio atmosférico, de acordo com a FIG. 1.

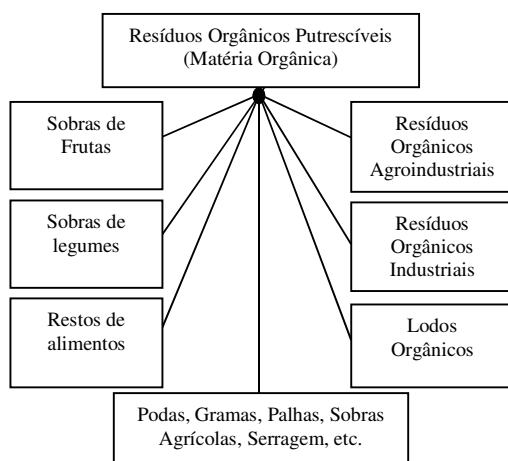


FIGURA 1 – Principais tipos de resíduos orgânicos.

Fonte: Pereira Neto (2007)

A compostagem é o processo de decomposição ou degradação de materiais orgânicos pela ação de micro-organismos em um meio aerado naturalmente e/ou mecanicamente (BRASIL, 2009a).

Pereira Neto (2007) relata que a compostagem é um processo biológico aeróbio utilizado no tratamento e na estabilização de resíduos orgânicos para a produção de húmus, ou seja, o composto orgânico. A massa de resíduos pode ser disposta em montes de forma cônica, conhecidos como “pilhas de compostagem”, ou em montes de forma prismática, com seção reta aproximadamente triangular, chamados “leiras de compostagem”. Destaca-se na FIG. 2 a diferença geométrica entre uma pilha e uma leira de compostagem.

Lima (1991) afirma que a compostagem pode ocorrer em processo misto, caracterizado pela combinação dos processos aeróbios e anaeróbios, sendo que geralmente o processo aeróbio ocorre primeiro e, em seguida, com a diminuição da quantidade de oxigênio, ocorre o processo anaeróbio.

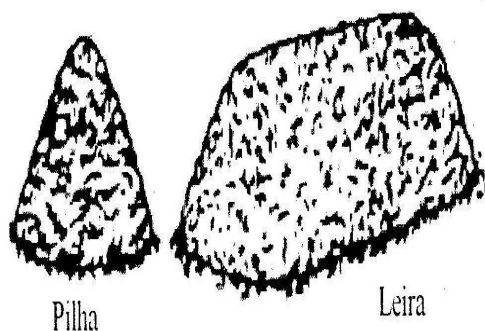


FIGURA 2 – Forma geométrica da pilha e leira de compostagem.
Fonte: Pereira Neto (2007)

4.2 Fases da compostagem

De acordo com a FIG. 3, Teixeira Pinto (2001) divide o processo de compostagem em três fases:

- **Fase Inicial Mesófila.** Nesta fase ocorre o ligeiro crescimento de micro-organismos mesófilos, ocorrendo um gradativo aumento de temperatura.
- **Fase Termófila.** Conforme a temperatura aumenta, os micro-organismos mesófilos sofrem uma diminuição, cedendo lugar às bactérias e fungos termófilos, de extrema atividade e capacidade de reprodução, que elevam mais a temperatura, inativando os micro-organismos patogênicos.
- **Fase Final Mesófila.** Com o esgotamento do substrato orgânico, a temperatura diminui, ocorrendo à redução da população das bactérias termófilas, possibilitando novamente o retorno e instalação das bactérias mesófilas, com atividade moderada.

Segundo Spellman (1997), conforme as temperaturas ótimas, os micro-organismos podem ser classificados em: psicrófilos (0 – 20 °C), mesófilos (15 – 43 °C) e termófilos (40 – 85 °C).

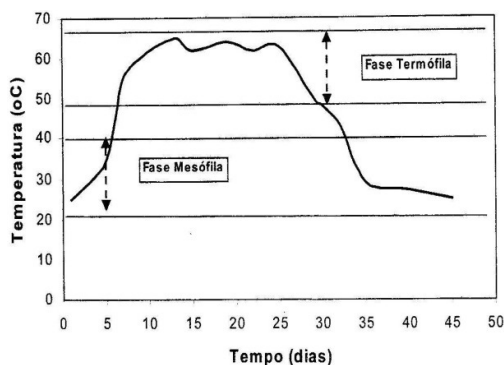


FIGURA 3 – Fases do processo de compostagem.

Fonte: Teixeira Pinto (2001)

4.3 Parâmetros de controle da compostagem

4.3.1 Micro-organismos

Os micro-organismos exercem um papel decisivo no processo de autodepuração e decomposição da matéria orgânica, segundo Strauch (1991), determinando a taxa de velocidade do processo de compostagem (TIQUIA; TAM, 2000). Controlando-se a umidade e a aeração, estes micro-organismos se proliferam e distribuem-se pela massa de resíduo (BRASIL, 2009a). Já os organismos macroscópicos podem ser vistos a olho nu, como os cupins, formigas, centopeias, lacraias, aranhas, besouros e minhocas (PEIXOTO, 2005).

Quando se estuda o composto orgânico com vistas a sua composição microbiológica, o mesmo é basicamente determinado pela concentração de grupos funcionais de micro-organismos como: bactérias aeróbias, bactérias anaeróbias, fungos, actinomicetos e bactérias fixadoras de nitrogênio (INÁCIO; MILLER, 2009).

Estes micro-organismos são fundamentais no processo de compostagem, pois atuam na decomposição dos resíduos orgânicos até a formação do húmus. Estudos mostram que as bactérias atacam preferencialmente os lipídeos e as frações de hemicelulose, enquanto a celulose é decomposta por actinomicetos e fungos (PEIXOTO, 2005).

Inácio e Miller (2009) descrevem que a atividade biológica na leira de compostagem depende de vários fatores e da relação entre as diferentes populações de micro-organismos, de acordo com a TAB. 1.

TABELA 1

Bactérias, fungos e actinomicetos identificadas na compostagem de diferentes substratos e em diversos sistemas.

Espécies / Bactérias	Espécies / Fungos	Espécies / Actinomicetos
<i>Bacillus</i>	<i>Zigomicetos</i>	<i>Actinobifida chromogena</i>
<i>B. brevis</i>	<i>Absidia</i>	<i>Nicrobispora bispora</i>
<i>B. circulans complex</i>	<i>A. Ramosa</i>	<i>Micropolyspora faeni</i>
<i>B. coagulans type A</i>	<i>Absidia sp.</i>	<i>Nocardia sp.</i>
<i>B. coagulans type B</i>	<i>Mortierella turficola</i>	<i>Pseudonocardia thermophila</i>
<i>B. licheniformis</i>	<i>Mucor</i>	<i>Streptomyces</i>
<i>B. spharicus</i>	<i>M. miehei</i>	<i>S. rectus</i>
<i>B. stearothermophilus</i>	<i>M. pusillus</i>	<i>S. thermofuscus</i>
<i>B. subtilis</i>	<i>Rhizomucor sp.</i>	<i>S. thermoviolaceus</i>
<i>Clostridium</i>	<i>Ascomicetos</i>	<i>S. thermovulgaris</i>
<i>C. thermocellum</i>	<i>Allescheria terrestris</i>	<i>Streptomyces sp.</i>
<i>Clostridium sp.</i>	<i>Chaetonium thermophilum</i>	<i>Thermoactinomyces</i>
<i>Pseudomonas sp.</i>	<i>Dactylomyces crustaceus</i>	<i>T. vulgaris</i>
	<i>Myriococcum albomyces</i>	<i>T. sacchari</i>
	<i>Talatomyces (Penicillium)</i>	<i>Thermomonospora</i>
	<i>T. dupontii</i>	<i>T. curvata</i>
	<i>T. emersonni</i>	<i>T. viridis</i>
	<i>T. thermophilus</i>	<i>Thermomonospora sp.</i>
	<i>Thermoascus aurantiacus</i>	
	<i>Thielavia</i>	
	<i>T. thermophila</i>	
	<i>T. terrestris</i>	
	<i>Basidiomicetos</i>	
	<i>Coprinus</i>	
	<i>C. Lagopus</i>	
	<i>Coprinus sp.</i>	
	<i>Lenzites sp.</i>	
	<i>Deuteromicetos</i>	
	<i>Aspergillus</i>	
	<i>A. fumigatus</i>	
	<i>Humicola</i>	
	<i>H. grisea</i>	
	<i>Sporotrichum thermophile</i>	
	<i>Scytalidium thermophilum</i>	
	<i>Papuslapora thermophila</i>	

Fonte: Miller (1993, p. 530-534).

4.3.2 Aeração

A compostagem é um processo predominantemente aeróbio, e não totalmente aeróbio, sendo comum a formação de microsítios e até zonas internas anaeróbias (< 10 % de O_2) devido ao intenso consumo de oxigênio pelo metabolismo microbiano, de acordo com a FIG. 4 (INÁCIO; MILLER, 2009).

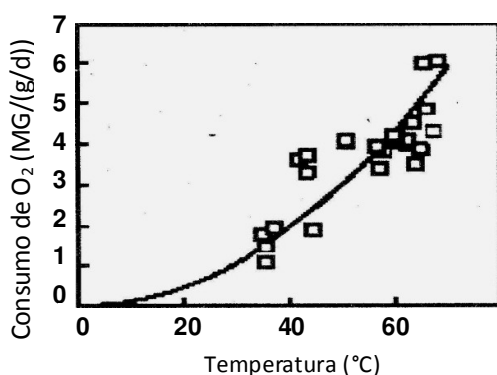


FIGURA 4 – Relação entre a temperatura e a taxa de consumo de oxigênio(taxa de degradação) na compostagem.
Fonte: Epstein (1997).

A aeração excessiva pode remover a umidade e causar a redução da temperatura da mistura, ocasionando problemas à qualidade do produto final. Se o tamanho das partículas for muito pequeno, a aeração será prejudicada pela redução do tamanho dos poros entre as partículas e devido à compactação do material. Se o tamanho das partículas for grande, a área de ataque dos micro-organismos será reduzida e os espaços entre elas serão grandes, prejudicando a retenção de calor, tornando a decomposição lenta, ou até chegando ao ponto de interrompê-la (TEIXEIRA PINTO, 2001).

O ciclo de reviramento deve ser realizado, em média, duas vezes por semana segundo Pereira Neto (2007), onde o mesmo pode ocorrer por processos artificiais (mecânicos) ou naturais (reviramento manual).

Davis *et al.* (1992) citam que a concentração ótima de oxigênio está na faixa de 5 a 12 %. Uma boa aeração na leira de compostagem está relacionada às características de seus componentes em termos de forma, tamanho e estrutura (PEIXOTO, 2005).

No período de revolvimento da leira, Pereira Neto (2007) relata que o calor é liberado para o ambiente na forma de vapor d'água, sendo necessária a correção da umidade, por meio da distribuição uniforme de água na massa de compostagem, para que seja reposta a perda de água no sistema, conforme a FIG.5 a seguir.



FIGURA 5 – Distribuição uniforme de água na massa de compostagem para reposição da umidade perdida.
Fonte: Pereira Neto (2007).

A aeração deficiente, ou seja, abaixo de 5 %, desenvolve os micro-organismos anaeróbios, ocorrendo à produção de ácidos orgânicos, aminas, amônia, sulfeto de hidrogênio (H_2S), metano (CH_4), mercaptanas e outras moléculas fitotóxicas, os quais são responsáveis pelo odor agressivo na usina de compostagem. Ao contrário, o excesso de aeração acaba por esfriar e ressecar a massa em compostagem, diminuindo a atividade microbiana e impedindo a inativação dos micro-organismos patogênicos (CARVALHO, 2001).

4.3.3 Temperatura

Aisse, Fernandes e Silva (2001) afirmam que a temperatura é um indicador de equilíbrio biológico, é de fácil monitoramento e reflete a eficiência do processo. Quando os valores de temperatura estão entre 40 °C e 60 °C, nos primeiros três dias, é sinal que o processo está ocorrendo em condições adequadas (TEIXEIRA PINTO, 2001).

O QUADRO 2 indica os tempos requeridos para inativação de alguns micro-organismos patogênicos durante o processo de compostagem, para várias temperaturas.

QUADRO 2

Temperatura e tempo requeridos para inativação de patógenos.

Micro-organismo	Tempo de exposição (minutos)				
	50 °C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
Salmonella	10.080		2.880		
Salmonella			30		4
Poliovirus tipo 1			60		
Ascaris lumbricoidis			240	60	
Ovos de ascaris	60	7			
Mycobacteria tuberculosis				20.060	20
Escherichia coli			60		5
Coliformes fecais					60
Entamoeba histolytica	5				
Necator americanus	50				
Vírus					25
Shigella	60				

Fonte: Adaptado de WPCF (1990); JICA (1993); UEL (1999).

Peixoto (2005) mostra que em condições adequadas o crescimento e a atividade microbiana na massa de compostagem promovem um comportamento característico de evolução da temperatura, dividido em quatro fases distintas: aumento da temperatura, pico da temperatura, esfriamento e maturação, de acordo com a FIG. 6.

Alguns pesquisadores observaram que a atividade dos micro-organismos na matéria orgânica se eleva até a temperatura de 65 °C e que, acima deste valor, o próprio calor atua como fator limitante do desenvolvimento das populações aptas, havendo decréscimo da atividade biológica, aumentando o período de compostagem (UEL, 1999).

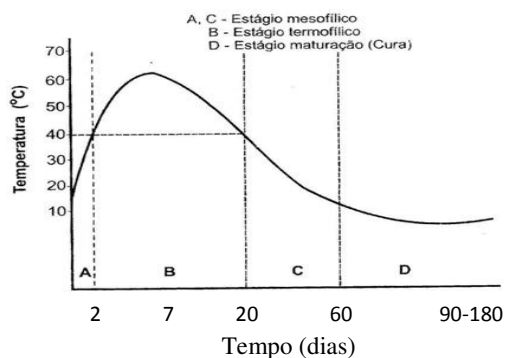


FIGURA 6 – Variação de temperatura na leira durante a compostagem.

Fonte: Peixoto (2005).

4.3.4 pH

No início da compostagem, quando se inicia a decomposição do material orgânico, desenvolvem-se os micro-organismos que geram uma fermentação ácida, tornando o pH baixo, favorecendo à retenção de amônia (D'ALMEIDA; VILHENA, 2000). O composto orgânico semi pronto, apresenta o pH na faixa de 6,0, porém, o composto curado umidificado apresenta valores entre 7,0 e 8,0.

Os materiais mais importantes de origem orgânica, utilizados como matéria prima na composição da massa de resíduos, são de natureza ácida, como sucos vegetais, sangue, urina, fezes, entre outros. Portanto, em geral, no início do processo, a leira de compostagem tem uma reação ácida, devido à formação de ácidos orgânicos e a incorporação de carbono orgânico ao protoplasma celular microbiano (VALENTE, 2009).

Rodrigues *et al.* (2006) consideram que a faixa ótima de pH para o desenvolvimento dos micro-organismos situa-se entre 5,5 e 8,5, pois nesta faixa as enzimas estão ativas.

Durante o processo de compostagem ocorre uma variação do pH na massa de resíduos, de acordo com a FIG. 7.

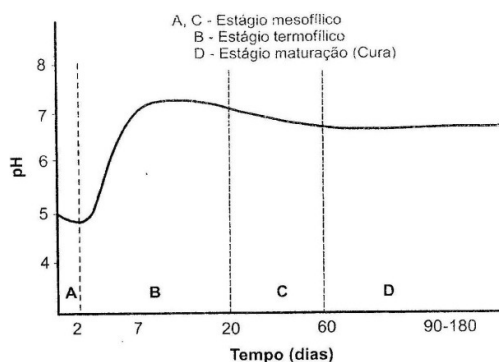


FIGURA 7 – Variação do pH na leira durante a compostagem.
Fonte: Peixoto (2005).

4.3.5 Umidade

Inácio e Miller (2009) relataram a importância da umidade devido à necessidade de água no metabolismo microbiano e devido à água concorrer com o oxigênio pelos mesmos

espaços na massa de resíduos. O valor ideal situa-se na faixa de 50 % a 60 % (TEIXEIRA PINTO, 2001; RODRIGUES *et al.*, 2006). Ao longo do processo, o teor de umidade do composto tende a diminuir com a perda de água devido à aeração, portanto, a umidade torna-se parâmetro necessário a ser monitorado durante o processo de compostagem para o seu desenvolvimento satisfatório (UEL, 1999).

Teores abaixo de 40 % inibem a atividade dos micro-organismos e teores acima de 65 % ocasionam o preenchimento dos espaços vazios pela água, tornando difícil a aeração da massa (BRASIL, 2009a). Pode-se ajustar a umidade com a mistura de componentes ou pela adição de água, levando-se em conta que a umidade depende da aeração satisfatória, estrutura e porosidade dos resíduos utilizados no processo. Caso a massa de resíduos apresente baixa umidade, é preciso adicionar água ou outro resíduo orgânico com elevado teor de umidade em quantidade e proporção compatíveis, dentro da faixa desejada de 55 % (PEREIRA NETO, 2007).

No final do processo de compostagem, a umidade do composto para uso agrícola deve ser no máximo de 40 % conforme a FIG. 8 a seguir.

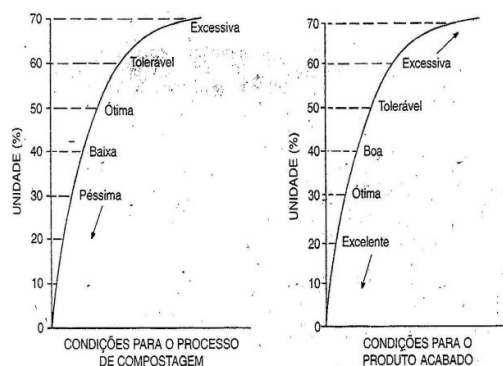


FIGURA 8 – A umidade no processo de compostagem e no produto acabado.
Fonte: Kiehl (1985).

4.3.6 Granulometria

A dimensão das partículas está relacionada à superfície específica do material a ser compostado e neste contexto, quanto menor a granulometria das partículas, maior a área a

ser atacada pelos micro-organismos, acelerando o processo de decomposição (KIEHL, 1985; KEENER; DAS, 1996; FERNANDES; SILVA, 1999).

Deve-se tomar o devido cuidado com os materiais de granulometria muito fina segundo Rodrigues *et al.* (2006), pois estes geram poucos espaços porosos, dificultando a circulação de oxigênio no interior da leira, ocasionando anaerobiose, devido ao alto grau de compactação e aumento da densidade da massa em compostagem (PRIMAVESI, 1981; KIEHL, 1985).

Alguns autores obtiveram condições ótimas no processo de compostagem com 30 a 36 % de porosidade na massa e partículas com tamanho de 25 a 75 mm (FERNANDES, 2000).

Pereira Neto (2007) recomenda que as partículas da massa de compostagem devam situar-se entre de 10 a 50 mm de tamanho.

4.3.7 Relação Carbono/Nitrogênio

O carbono é a fonte de energia para as atividades dos micro-organismos e o nitrogênio é necessário para a reprodução dos mesmos, sendo que a decomposição dos resíduos orgânicos na leira de compostagem depende da reprodução celular dos micro-organismos (bactérias, fungos e actinomicetos), pois na falta de nitrogênio não ocorre a reprodução desses (PEREIRA NETO, 2007).

A relação ideal de carbono e nitrogênio para obtenção de alta eficiência no processo deve situar-se entre 30 e 40:1. Em geral, os resíduos de gramíneas são fontes de carbono; já os de leguminosas e os resíduos fecais constituem fontes de nitrogênio (PEREIRA NETO, 2007).

Verifica-se durante o processo de compostagem uma redução da relação C/N devido à oxidação da matéria orgânica pelos micro-organismos, através da sua respiração que liberam CO₂ (ZHANG; HE, 2006).

Na fase final da compostagem, a relação C/N situa-se entre 10 e 20, devido às perdas maiores de carbono que de nitrogênio, no desenvolvimento do processo (FERNANDES, 2000).

Apresenta-se no QUADRO 3 as características dos principais resíduos utilizados na compostagem.

QUADRO 3

Características dos principais resíduos utilizados na compostagem.

Resíduo	% sólidos	% N	% C
Podas de árvores	65-75	0,8-1,2	45-55
Palha de arroz	80-90	0,9-1,2	35-40
Bagaço de cana	60-80	0,1-0,2	40-50
Palha de trigo	80-90	0,3-0,5	40-50
Serragem	65-80	0,1-0,2	48-55
Lodo bruto	1-4	1-5	30-35
Lodo digerido	1-3	1-6	22-30
Lodo digerido seco (leitos de secagem)	45-70	1-4	22-30
Lodo digerido desidratado (prensa desaguadora)	15-20	1-4	22-30
Lodo digerido desidratado (centrífuga)	17-28	1-4	22-30

Fonte: JICA (1993); UEL (1999); Metcalf e Eddy (1991); Malina (1993).

4.4 Métodos de compostagem

4.4.1 Leiras revolvidas (Windrow)

A mistura de resíduos é disposta em leiras, onde a aeração é fornecida através do revolvimento periódico dos resíduos, pela convecção e difusão do ar na massa do composto (FERNANDES, 2000).

Kuter (1995) relata que durante o processo de compostagem, as leiras devem ser revolvidas no mínimo três vezes por semana e que no processo de maturação o revolvimento pode ser realizado de 20 a 25 dias.

Existem máquinas específicas que realizam a mistura e revolvimento do composto, como a composteira, de acordo com a FIG. 9, que realiza o movimento deixando a leira com uma dimensão padrão, que é determinada pelo modelo do equipamento, podendo também ser acoplada na tomada de potência do trator, conforme a FIG. 10 e utilizando-se a pá carregadeira convencional (FERNANDES; SILVA, 1999).

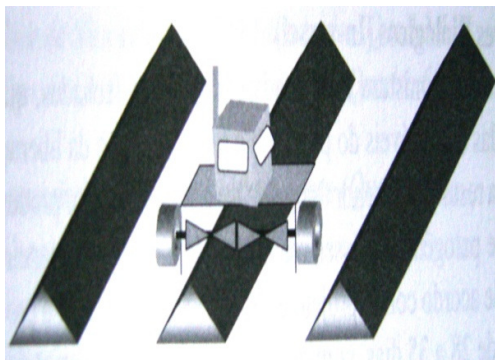


FIGURA 9 – Exemplo de leiras revolvidas utilizando equipamento específico no revolvimento (composteira).
Fonte: Teixeira Pinto (2001).

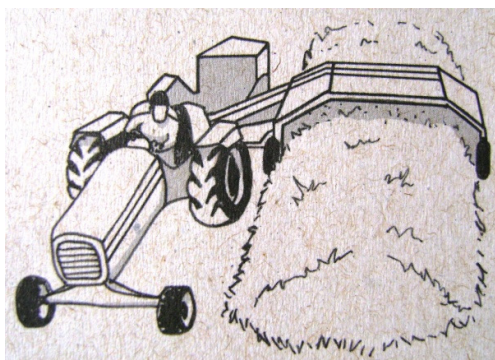


FIGURA 10 – Equipamento acoplado a tomada de potência do trator, utilizado no revolvimento de leiras (composteira).
Fonte: Inácio e Miller (2009).

Na TAB. 2 apresentam-se as vantagens e desvantagens do método de compostagem de leiras revolvidas.

TABELA 2

Vantagens e desvantagens do método de compostagem de leiras revolvidas.

Método de compostagem	Vantagens	Desvantagens
Leiras revolvidas		Requer grandes áreas
		Possível problema de odor
	Baixo custo de investimento	Dificuldade em atingir a temperatura necessária
	Baixo custo de O&M (operação e manutenção)	Potencial problema de mistura
		Grande período de compostagem

Fonte: Adaptado de Teixeira Pinto (2001).

4.4.2 Leiras estáticas aeradas (Static pile)

Este método de compostagem utiliza equipamentos para insuflação de ar no interior das leiras, com a função de resolver um típico problema da compostagem: a falta de oxigênio (Inácio e Miller, 2009). Neste método ocorre um satisfatório controle da emissão de odores, bem como, a redução de chorume.

4.4.3 Reatores biológicos (In-vessel)

Neste método, os resíduos são confinados em estruturas fechadas como, container, grandes cilindros metálicos, em concreto e alvenaria (INÁCIO; MILLER, 2009).

O processo é todo mecanizado, ocupando menor área em relação aos outros métodos de compostagem, controlando-se todas as variáveis do processo, minimizando a emanção de odores e obtendo um melhor produto com respeito à redução de patógenos (TEIXEIRA PINTO, 2001; INÁCIO; MILLER, 2009).

Carvalho (2001) enquadra os reatores em três categorias:

- reatores biológicos contínuos de fluxo vertical;
- reatores biológicos contínuos de fluxo horizontal;
- reatores biológicos de batelada.

4.5 Legislação aplicada aos compostos orgânicos

Em relação à qualidade do composto orgânico produzido, referencia-se o Anexo VI da Instrução Normativa nº 46/2011 do MAPA (BRASIL, 2011), de acordo com o QUADRO 4.

QUADRO 4

Valores de referência utilizados como limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos, resíduos de biodigestor, resíduos de lagoa de decantação e fermentação, e excrementos oriundos de sistema de criação com o uso intenso de alimentos e produtos obtidos de sistemas não orgânicos.

Elemento	Limite (MG kg⁻¹ de matéria seca)
Arsênio	20
Cádmio	0,7
Cobre	70
Níquel	25
Chumbo	45
Zinco	200
Mercurio	0,4
Cromo (VI)	0
Cromo total	70
Coliformes Termotolerantes (número mais provável por de matéria seca – NMP/g de MS)	1000
Ovos viáveis de helmintos (número por quatro gramas de sólidos totais - n° em 4 g ST)	1
Salmonella sp.	Ausência em 10 g de matéria seca

Fonte: BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (2011).

Quanto à classificação dos compostos orgânicos, a mesma é descrita no Art. 2º da Instrução Normativa nº 25/2009 do MAPA (BRASIL, 2009b), em função das matérias primas utilizadas na sua produção:

- Classe A: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura.
- Classe B: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura.
- Classe C: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura.
- Classe D: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Destaca-se para esta última classe, a Resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006), que define os critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos provenientes de estação de tratamento de esgotos (ETE) e seus produtos derivados, onde considera-se a compostagem desses resíduos.

De acordo com o QUADRO 5, apresenta-se as especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos de acordo com a legislação do MAPA.

QUADRO 5
Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

Garantia	Misto/composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A, B, C, D
Umidade (máx.)	50	50	50	70	50
N total (mín.)	0,5				
*Carbono orgânico (mín.)	15				10
*CTC	Conforme declarado				
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C/N (máx.)	20				14
*Relação CTC/C ^a	Conforme declarado				
Outros nutrientes	Conforme declarado				

Fonte: BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (2009b).

Notas: ^a É obrigatória a declaração no processo de registro de produto.

* Valores expressos em base seca, umidade determinada a 65 °C.

Seguindo este conceito, toda utilização de lodo de esgoto na agricultura deveria seguir às disposições da Resolução N°375/06 do CONAMA e também a legislação do MAPA, ou seja, para registro de fertilizante, enquadrando-se como composto misto (Classe D), este produto deve atender aos parâmetros agrônômicos previstos na IN N° 25/2009, assim como não poderia exceder aos limites máximos de contaminantes elencados na IN N° 46/2011, onde o estabelecimento produtor deve estar registrado no MAPA, possuir licenciamento ambiental e atender às demais disposições da Resolução CONAMA nº 375/2006 (CARVALHO; COELHO; LEAL, 2010).

5 MICRO-ORGANISMOS EFICAZES (EM)

5.1 Histórico

Os primeiros estudos relacionados com os micro-organismos eficazes iniciaram-se na década de 70 pelo Dr. Teruo Higa, com o objetivo de melhorar a utilização da matéria orgânica na produção agrícola, sendo que em 1982, foram feitas experimentações com o EM em campo, nas várias regiões do Japão, com resultados positivos (BONFIM *et al.*, 2011).

Na agricultura natural são utilizadas técnicas ecológicas, com máximo proveito da natureza, das ações do solo, dos organismos vivos, da energia solar e dos recursos hídricos. Praticase o princípio da reciclagem de recursos naturais e o enriquecimento da matéria orgânica com micro-organismos, tornando a atividade agrícola duradoura e racional.

O EM é utilizado em diversos países e em todos os continentes, sendo ainda muito pouco utilizados e conhecidos no Brasil, onde o seu uso foi iniciado experimentalmente na Fundação Mokiti Okada (MOA), em Atibaia-SP (PERGORER *et al.*, 1995).

5.2 Importância e benefícios do EM

Os micro-organismos são usados na solução dos problemas relacionados com o uso de fertilizantes químicos, pesticidas e são aplicados amplamente na produção natural e na agricultura orgânica (HIGA, 1991).

Para Martinez (2002) os micro-organismos eficazes (regenerativos) são aqueles que possuem a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico, decompor os resíduos orgânicos, desintoxicar o solo de pesticidas, suprimir enfermidades de plantas e patógenos do solo, incrementar a reciclagem de nutrientes e produzir componentes bioativos como vitaminas, hormônios e enzimas que estimulam o crescimento das plantas. Em contrapartida, os micro-organismos daninhos ou degenerativos, são aqueles que podem induzir enfermidades nas plantas, estimular os patógenos no solo, imobilizar nutrientes, produzir toxinas e substâncias pútridas que afetam negativamente o crescimento e saúde das plantas (PARR *et al.*, 1994).

Uribe *et al.* (2001) relatam que os micro-organismos eficazes também podem ser utilizados no controle dos maus odores, moscas, acelerar a estabilização do processo de compostagem, pois o EM é um inoculado constituído pela mescla de vários microrganismos benéficos como as leveduras, actinomicetos, bactérias acidoláticas e fotossintéticas, que são compatíveis entre si e coexistem num meio líquido. Os micro-organismos eficazes produzem, através da fermentação, ácidos orgânicos, hormônios vegetais como auxinas, giberelinas, citoquininas, vitaminas, antibióticos e polissacarídeos (HIGA; PARR, 1994).

Higa e Parr (1994) reforçam que o EM não substitui as outras práticas de gerenciamento de resíduos, sendo que estes micro-organismos promovem a melhoria dos efeitos sinérgicos que ocorrem no processo de compostagem.

Kyan *et al.* (1999) citam os benefícios com o uso do EM:

- a) Diminuição da necessidade do EM com o tempo, devido à autopropagação dos micro-organismos;
- b) Necessidade de baixas quantidades de matéria orgânica para o desenvolvimento;
- c) Aumento na produção e maior qualidade dos produtos colhidos;
- d) Facilita a colheita contínua;
- e) Elimina o uso de agroquímicos;
- f) Realiza a quebra da matéria orgânica rapidamente.

5.3 Grupos de micro-organismos

Bonfim *et al.* (2011) classificam os micro-organismos eficazes em quatro grupos:

- a) **Leveduras** (*Sacharomyces* spp.): utilizam as substâncias que são liberadas pelas raízes das plantas, sintetizam as vitaminas e ativam outros micro-organismos eficazes no solo, onde as substâncias bioativas, tais como hormônios e enzimas produzidas pelas leveduras, provocam atividade celular nas raízes;
- b) **Actinomicetos**: São bactérias que produzem antibióticos e por isso controlam fungos e bactérias patogênicas e aumentam a resistência das plantas;
- c) **Bactérias produtoras de ácido láctico** (*Lactobacillus* spp. e *Pediococcus* spp.): produzem ácido láctico que controlam alguns micro-organismos fitopatogênicos como o

Fusarium spp. , que, pela fermentação da matéria orgânica não curtida, acabam liberando nutrientes às plantas;

- d) **Bactérias fotossintéticas:** utilizam a energia solar em forma de luz e calor. Utilizam as substâncias excretadas pelas raízes das plantas na síntese de vitaminas e nutrientes, aminoácidos, ácidos nucleicos, substâncias bioativas e açúcares, que favorecem o crescimento das plantas, bem como, aumentam as populações de outros micro-organismos eficazes, como os fixadores de nitrogênio, como os actinomicetos e fungos micorrízicos.

Uribe *et al.* (2001) descreveram a seguir, as espécies de micro-organismos que geralmente são encontrados em amostras de EM : *Streptomyces albus*, *Rhodopseudomonas sphaeroides*, *Lactobacillus plantarum*, *Propionibacterium freudenreichii*, *Streptococcus lactis*, *Streptococcus faecalis*, *Aspergillus yzae*, *Mucobacter hiemalis*, *Saccharomyces cerevisiae* e *Candida utilis*.

5.4 Modo de preparo do EM

Na decomposição da matéria orgânica (restos vegetais e animais), os micro-organismos eficazes retiram seu alimento de modo equilibrado, com pouco gasto de energia, de tempo e mantêm a estabilidade do sistema. O EM é comercializado pela Fundação Mokiti Okada, AMBIEN Ltda e Korin Meio Ambiente (KMA), porém é conhecido pela população o método caseiro de captura e preparo do EM / solo e EM / planta, caracterizando a tecnologia social (não empresarial) deste composto (BONFIM *et al.*, 2011).

5.5 Formação e ativação do EM

Segundo Bonfim *et al.* (2011), para realizar a formação do EM, deve-se seguir os seguintes passos:

- Cozinhe aproximadamente 700 gramas de arroz sem sal,
- Coloque o arroz cozido em bandeja de plástico, madeira ou ainda em calhas de bambu.
- Cubra com tela fina para proteção,

- Coloque a bandeja com arroz e tela em mata virgem, para que ocorra a captura dos micro-organismos (formação),
- Após 10 a 15 dias os micro-organismos já estarão formados e criados,
- As partes do arroz que ficarem com as colorações rosada, azulada, amarelada e alaranjada estarão com os micro-organismos eficazes regeneradores e as partes que estiverem com a coloração cinza, marrom e preto devem ser descartadas, pois são micro-organismos eficazes degeneradores,

Para ativar o EM, deve-se seguir os seguintes passos:

- Distribuir o arroz colorido em torno de cinco garrafas de plástico de 2 litros,
- Colocar 200 ml de melaço ou caldo de cana em cada garrafa, onde estes elementos fazem crescer a comunidade microbiana ativa, que pelas reações de fermentação, produzem ácidos orgânicos, hormônios vegetais (giberelinas, auxinas, citocinina), além de vitaminas, antibióticos e polissacarídeos, enriquecendo a solução,
- Completar as garrafas com água limpa, sem a presença de cloro, pois o mesmo mata os micro-organismos,
- Fechar as garrafas e deixar à sombra cerca de 10 a 20 dias, liberando o gás armazenado nas garrafas, de 2 em 2 dias,
- Coloque a tampa e certifique-se que não haja ar dentro da garrafa, pois a fermentação deve ser anaeróbia,
- Agora o EM está pronto para uso, apresentando coloração alaranjada e cheiro agridoce, podendo ser armazenado por um período de até 1 ano. Se o EM apresentar mau cheiro, não deve ser usado em hipótese alguma.

5.6 Tipos de utilização do EM

5.6.1 Na compostagem

O EM pode ser utilizado na compostagem de resíduos de diversas origens, sendo indicado principalmente na compostagem de resíduos que apresentam decomposição lenta, como por exemplo, os resíduos com alta relação C/N (partes lenhosas da planta, troncos, galhos, palhadas, gramíneas, gorduras, dentre outros) (BONFIM *et al.*, 2011).

Gaylarde, Bellinaso e Manfio (2005) definem que a utilização da técnica de adição de micro-organismos degradadores e/ou decompositores ao sistema de tratamento de resíduos, denomina-se bioaugmentação.

Bonfim *et al.* (2011) descreve que o EM acelera o processo de decomposição, reduzindo o tempo de compostagem e, para isso, a leira deve ser umedecida com a solução de EM, sendo que o volume a ser aplicado deve equivaler ao volume de água normalmente utilizado. Apresenta-se no QUADRO 6 as principais diferenças entre a produção de composto orgânico com EM e composto orgânico tradicional.

Segundo a Fundação Mokiti Okada (1998), para o processo de compostagem, utiliza-se 1 litro de EM / m³ de composto.

QUADRO 6

Principais diferenças entre a produção de composto orgânico com EM e composto orgânico tradicional.

Composto orgânico com EM	Composto orgânico tradicional
Menor tempo de decomposição. Entre 1 a 2 meses.	Maior tempo de decomposição. Normalmente entre 3 a 6 meses.
Não existe presença de maus odores.	Pode haver presença de maus odores e moscas.
Produto final com maior conteúdo de nutrientes.	Menor conteúdo nutricional em comparação com o composto EM.
Maior conteúdo de micro-organismos eficazes.	Menor conteúdo de micro-organismos eficazes.

Fonte: APROLAB (2007).

O EM pode ser utilizado nos solos, nas plantas, na água, no saneamento ambiental, nos animais, na limpeza de pisos, paredes, azulejos, janelas, vasos sanitários, ralos de pia, caixa de gordura, na lavagem de roupas e na retirada de ferrugem em maquinários e instalações (FUNDAÇÃO MOKITI OKADA, 1998).

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Localização e caracterização da usina de compostagem

O trabalho foi desenvolvido na usina de compostagem denominada Nutriorg Fabricação de Adubos Orgânicos LTDA, situada no município de São Sebastião da Bela Vista, MG, no período de março de 2013 a julho de 2013. O município possui coordenadas geográficas 22° 15' de Latitude Sul e 45° 75' de Longitude Oeste, conforme a FIG. 11. O clima da região é do tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen, ou seja, temperado úmido com inverno seco, verão temperado e chuvoso (KOTTEK *et al.*, 2006). A temperatura média anual é 19,2 °C e a precipitação média anual de 1565,4 mm (BRASIL, 2007). As instalações da usina de compostagem situam-se a 2,5 km do centro da cidade e 7,5 km das margens da rodovia Fernão Dias (BR-381), onde seu logradouro é o Sítio Chapadão no bairro Paredão, que está em conformidade com as normas ambientais vigentes para operação deste tipo de empreendimento.



FIGURA 11 – Coordenadas geográficas do município de São Sebastião da Bela Vista - MG.
Fonte: BRASIL (2007).

No QUADRO 7 apresenta-se o memorial descritivo da usina de compostagem, de acordo com o levantamento realizado no local.

QUADRO 7

Memorial descritivo da usina de compostagem.

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE
Capacidade de produção de composto orgânico	2000 ton / mês
Capacidade de processamento de composto orgânico	4000 ton
Área total	170.000 m ²
Área utilizada	8210 m ²
Galpões	11
Escritórios	01
Banheiros	02
Funcionários	06
Maquinários	07 (02 tratores, 01 composteira, 01 peneirador, 01 mini pá carregadeira, 01 pá carregadeira, 01 chorumeira).

6.2 Preparação e caracterização dos micro-organismos eficazes (EM)

O preparo dos micro-organismos eficazes (EM) foi realizado com o uso e quantidade dos seguintes produtos:

- Iogurte: 4 m³ (sobra de processo),
- Farinha de trigo: 40 Kg (sobra de processo),
- Açúcar: 30 Kg (sobra de processo),
- Fermento de pão: 0,2 Kg (correspondente a 01 tablete, dissolvendo-se em água anteriormente),
- Água: 1 m³.

Esta medida foi para a o preparo de 5 m³ de EM, onde os produtos foram adicionados no interior de uma caixa d'água de polietileno com capacidade para 5,5 m³, sendo posteriormente homogeneizados com o uso de uma vara de bambu. O tempo ideal para a “cura” do EM foram 45 dias, sendo que após este período, o EM encontrou-se pronto para uso, conforme a FIG. 12.



FIGURA 12 – EM pronto para uso.

Apresenta-se no QUADRO 8 o resultado da análise microbiológica, química e física feita em um litro de EM pelo laboratório da empresa Engequisa Sul de Minas, o qual utilizou-se o método analítico do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (SMEWW) 1060.

QUADRO 8

Análise microbiológica, química e física do EM.

PARÂMETRO	RESULTADO
Bactérias heterotróficas	4×10^7 UFC/ml
Bolores (Fungos filamentosos)	1×10^3 UFC/ml
Leveduras	1×10^3 UFC/ml
pH	2,5
Temperatura	23,8 °C

O processo de preparação dos micro-organismos eficazes não foi realizado pelo autor, onde o seu papel foi observacional.

6.3 Preparação e manejo das leiras de compostagem sem e com a utilização de micro-organismos eficazes

Na FIG. 13 apresenta-se o fluxograma do processo de produção de uma unidade de reciclagem de resíduos, denominada usina de compostagem.

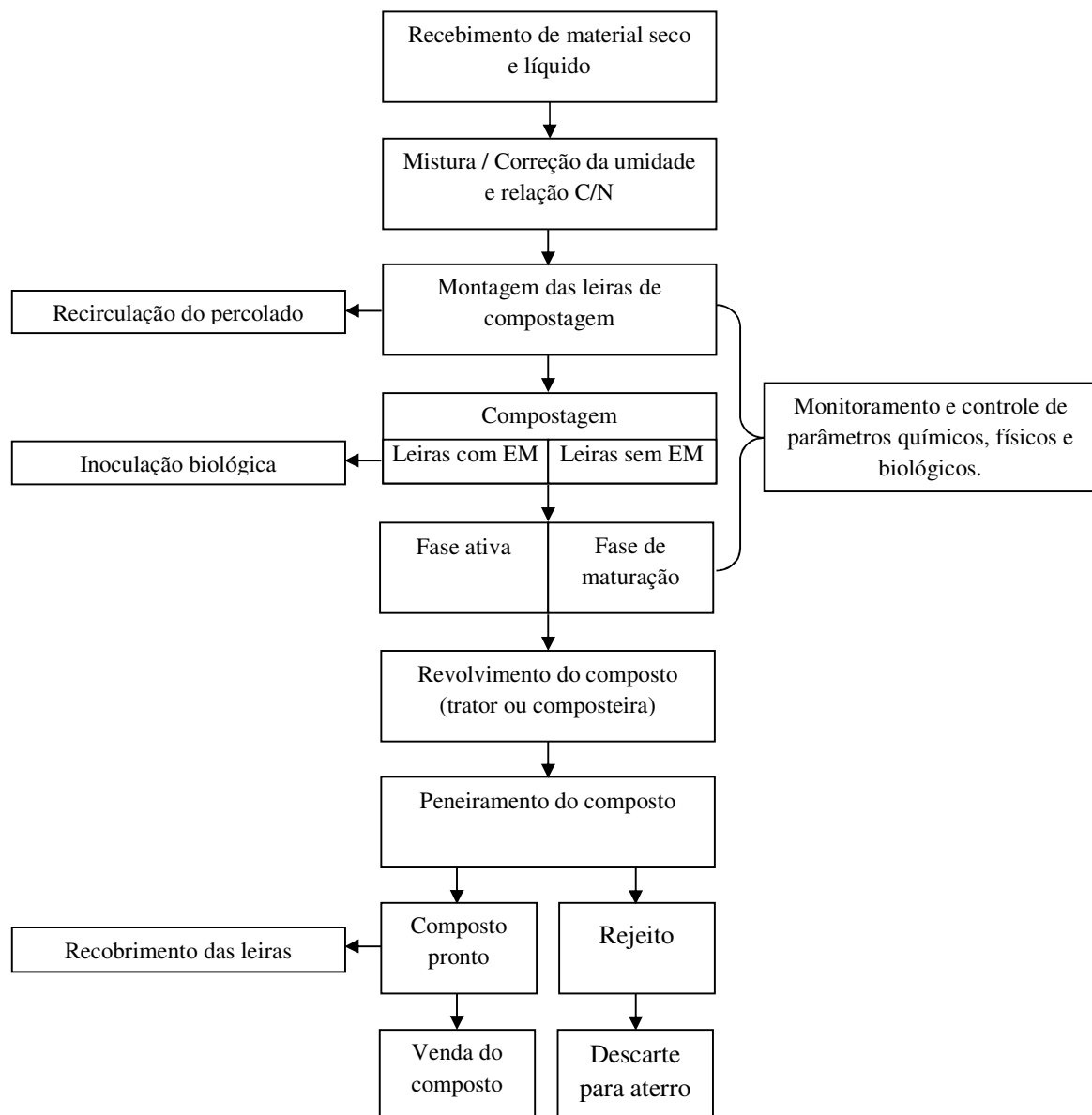


FIGURA 13 – Fluxograma do processo de produção na usina de compostagem.

Para a montagem da leira foram utilizadas 85 toneladas de material seco, constituído por: pó de serra, bagaço de cana, palha de café, aparas de sabão, lodo desidratado de ETE e aparas de papel, de acordo com a FIG. 14 e 25 m³ de material líquido (lodo de ETE na forma líquida, resíduo de caixa de gordura, restos de alimentos, soro de leite, leite cru, sangue de animais e iogurte não processado) de acordo com a FIG. 15.

Ao final, obteve-se um total de 110 toneladas de massa de resíduos para compostagem por leira.



FIGURA 14 – Baia de material seco.



FIGURA 15 – Baia de material líquido.

A homogeneização da massa de resíduos foi realizada por trator e composteira, onde as leiras foram montadas na área externa, de acordo com a FIG. 16.



FIGURA 16 – Leira montada em área externa.

Ao final, obteve-se um total de 110 toneladas de massa de resíduos para compostagem por leira.

O líquido que percolou nas leiras de compostagem, denominado chorume, foi direcionado para uma caixa de contenção, onde o mesmo foi bombeado para a leira ou retornou para a baia de líquidos, conforme a FIG. 17, atendendo desta maneira a necessidade de ajuste da umidade das leiras de compostagem, que no período foi mantida entre 50 a 60 %.



FIGURA 17 – Bombeamento do chorume da caixa de contenção.

Foram montadas 5 leiras sem EM e 5 leiras com EM, onde as mesmas apresentaram 1,5 m de altura, 3 m de base e 100 m de comprimento, obtendo-se um volume de 225 m³, onde as medidas da altura e da base foram padronizadas em função do tamanho da composteira, que realizou o revolvimento das leiras, de acordo com a FIG.18.



FIGURA 18 – Composteira utilizada no revolvimento das leiras de compostagem.

Para a aplicação do EM nas leiras, o mesmo foi previamente diluído numa proporção de 1:20, ou seja, um litro de EM para 20 litros de água, onde foi aplicado em cerca de 110 toneladas de massa de resíduos.

Foi utilizado um pulverizador costal com volume de 20 litros para a aplicação do EM, onde o mesmo foi aplicado na parte superior da leira, sendo que logo após, foi realizado o reviramento da mesma, conforme a FIG. 19.



FIGURA 19 – Aplicação do EM na leira de compostagem.

O EM foi aplicado diariamente nas leiras por um período de um mês, pois neste período ocorre uma alta taxa de degradação da matéria orgânica, devido à fase termófila do processo de compostagem.

Realizou-se um reviramento por dia nas leiras, de acordo com o monitoramento da temperatura obtido com uso de termômetro analógico tipo espeto, para o qual o valor não ultrapassou 60 °C, sendo que, acima deste valor, foi necessário o revolvimento da leira de compostagem, de acordo com a FIG. 20. As medidas de temperaturas foram realizadas diariamente, exceto nos finais de semana.



FIGURA 20 – Leitura da temperatura na leira de compostagem com termômetro analógico.

O composto orgânico foi peneirado em um peneirador rotativo, conforme a FIG. 21 e encontrou-se preparado para ser comercializado na forma a granel, de acordo com a FIG. 22 ou ensacado, conforme a FIG. 23, caracterizado como farelado sem especificação granulométrica classe A, apesar de ser utilizado como parte do material de origem na montagem da leira o lodo de ETE, o que deveria alterar desta maneira a sua classe para D.



FIGURA 21 – Peneirador rotativo.



FIGURA 22 – Composto a granel pronto para comercialização.



FIGURA 23 – Composto ensacado pronto para comercialização.

Após a estabilização da massa de resíduos, foram feitas as coletas em pontos distintos nas leiras, as quais foram homogeneizadas e submetidas às análises físico-químicas sendo cobre, zinco, manganês, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, matéria orgânica, umidade, pH, relação C/N e CTC, biológicas, sendo coliformes termotolerantes, *Salmonella* spp. e ovos viáveis de helmintos e de metais pesados, sendo arsênio, cádmio total, chumbo total, cobre total, cromo VI, cromo total, mercúrio, níquel total e zinco total, onde determinou-se os teores existentes no composto orgânico, utilizando-se o método analítico do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (SMEWW) 1060.

6.4 Análise estatística

Os dados coletados foram emparelhados e submetidos ao teste (bilateral) t de Student ao nível de 5 % de significância para comparar as médias das amostras sem EM e com EM, onde foram avaliados os parâmetros físico-químicos.

As hipóteses consideradas foram:

H_0 : As médias das características analisadas sem EM são iguais as médias das características analisadas com EM.

H_1 : As médias das características analisadas sem EM são diferentes das médias das características analisadas com EM.

A seguir está apresentada a estatística do teste t de Student (FERREIRA, 2005):

$$T = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

sendo,

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1) \times S_1^2 + (n_2 - 1) \times S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Para tanto, foi utilizado o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2008).

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Período de Compostagem

O tempo necessário para a compostagem de resíduos foi associado aos vários fatores que influem no processo, ao método empregado e às técnicas operacionais na usina de compostagem.

Sem a utilização do EM, a compostagem levou-se de 60 a 90 dias para atingir a bioestabilização ou semicura e de 90 a 120 dias para atingir a umidificação ou cura completa do composto.

Com a utilização do EM, houve uma aceleração no processo de compostagem, levando-se cerca de 40 a 60 dias para a semicura e de 60 a 90 dias para a cura completa, conforme citado por Bonfim *et al.* (2011), o qual descreve que o EM acelera o processo de decomposição, reduzindo o tempo de compostagem. Essa diferença ocorreu devido à duração da fase termófila, que é reduzida de algumas semanas para dois a quatro dias (KIEHL, 1985).

Comprovou-se por outro método a redução no período de compostagem, através do “teste da mão”, que determina a cura do composto orgânico, de acordo com a FIG. 24.

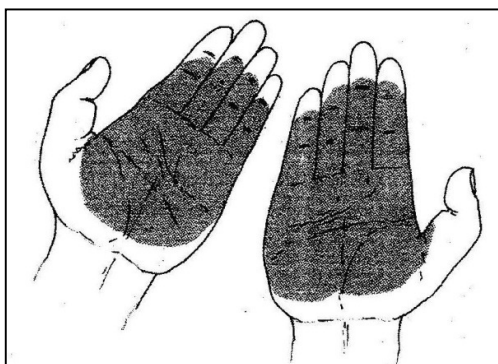


FIGURA 24 – Teste da mão.
Fonte: KIEHL (1985)

O composto orgânico produzido apresentou boa qualidade, pois o mesmo deixou as mãos sujas (semelhante à graxa preta) após esfregá-lo entre as mesmas, soltando-se facilmente, de acordo com a FIG. 25.



FIGURA 25 – Avaliação da cura de composto orgânico através do teste da mão.

7.2 Parâmetros físico-químicos, biológicos e metais pesados

Os valores para a média, variância, tamanho da amostra e P-valor encontrados para os parâmetros físico-químicos estão representados na TAB. 3.

TABELA 3

Médias comparadas pelo teste t de Student ao nível de 5% de significância para as amostras obtidas sem EM e com EM em relação aos parâmetros físico-químicos levando em consideração as variâncias e os tamanhos amostrais.

Parâmetros físico-químicos (unidade)	Média		Variância		Tamanho da amostra		P – valor
	Sem EM	Com EM	Sem EM	Com EM	Sem EM	Com EM	
Cobre (mg/kg)	189,00	62,30	29596,00	2977,92	3	4	0,2145 <i>ns</i>
Zinco (mg/kg)	143,04	239,07	20869,84	13919,89	3	4	0,3752 <i>ns</i>
Manganês (mg/kg)	0,6	1,31	23002,45	0,6272	3	2	0,9999 <i>ns</i>
Nitrogênio (mg/kg)	2,4860	1,4267	10,6142	0,5641	5	3	0,6098 <i>ns</i>
Fósforo (mg/kg)	0,9067	0,8750	0,1906	0,4512	3	2	0,9516 <i>ns</i>
Potássio (mg/kg)	1386,05	0,5733	7672697	0,0696	4	3	0,3908 <i>ns</i>
Cálcio (mg/kg)	7,3575	2,0433	125,9126	2,4866	4	3	0,4625 <i>ns</i>
Magnésio (mg/kg)	0,4633	0,1200	0,3046	0,0008	3	2	0,4655 <i>ns</i>
Enxofre (mg/kg)	4,1500	1,9750	13,5225	2,5312	3	2	0,5031 <i>ns</i>
Matéria Orgânica(%)	33,63	49,86	12,4702	513,6546	4	3	0,3442 <i>ns</i>
Umidade (%)	28,80	30,80	26,2498	231,0990	5	3	0,7877 <i>ns</i>
pH	6,85	6,72	0,2833	0,3292	4	4	0,7602 <i>ns</i>
Relação C/N	18,60	22,33	17,8000	616,3333	5	3	0,8205 <i>ns</i>
CTC (mmol/kg)	240,00	230,00	7500,00	1600,00	3	3	0,8647 <i>ns</i>

**ns* - não significativo ao nível nominal de 5% de significância pelo teste t de Student.

As análises realizadas indicaram uma não significância ($P>0,05$) entre os parâmetros físico-químicos, que possivelmente devido ao pequeno tamanho amostral (menor ou igual 5) podem ter interferido nos resultados, sendo que desta forma, o teste t de Student não teve poder para identificar alguma diferença existente, principalmente se esta diferença for pequena entre as médias dos parâmetros estudados.

Sangakkara *et al.* (1992) verificaram que a adição do EM ao composto orgânico, aumentou a concentração de nitrogênio e potássio nas plantas de alface em relação ao uso de composto orgânico sem EM, onde evidenciou-se a aceleração da mineralização dos resíduos pelo uso do EM.

Ronzelli Júnior, Buff e Koehler (1999) não encontraram evidências para recomendar a substituição da adubação química NPK tradicional, através da utilização do EM nas diluições de 1:250, 1:500, 1:750, 1:1.000, 1:1.250 e 1:1.500, inclusive um com adubação química NPK e um como testemunha sem adubação..

Santos *et al.* (2008) não encontraram diferença no teor de nitrogênio e potássio na planta de alface quando aplicou-se os compostos de esterco de bovino com ou sem EM.

Os valores encontrados para os parâmetros biológicos estão representados na TAB. 4.

TABELA 4

Análise biológica de coliformes termotolerantes, *salmonella sp.* e ovos viáveis de helmintos de composto orgânico sem EM e com EM em uma amostra.

Parâmetros	Sem EM	Unidade	Com EM	Unidade
Coliformes Termotolerantes	124	NMP/g de MS	100	NMP/g de MS
<i>Salmonella sp.</i>	Ausente	NMP/10g de MS	Ausente	NMP/10g de MS
Ovos viáveis de helmintos	0	Ovos/ 4g de ST	0	Ovos/ 4g de ST

Nas amostras sem EM e com EM não ocorreu a inativação para o parâmetro coliformes tolerantes, sendo que, já para o parâmetro *Salmonella sp.* e Ovos viáveis de helmintos a inativação foi confirmada.

Apesar da não inativação de todos os parâmetros biológicos, os mesmos enquadraram-se no Anexo VI da Instrução Normativa nº 46/2011 (BRASIL, 2011).

Apresenta-se no QUADRO 9 os valores para os metais pesados, CTC, pH, umidade, matéria orgânica e relação C/N em uma amostra de composto orgânico sem EM.

QUADRO 09

Resultados analíticos de composto orgânico sem EM em uma amostra para metais pesados, CTC, pH, umidade, matéria orgânica e relação C/N.

Parâmetro	Resultado	Unidade de Medida
Arsênio	14,5	mg/kg
Cádmio total	1,1	mg/kg
Chumbo total	47,9	mg/kg
Cobre total	119	mg/kg
Cromo VI	54,5	mg/kg
Cromo total	23,9	mg/kg
Mercúrio	<1,0	mg/kg
Níquel total	29,9	mg/kg
Zinco total	289	mg/kg
CTC	270,0	mmol/kg
pH	7,4	-
Umidade	29,5	%
Matéria orgânica	37,30	%
Relação C/N	22/1	-

Para Barreira, Philippi Junior e Rodrigues (2006), a maturação do composto dá-se pelos resultados do índice de pH, relação C/N e CTC, que indicam se a decomposição da matéria orgânica atingiu níveis desejáveis para que seja atribuída a qualidade do composto.

De acordo com Kiehl (1985), os valores de pH abaixo de 6,0 são indesejáveis, entre 6,0 e 7,5 são bons e acima de 7,5 ótimos. O valor encontrado no composto apresentou nível bom quanto ao pH (7,4).

À medida que forma-se o húmus, há um aumento na capacidade de troca catiônica (CTC) no composto, porém a Legislação Brasileira não exige a sua determinação (KIEHL, 1998).

A Legislação Brasileira determina a relação C/N máxima de 18/1, matéria orgânica em 40% (mínimo) e umidade em 40%, com tolerância até 44%. O composto orgânico enquadrou-se quanto aos parâmetros acima, portanto apresentou-se estabilizado.

Apresenta-se no QUADRO 10 os valores para metais pesados, CTC, pH, umidade, matéria orgânica e relação C/N em amostra de composto orgânico com EM.

QUADRO 10

Resultados analíticos de composto orgânico com EM em uma amostra para metais pesados, CTC, pH, umidade, matéria orgânica e relação C/N.

Parâmetro	Resultado	Unidade de Medida
Arsênio	<0,005	mg/kg
Cádmio total	<0,001	mg/kg
Chumbo total	<0,01	mg/kg
Cobre total	<0,004	mg/kg
Cromo VI	<0,05	mg/kg
Cromo total	<0,01	mg/kg
Mercúrio	<0,001	mg/kg
Níquel total	<0,01	mg/kg
Zinco total	195,3	mg/kg
CTC	270,0	mmol/kg
pH	7	-
Umidade	40	%
Matéria orgânica	41,70	%
Relação C/N	8/1	-

Todos os metais pesados analisados enquadraram-se no Anexo VI da Instrução Normativa nº 46/2011 (BRASIL, 2011). Portanto, o composto não apresentou restrições quanto aos parâmetros estudados, garantindo-se a qualidade e a sua livre comercialização.

Golueke *et al.* (1954) ressalta que a utilização de inoculantes como o EM é controverso, sejam estes comerciais ou não, pois a compostagem é um processo que envolve um enorme número de espécies de micro-organismos, num processo de sucessão.

A chance de influência no processo de compostagem através de inoculantes seria mínima ou não se daria, reconhecendo-se desta forma, que esta influência do composto-inoculante é apenas na fase inicial do processo de compostagem (POINCELOT, 1975).

Verificou-se que o uso do EM acelerou o processo de compostagem conforme o esperado, já quanto aos parâmetros físicos, químicos e biológicos que determinam a qualidade do composto, os mesmos apresentaram-se semelhantes, com ou sem a utilização do EM.

8 CONCLUSÃO

O período de compostagem reduziu-se com a utilização do EM, servindo como produto acelerador do processo de compostagem, de maneira semelhante aos produtos comercializados no mercado.

Nas condições em que foi realizado este trabalho, não se justifica a influência no uso de micro-organismos eficazes no processo de compostagem, pois no composto sem EM, observou-se que a concentração de nutrientes do composto com EM foram semelhantes.

O processo de compostagem de resíduos com o uso do EM mostra-se como uma prática que permite mitigar os problemas ambientais envolvidos com a disposição e tratamento inadequado de resíduos e ao mesmo tempo produzir composto orgânico em menor tempo, quantidade e qualidade, portanto, recomendam-se pesquisas aprofundadas sobre a melhoria da eficiência do processo de compostagem, com foco na sucessão microbiológica, no envolvimento de comunidades microbiológicas e em suas atividades, durante as fases específicas do processo, que ainda são pouco conhecidas.

REFERÊNCIAS

AISSE, M. M.; FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. Aspectos tecnológicos e de processos. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F.(Org.). **Reciclagem de Biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar/Finep, 2001. 288 p.

APROLAB. **Manual para la producción de compost com microorganismos eficaces**. Peru: Programa Pase, 2007. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10004: resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71 p.

BARREIRA, L. P.; PHILIPPI JUNIOR, A.; RODRIGUES, M. S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Revista Eng. Sanit. Ambient**, Rio de Janeiro, v. II, n. 4, p. 385-393, out./dez. 2006.

BARROS, R. M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 374 p.

BONFIM, F. P. G.; et al. **Caderno dos micro-organismos eficientes (EM): instruções práticas sobre uso ecológico e social do EM**. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa, 2011. 32 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 30 ago. 2006. Seção 1, retificado em 13 set. 2006. Seção 1, p. 141-146.

_____. MINISTÉRIO DAS CIDADES – MCIDADES. **Secretaria Nacional de Informação sobre Cidades - SNIC**. 2007. Disponível em:
<<http://www.brasilemcidades.gov.br/src/php/frmConsultaRelatorio.php?ifConfig=config>>
Acesso em: 01 de mai. de 2013.

_____. Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. **Compostagem Familiar**. Brasília, DF: Funasa, 2009a. 16 p.

_____. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 28 de jul. de 2009b. Seção 1, p. 20-24.

_____. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, Poder executivo, 03 de ago. de 2010. Seção 1, p. 3-7.

_____. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução normativa nº 46, de 06 de outubro de 2011. **Diário Oficial da União**, Poder executivo, Brasília, DF, 07 de out. de 2011, Seção 1, p. 4-11.

CARVALHO, P. C. T. Compostagem. In: TSUTIYA, M. (Ed.). **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 181-207.

CARVALHO, F. J. P. C.; COELHO, H. J.; LEAL, J. G. T. Legislação sobre fertilizantes orgânicos e lodo de esgoto. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA**. Botucatu: FEPAF, 2010. 407 p.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A (coord.). **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

DAVIS, C. L.; et al. Changes in Microbial Population Numbers During the Composting of Pine Bark. **Bioresource Technology**, Philadelphia, v. 39, n. 1, p. 85-92, mar. 1992.

EPSTEIN, E. **The science of composting**. Lancaster: Technomic Publishing, 1997. 493 p.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. da. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 84 p.

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 45-67.

FERRREIRA, D. F. **Estatística Básica**. Lavras: Editora UFLA, 2005. 664 p.

_____. **Software estatístico SISVAR**. Versão 5.1. 2008. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/software.htm>>. Acesso em: 08 jul. 2013.

FUNDAÇÃO MOKITI OKADA. **Micro-organismos eficazes (EM) e bokashi na agricultura natural**. Ipeúna, SP, 1998. 30 p.

GAYLARDE, C. C.; BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Biorremediação: aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, Brasília, v. 8, n. 34, p. 36-43, jan/jun. 2005.

GOLUEKE, C. G.; CARD, B. J.; McGAUHEY, P. H. A. Critical evaluation of inoculums in composting. **Applied Microbiology**, Washington, DC, v. 2, n. 1, p. 45-53, jan. 1954.

GRIPPI, S. **Lixo, reciclagem e sua história**: guia para as prefeituras brasileiras. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. 134 p.

HIGA, T. Effective microorganisms: A biotechnology for mankind. In: PARR, J.F.; HORNICK, S. B.; WHITMAN, C. E. (Ed.). **Proceedings of the First International Conference on Kyusei Nature Farming**, Washington, D.C., USA: Department of Agriculture, 1991. p. 8-14.

HIGA, T.; PARR, J. F. Beneficial and effective microorganisms for a sustainable agriculture and environment. In : INTERNATIONAL NATURE FARMING RESEARCH CENTER (INFRC). Japan, 1994. 16 p.

INÁCIO, C. T; MILLER, P. R. M. **Compostagem**: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 156 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Ministério das Cidades/Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão/IBGE: Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.ibge.com.br/home/estatística/população/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 14 de mar. 2013.

JICA. **Textbook for the group training course in sewage works engineering**. [S.l. : s.n.], 1993. v. 3.

KEENER, H. M.; DAS, K. Process control based on dynamic properties in composting: moisture and compaction considerations. In: CHAPMAN; HALL. **The science of composting**, England: [s.n.], 1996. p. 116-125.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985. 492 p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: Editora Degaspari, 1998.

KOPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KOPPEN, W. ; GEIGER, G. (Eds.). **Handbuch der Klimatologie**. Gebrüder: Borntraeger, 1936. p. 1-44.

KOTTEK, Markus; et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification Updated. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 15, n. 3, p. 259-263, jun. 2006.

KUTER, G. A. **Biosolids composting**. Alexandria: Water Environmental Federation (WEF), 1995. 187 p.

KYAN, T.; et al. **Kyusei nature farming and the technology of effective microorganisms**: guidelines for a practical use. Bangkok: APNAN/INFRC, 1999. 44 p.

LERIPIO, A. Á. **Gerenciamento de resíduos**. Disponível em: <<http://www.eps.ufsc.br/~lgqa/Coferecidos.html>>. Acesso em: 12 dez. 2004.

LIMA, L. M. Q. **Tratamento de lixo**. São Paulo: Hemus, 1991. 240 p.

MALINA, J. F. Effectiveness of municipal sludge treatment process in eliminating indicator organisms. In: **JOINT RESIDUALS CONFERENCE**. Phoenix, Arizona: AWWA/WEF, 1993.

MARTINEZ, V. R. Biofertilización y producción agrícola sostenible. Retos y perspectivas. In: CONGRESO CIENTÍFICO DEL INCA, 13, 2002, La Habana. **Programa y resúmenes ...** La Habana, 2002. p. 1-5.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering**: treatment, disposal and reuse. 3 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1991.

MILLER, F. C. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: METTING, F. B. (Ed.). **Soil microbial ecology**: application in agricultural and environmental management. New York: Marcel Dekker Inc, 1993. p. 515-541.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Gestão integrada de resíduos sólidos**: manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

PARR, J.F.; HORNICK, S.B.; KAUFMAN, D. D. Use of microbial inoculants and organic fertilizers in agricultural production. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON THE USE OF MICROBIAL AND ORGANIC FERTILIZERS IN AGRICULTURAL PRODUCTION. 1994. Taipei, Taiwan. **Proceedings ...** Taiwan: Published by the food and fertilizer technology center, 1994. p. 1-15.

PEIXOTO, R. T. dos G. Compostagem: Princípios, Práticas e Perspectivas em Sistemas Orgânicos de Produção. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de (Ed.). **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 517 p. il.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de Compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. 81 p. il. (Soluções).

PERGORER, A. P. R.; et al. **Informações sobre o uso do E.M. (Micro-organismos Eficazes)**. Rio de Janeiro: Fundação Mokiti Okada, 1995. 14 p.

POINCELOT, R. P. **The biochemistry and methodology of composting**. New Haven: CAES, 1975.

PRIMAVESI, A. **O manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1981. 535 p.

RODRIGUES, M. S.; et al. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: SPADOTTO, C. A.; RIBEIRO, W. **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: FEPAF, 2006. p. 63-94.

RONZELLI JUNIOR, P.; BUFF, M. T. C.; KOEHLER, H. S. Micro-organismos eficazes na produção da cultura do feijoeiro. **Revista Braz. Arch. Biol. Technol**, Curitiba, v. 42, n. 4, p. 1-8, ago. 1999.

SANGAKKARA, U. R.; et al. Effective microorganisms for organic agriculture: a case study from Sri Lanka. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE IFOAM, 9., 1992, São Paulo, **Proceedings...** São Paulo: IFOAM, 1992. p. 152-159.

SANTOS, M. L.; et al. Teores de macro e micronutrientes nas folhas e produtividade de alface crespa em função da aplicação de doses e fontes de nitrogênio. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.6, n.1, p. 47-56, jul. 2008.

SPELLMAN, F. R. **Wastewater Biossolids to Compost**. Lancaster, EUA: Technomic Publishing, 1997. 243 p.

STRAUCH, D. Survival of pathogenic micro-organisms and parasites in excreta, manure and sewage sludge. **Veterinary Science and Technology**, Stuttgart, v. 3, n. 10, p. 813-846, sept. 1991.

TEIXEIRA PINTO, M. Higienização de Lodos. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, V. M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento de disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - DESA (UFMG); Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, 2001. p. 261-297.

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

UEL. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Londrina: PROSAB/FINEP, 1999. 84 p.

URIBE, J. F.; et al. Evaluación de los Microorganismos Eficaces (E.M.) em producción de abono orgânico a partir del estiercol de aves de jaula. **Rev. Col. Cienc. Pec**, Medellin, Colombia, v. 14, n. 2, p. 164-172, jun. 2001.

VALENTE, B. S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, Pelotas, v. 58. n.1, p. 59-85, abr. 2009.

ZHANG, Y.; HE, Y. Co-composting solid swine manure with pine sawdust as organic substrate. **Bioresource Technology**, Philadelphia, v. 97, n. 16, p. 2024-2031, nov. 2006.

WPCF. **Operation of municipal wastewater treatment plants**. [S.l. : s.n.], 1991.