

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

GILSON EDUARDO TARRENTO

**PROCESSO DE PRODUÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO DERIVADO DE
RESÍDUOS INDUSTRIAIS COM APLICAÇÃO NO CULTIVO DE ALFACE.**

**BAURU
Maio – 2008**

GILSON EDUARDO TARRENTO

**PROCESSO DE PRODUÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO DERIVADO DE
RESÍDUOS INDUSTRIAIS COM APLICAÇÃO NO CULTIVO DE ALFACE.**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia
da UNESP – Campus de Bauru, para obtenção do
título de Mestre em Engenharia de Produção. Área
de concentração: Gestão de Operações e Sistemas.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Martinez

BAURU
Maio - 2008

**DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - BAURU**

Tarrento, Gilson Eduardo.

Processo de produção de composto orgânico derivado de resíduos industriais com aplicação no cultivo de alface / Gilson Eduardo Tarrento, 2008.

89 f. il.

Orientador: José Carlos Martinez.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2008.

1. Resíduos industriais. 2. Compostagem. 3. Adubo orgânico. 4. Produção mais limpa. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA N° 002/2008

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE **GILSON EDUARDO TARRENTO**, ALUNO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNESP – CAMPUS DE BAURU.

No dia trinta de maio de dois mil e oito, às 14:30 horas, no anfiteatro do prédio da Pós-graduação, da Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Bauru, reuniu-se à Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelo Professor Doutor José Carlos Martinez do Departamento de Engenharia de Produção da UNESP – Campus de Bauru, Presidente da Banca, Professor Doutor Roberto Lyra Villas Bôas, do Departamento de Recursos Naturais e Ciência do Solo e o Professor Doutor Adílson Renóbio do Departamento de Engenharia Civil da UNESP – Campus de Bauru, a fim de proceder à arguição pública da Dissertação do candidato Gilson Eduardo Tarrento, intitulada em "PROPOSTA DE UM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO DERIVADO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS COM APLICAÇÃO NO CULTIVO DE ALFACE". O Professor Doutor José Carlos Martinez, Presidente da Banca, apresentou o candidato, que dissertou sobre seu trabalho, em quarenta minutos, após, o candidato foi argüido oralmente pelos membros componentes da Comissão Examinadora no tempo regulamentar exigido. Logo após, reuniu-se a Comissão Examinadora, tendo apresentado o conceito final: APROVADO. A banca examinadora propôs a alteração do título para "PROCESSO DE PRODUÇÃO DE COMPOSTO ORGÂNICO DERIVADO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS COM APLICAÇÃO NO CULTIVO DE ALFACE". Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após, lida e aprovada, será assinada pelos Senhores Membros da Comissão Examinadora.

Bauru, 30 de maio de dois mil e oito.

Prof. Dr. José Carlos Martinez

Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas

Prof. Dr. Adílson Renóbio

Aos

Meus Pais José (in memoriam) e Claudice

Minha esposa Vânia,

Pelo amor, compreensão e apoio na conquista de mais este sonho.

Dedico

***Que as atuais ações de preservação ambiental possam contribuir para a
melhoria da qualidade de vida das futuras gerações, para minha filha Mariana,***

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Engenharia da UNESP, Campus de Bauru, à coordenação do curso de Mestrado em Engenharia de Produção pela oportunidade de realização do curso.

Ao Prof. Dr. José Carlos Martinez, pela orientação, apoio, confiança e amizade.

Ao Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas, pela amizade, dedicação, e apoio fundamental na disponibilização de recursos para a realização dos experimentos.

Aos amigos Marcelo Leonardo, Fábio Tonim e Douglas Crespam pela força e exemplo de companheirismo nas diversas etapas da dissertação.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Produção da UNESP, Campus de Bauru, em especial para os Professores Dr. Renato de Campos, Dr. Jair W. S. Manfrinato, Dr^a Rosani de Castro, Dr^a Rosane Battistelle, Dr. Adilson Renóbio e Dr. Otávio de Oliveira pelas ações e palavras de incentivo e força no decorrer do trabalho.

Ao Prof. Dr. João Eduardo Machado Perea Martins pelos conselhos, incentivo e amizade.

Ao Departamento de Recursos Naturais-Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, campus de Botucatu, pela concessão das instalações experimentais.

Aos gestores da empresa Centroflora pelo apoio à pesquisa e aos colaboradores que auxiliaram nas tarefas de campo.

Aos funcionários do Departamento de Recursos Naturais-Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, campus de Botucatu, especialmente a José Carlos DePieri, Jair, Adriana, Silvia e Noel pelas informações e auxílio nas atividades de laboratório, campo e casa de vegetação.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação da FEB, Célia, Ricardo e Gustavo pela constante cordialidade nos tratamentos e informações prestadas.

Aos professores Dr. Fernando Colen e Ms. Ciro Marcos Silva pela amizade e força.

Aos colegas do curso e também a todos que direta ou indiretamente contribuíram e apoiaram esta pesquisa.

Sobretudo a Deus que sempre me iluminou em todos os momentos e etapas para a realização deste trabalho.

“Desperdiçar e destruir os nossos recursos naturais, despojar e exaurir a terra, ao invés de usá-la de modo a aumentar sua utilidade, arruinará a única prosperidade que temos o dever e o direito de legar ampliada e desenvolvida a nossos filhos.”

Theodore Roosevelt

RESUMO

Em todo processo produtivo, é presumível a condição da geração de resíduos, sendo cada vez mais premente a busca de alternativas para destinação correta destes resíduos. Neste sentido, foi realizado um experimento com a compostagem de diferentes resíduos sólidos industriais provenientes do processo de extração do princípio ativo de plantas medicinais. O experimento constituiu-se na mistura, em proporções diferentes dos resíduos: a) Resíduo orgânico – gerado a partir do esmagamento da planta de jambú (*Spilanthes oleracea*), após a extração do princípio ativo, b) lodo físico-químico, gerado a partir do processo de tratamento de água e c) lodo biológico, oriundo do esgoto da empresa. Este trabalho teve como objetivos gerar uma alternativa, ambientalmente correta, para o reaproveitamento do lodo físico-químico e verificar o efeito agrônômico dos compostos resultantes na produção da alface. O processo de compostagem deu-se no período de 120 dias. A temperatura das pilhas foi medida diariamente, em três diferentes profundidades. Ao final, o composto foi pesado e avaliou-se, em média, o rendimento. Na segunda fase do experimento, buscando avaliar o efeito agrônômico dos compostos sobre a produção da alface (*Lactuca sativa* L.), os materiais compostados foram dispostos em vasos, em casa de vegetação, formando um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com fatorial 4 x 4, sendo o fator 1 formado por 4 tratamentos: composto 1 (C1 - 0% lodo – 100% jambú), composto 2 (C2 - 7% lodo – 93% jambú), composto 3 (C3 - 13% lodo – 87% jambú), composto 4 (C4 - 26% lodo – 74% jambú) e o fator 2 formado por 4 diferentes doses de compostos: (0, 45, 90 e 135 t ha⁻¹) e quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais. Nas avaliações realizadas após 45 dias do transplantio da alface, o tratamento C1 dose três (90 t ha⁻¹) apresentou os melhores resultados de rendimento. Nos demais tratamentos, ocorreram um decréscimo linear na produção da alface, no entanto, o tratamento C4 que continha 26% de lodo na sua composição, mostrou-se superior, em rendimento, àqueles com dose 0 do material orgânico. A compostagem pode ser considerada uma alternativa ambientalmente correta para estes resíduos, com possibilidade de utilização agrônômica.

Palavras-Chave: Resíduos industriais; Produção mais limpa; Compostagem; Adubo orgânico.

ABSTRACT

It is assumed that there is generation condition in every production process. Alternative ways for the correct destination of the residues has become essential. Therefore, an experiment on different industrial solid residues compound from medicinal plants active principle extraction has been performed. The experiment was based on the mixture of the residues in different proportions: a) organic residue generated from jambu (*Spilanthes oleracea*) smashing after active principle extraction, b) physiochemic mud generated from water treatment process and c) biologic mud originated from the company sewage. This work aimed at generating an environmentally correct alternative for phisiochemic mud reutilization and verify the agronomic effects of the resulting compounds in lettuce production. The compounding process lasted 120 days. Piles temperature was measured in three different depths. At the end, the compound was weighed and the average yield was evaluated. In the second phase of the experiment we aimed at evaluating the compound agronomic effects on lettuce (*Lactuca sativa L.*) production. The compounded materials were placed ins vases in greenhouses in an entirely randomized order, with factorial 4 x 4. Factor 1 was formed by 4 treatments: compound 1 (C1 – 0% mud – 100% jambu), compound 2 (C2 – 7% mud – 93% jambu), compound 3 (C3 – 13% mud – 87% jambu), compound 4 (C4 – 26% mud – 74% jambu). Factor 2 was formed by 4 different compound dosages: (0, 45, 90 e 135 t ha⁻¹) and four repetitions, totaling 64 experimental unities. Treatment C1, dosage 3 (90 t ha⁻¹) presented the best results in the evaluation 45 days after lettuce transplantation. In the remaining treatments there was a linear decrease in lettuce production. However, C4 that 26% mud in its composition was superior than those with 0 dosage of organic matter. Compound can be considered an environmentally correct alternative for these residues with the possibility of agronomic utilization.

Key words: Industrial residues, Cleaner production, Compound, Organic matter.

LISTA DE FIGURAS

	<i>Página</i>
1. Modelo de sistema de produção	21
2. Aspecto visual do material utilizado na composição das pilhas	36
3. Procedimento utilizado para o esmagamento do lodo físico-químico	37
4. Aspecto visual da montagem e estrutura das pilhas	37
5. Esquema utilizado para tomada de temperatura do composto	34
6. Determinação e monitoramento da umidade do material	41
7. Fases do ciclo da alface (a) 3 dias após o transplântio, (b) 15 dias, (c) 30 dias e (d) 45 dias após o transplântio	48
8. Avaliações da planta (a) utilização de clorofilômetro para medir a IVC e (b) utilização de paquímetro graduado para medir o diâmetro das plantas	49
9. Etapas do procedimento da avaliação das plantas após a colheita	50
10. Temperatura para as quatro pilhas de compostagem medida durante 120 dias	52
11. Fases do estado do lodo físico-químico	53
12. Oscilações ocorridas nos níveis de pH durante o período da compostagem	55
13. Alterações ocorridas na relação C/N durante o período da compostagem	57
14. Evolução da germinação do alpiste no período de 10 dias	58
15. Comportamento da germinação de alpiste em função de diferentes tipos de compostos	59
16 A. Desempenho da biomassa fresca (g planta ⁻¹) em função das doses avaliadas.....	65
16 B. Desempenho da biomassa 24h (g planta ⁻¹) em função das doses avaliadas.....	65
16 C. Desempenho da biomassa seca (g planta ⁻¹) em função das doses avaliadas	66
16 D. Desempenho da biomassa raiz (g planta ⁻¹) em função das doses avaliadas	66
16 E. Desempenho do diâmetro das plantas em função das doses avaliadas	67
16 F. Desempenho do número de folhas das plantas (unid.) em função das doses avaliadas	67
16 G. Desempenho da clorofila das plantas (spad) em função das doses avaliadas	68
17. Plantas de alface antes da colheita (doses em t ha ⁻¹)	72
18. Lodo em diferentes estados da matéria: sólido e líquido	74
19. Equipamento utilizado no processo de filtragem e prensagem do lodo	75

LISTA DE TABELAS

	<i>Página</i>
1. Principais diferenças entre as tecnologias de “fim-de-tubo” e a P+L.....	20
2. Proporção dos resíduos utilizados nas pilhas.....	38
3. Características químicas do solo utilizado no experimento.....	44
4. Características químicas do solo após calagem e adubação	45
5. Caracterização dos tratamentos, compostos orgânicos (4) e dosagens (4)....	46
6 Caracterização dos compostos produzidos a partir de diferentes resíduos industriais	47
7. Porcentagem de emergência de plântulas de alpiste	58
8 Valores médios da germinação (%) das plantas de alpiste em função dos diferentes tratamentos	59
9. Rendimento do composto na avaliação de massa final	60
10. Resultado da análise química dos compostos, entre os tratamentos.....	61
11. Comparação entre as doses dentro de cada composto e entre as médias dos compostos.....	63
12. Equações obtidas através da análise de regressão seguida dos respectivos coeficientes de determinação (R^2).....	70
13. Propriedades do solo 50 dias após o transplante das mudas de alface	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CE	Condutividade Elétrica
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
SB	Soma de Bases
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
ISO	International Organization for Standardization
IVC	Intensidade da Coloração Verde
LANARV	Laboratório Nacional de Referência Vegetal
MFPA	Matéria Fresca da Parte Aérea
MSPA	Matéria Seca da Parte Aérea
MO	Matéria Orgânica
NR	Norma Regulamentadora
NBR	Norma Brasileira
pH	Potencial hidrogeniônico
PRNT	Calcário (adubação)
P+L	Produção Mais Limpa
SGA	Sistema de Gerenciamento Ambiental
SPAD	Soil Analise Plant Development

LISTA DE SÍMBOLOS

C	Carbono
Ca	Cálcio
CaCl ₂	Cloreto de Cálcio
C/N	Relação Carbono e Nitrogênio
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cu	Cobre
dS/cm ³	desiemens por centímetro cúbico
Fe	Ferro
g/L	grama por litro
K ₂ O	Potássio
Mg	Magnésio
mg/kg	miligrama por kilo
Mmol _c /dm ³	milimol por decímetro cúbico
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na	Sódio
P ₂ O ₅	Fosfato
P resina	Fósforo resina
S	Enxofre
t ha ⁻¹	Toneladas por hectare
Um	Umidade
μs.m ⁻¹	microsiemens
Zn	Zinco

SUMÁRIO

	<i>Página</i>
1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1 PRODUÇÃO MAIS LIMPA E TECNOLOGIAS LIMPAS	18
2.2 SITUAÇÃO DA PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NAS EMPRESAS	20
2.2.1 Conceitos e classificação de resíduos sólidos	22
2.2.2 Aspectos legais dos resíduos sólidos	23
2.3 LODO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA	25
2.4 A COMPOSTAGEM COMO DESTINO ALTERNATIVO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	26
2.5 DETERMINAÇÕES QUÍMICAS PARA AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM	26
2.5.1 pH	27
2.5.2 Umidade	27
2.5.3 Temperatura	28
2.5.4 Condutividade elétrica	29
2.5.5 Relação C/N	29
2.6 TESTE BIOLÓGICO	30
2.6.1 Germinação	30
2.7 ADUBAÇÃO ORGÂNICA	31
2.8 EFEITOS DO USO DE COMPOSTO ORGÂNICO NO CULTIVO DA ALFACE	32
3. MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DOS EXPERIMENTOS	34
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	34
3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS	34
3.4 A MONTAGEM DAS PILHAS E O PROCESSO DE COMPOSTAGEM	36

3.5 DETERMINAÇÕES REALIZADAS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM	38
3.5.1 Temperatura	39
3.5.2 pH	40
3.5.3 Relação C/N	40
3.5.4 Umidade	41
3.5.5 Condutividade elétrica	42
3.5.6 Teste de maturação do composto	43
3.6 MASSA FINAL DO COMPOSTO	43
3.7 USO DE COMPOSTOS NA ALFACE	43
3.7.1 Caracterização do solo	44
3.7.2 Doses de compostos	45
3.7.3 Preparação dos vasos	46
3.7.4 Caracterização dos compostos	47
3.7.5 Transplante e condução das mudas	47
3.7.6 Avaliações	49
3.7.6.1 Nível de intensidade da coloração verde (IVC) das plantas	49
3.7.6.2 Produção de matéria seca e análise química das plantas	49
3.7.6.3 Análise química do solo	51
3.8 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS	51
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 COMPOSTAGEM	52
4.1.1 Temperatura	52
4.1.2 pH	54
4.1.3 Relação C/N	56
4.1.4 Condutividade elétrica dos compostos produzidos	57
4.1.5 Teste de avaliação da maturação do composto	58
4.1.6 Rendimento do processo de compostagem	60
4.2 RESULTADO DAS ANÁLISES QUÍMICAS DOS COMPOSTOS	61
4.3 EFEITO DA ADUBAÇÃO DO SOLO	62
4.4 USO DOS COMPOSTOS NA PRODUÇÃO DA ALFACE	62
4.4.1 Produção de matéria fresca e matéria seca	62

4.4.2 Rendimento na produção da alface	68
4.4.3 Avaliação química do solo após o transplante da alface	70
4.4.4 Efeito visual da interação entre doses e compostos	72
4.5 BENEFÍCIOS PROPORCIONADOS PARA A EMPRESA	73
5. CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXO A	87

1 INTRODUÇÃO

A questão da minimização na geração de resíduos sólidos nas empresas tem se tornando um foco determinante no âmbito do gerenciamento ambiental das organizações, que buscam alternativas ambientalmente corretas para o destino e ou reaproveitamento destes resíduos. No entanto, ressalta-se que minimizar resíduo pode representar uma mudança de processo e/ou matéria-prima e/ou tecnologia. A busca por alternativas corretas é denominada de tecnologia de “fim-de-tubo” (*end-of-pipe*).

Desta forma, nos últimos anos, aumentaram as necessidades de pesquisas e desenvolvimento tecnológico relacionado à disposição dos resíduos agrícolas da pecuária, agroindustriais, industriais e domésticos, de forma a causar o mínimo impacto sobre o meio ambiente.

No que se refere aos resíduos sólidos orgânicos, várias pesquisas apontam para a compostagem como sendo uma alternativa interessante para o seu aproveitamento, pois a compostagem é um processo biológico, aeróbio, em que os próprios microrganismos se encarregam em transformar matéria orgânica em material humificado, e que posteriormente, transformado em adubo orgânico, se tornará uma fonte rica em nutrientes para o solo. Assim, o resíduo que a priori teria como disposição final o envio para aterros, com o processo de compostagem, tornando-o ambientalmente sustentável, poderá ser de extrema importância para aproveitamento pela comunidade agrícola.

Com foco no aproveitamento de diferentes resíduos por meio do sistema de compostagem, os objetivos deste trabalho foram: (a) gerar uma alternativa, ambientalmente correta, para o aproveitamento do lodo físico-químico, por meio da compostagem e (b) verificar o efeito agrônômico dos compostos resultantes na produção da alface, partindo da hipótese de que a proporção de resíduo oriundo do processo de reciclagem de água, denominado pela empresa de lodo físico-químico, quando incorporado às pilhas de compostagem, não exerça influência significativa, de forma negativa, no rendimento do cultivo da alface.

A justificativa deste experimento consiste no fato de que caso seja confirmada a hipótese nula, ou seja, o possível reaproveitamento do lodo físico-químico como adubo orgânico, a empresa possa utilizar este resíduo no processo de compostagem, e desta forma, buscar uma alternativa ambientalmente correta e economicamente viável, considerando o fato

de que, atualmente este resíduo é enviado, em sua totalidade, diretamente para aterro sanitário em função da necessidade do mesmo ser disposto em local com camadas impermeabilizadas e evitar a formação de chorume.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Produção mais limpa e tecnologias limpas

Segundo Barata (2007), ao longo da década de 90 do século 20, foram implementados nas empresas, instrumentos de gestão ambiental para o controle e a prevenção de danos ambientais. Neste sentido, o conceito de manufatura ambientalmente adequada levou a uma reavaliação das atividades das empresas na intenção de melhorar continuamente a interação de suas atividades, produtos e serviços com o meio ambiente. (OMETTO *et al.* 2007).

Como prática de gerenciamento ambiental, a produção mais limpa (P+L), é uma ação pró-ativa para o meio ambiente uma vez que, ela previne a geração de poluição e garante o bem estar e a saúde dos indivíduos e a integridade ambiental da comunidade. (ANDRADE *et al.*, 2001; KAZMIERCZYK, 2002; HAMED e MAHGARY, 2004), *apud* Diaz e Pires (2005).

Já a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) define a produção mais limpa (P+L) como parte integrante da gestão ambiental, na qual as empresas podem minimizar a geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas e até aumentar sua produtividade. De acordo com a Cetesb, vários documentos foram elaborados para setores produtivos específicos, contendo uma descrição dos processos, os impactos ambientais potenciais e medidas de P+L aplicáveis a cada setor. Dentre eles destaca-se o documento: “A situação da P+L na América Latina e Caribe”, elaborado no ano de 2002.

Schenini *et al.* (2005) afirmam que a P+L faz parte das novas estratégias de administração industrial pois, conforme ressalta Oliveira (2006), vários esforços e estratégias são empregadas para o seu alcance.

Tal como, Corazza (2003) destaca que na esfera estratégica a gestão ambiental fornece avaliações sobre os potenciais de desenvolvimento e sobre as restrições ambientais emergentes, resultantes da regulamentação e da própria concorrência.

Neste sentido, as empresas ecologicamente corretas, buscam a preservação e sustentabilidade ambiental. Isto tem levado os gestores a repensar processos e reavaliar seus conceitos de gestão ambiental.

A gestão ambiental torna mais complexa a administração dessas empresas, pois todo processo de geração de resíduos e emissões para a atmosfera deve ser minimizado, e todo tipo de resíduo e subprodutos deve ser eliminado, preferencialmente, já na fase do projeto (MARTINS e LAUGENI, 2006, p. 515).

Atualmente, na busca de maior eficiência e menor geração de resíduos, tem-se introduzido o conceito de tecnologias limpas que devem, de acordo com o Boletim da Fundação Vanzolini (2000), reunir as seguintes características: utilizar compostos não agressivos e de baixo custo, exigir menor consumo de reagentes, produzindo pouco ou nenhum resíduo e permitir controle mais simples e eficiente de sua eliminação. E ainda, Fontenele *et al.* (2006) define, como um dos princípios da tecnologia limpa, o emprego de técnicas de reutilização, reciclagem e reaproveitamento de materiais.

Para Centro o Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) a P+L pretende integrar os objetivos ambientais aos processos de produção, a fim de reduzir os resíduos em termos de quantidade e periculosidade.

Porém, ao contrário da P+L, as tecnologias de “fim-de-tubo” (*end-of-pipe*) não tratam os problemas em sua origem e deixam que os problemas sejam solucionados futuramente, pelos outros e, neste caso, devem ser investigadas oportunidades de P+L (AGNER, 2006). A mudança de um paradigma “fim-de-tubo” para um paradigma P+L envolve o repensar dos sistemas gerenciais, bem como do desenho de produtos e processos industriais (CHRISTIE, 1995 *apud* LEMOS, 1998). Na Tabela 1 é possível observar as principais diferenças entre as tecnologias de “fim-de-tubo” e a P+L.

Tabela 1. Principais diferenças entre as tecnologias de “fim-de-tubo” e a P+L.

Tecnologia “fim-de-tubo”	Tecnologia P+L
Os resíduos e as emissões são controlados através de equipamentos de tratamentos.	Prevenção da geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte. Procurar evitar matérias-primas potencialmente tóxicas.
Proteção ambiental é assunto para especialistas competentes.	Proteção ambiental é tarefa de todos.
A Proteção ambiental atua depois do desenvolvimento dos processos e produtos.	A proteção ambiental atua como parte integrante do desenho do produto e da engenharia do processo.
Os problemas ambientais são resolvidos à partir de um ponto de vista tecnológico.	Os problemas ambientais são resolvidos em todos os níveis e em todos os campos.
Não há preocupação com o uso eficiente de matérias-primas, água e energia.	Uso eficiente de matérias-primas, água e energia.
Leva a custos adicionais.	Ajuda a reduzir custos.

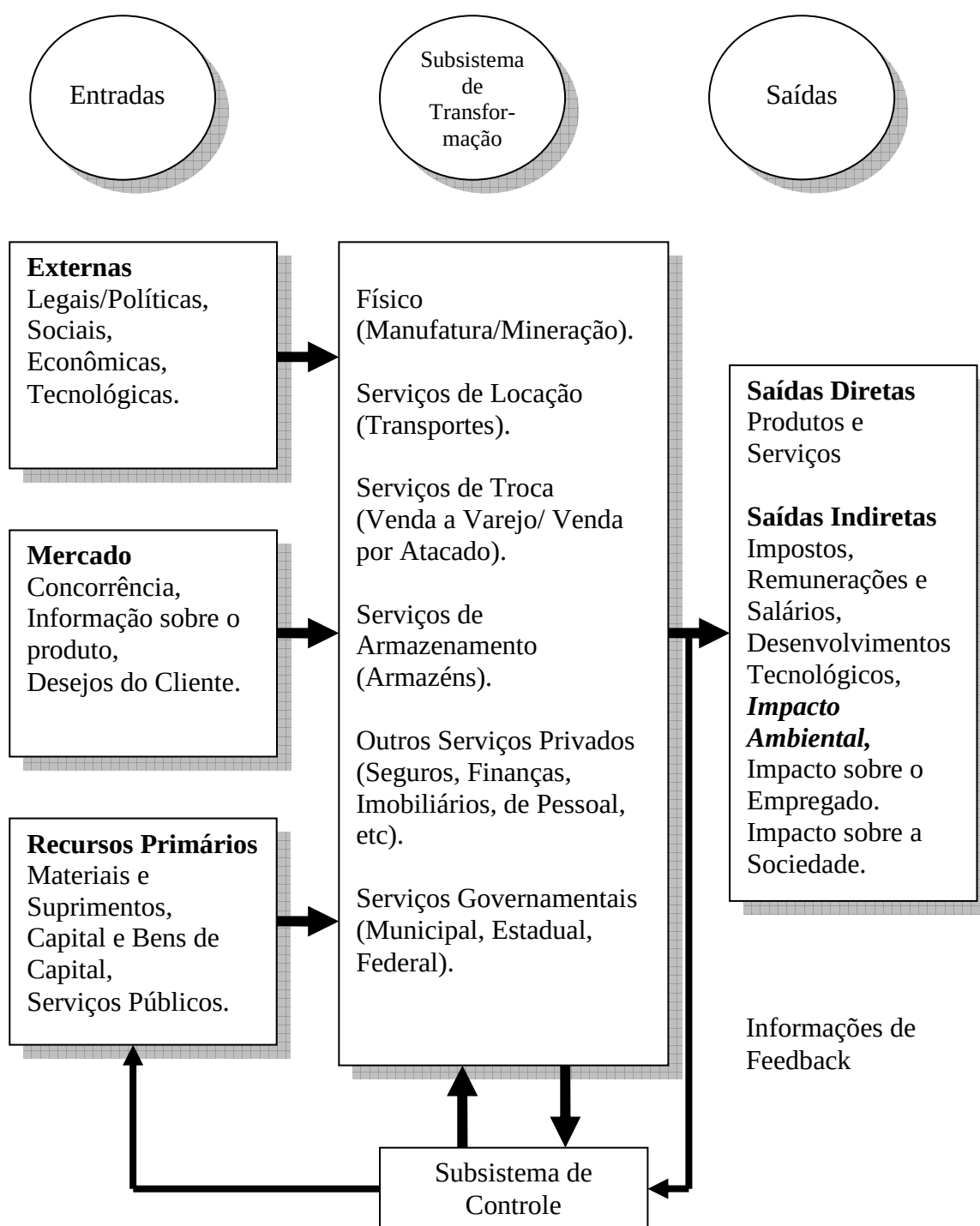
Fonte: CNLT, *apud* Agner (2006).

2.2 Situação da produção de resíduos sólidos nas empresas

Conforme Pawlowsky (2002), *apud* Leite (2005), nenhum processo consegue operar com a eficiência de 100%, pois quando são fornecidos matéria-prima e insumos a um processo obtêm-se os produtos e resíduos. Neste sentido, nos últimos 15 anos, muita atenção passou a ser dada à necessidade de incremento tecnológico com vistas à disposição dos resíduos agrícolas da pecuária, agroindustriais, industriais e domésticos, sendo que com este procedimento, minimiza-se o impacto sobre o meio ambiente (MATOS *et al.*, 1997).

Straus e Menezes (1993) *apud* Malheiros (1996), concordam que o aumento na produção de resíduos vem provocando impacto, e afirmam que sua taxa de geração é muito maior do que a sua taxa de degradação.

De acordo com Gaither e Frazier (2002), um sistema de produção recebe insumos na forma de materiais e são modificados num subsistema de transformação para serviços e produtos. Conforme os autores as saídas de um modelo de sistema de produção classificam-se em: Diretas e Indiretas (Figura 1). Dentre as saídas indiretas, encontra-se, também, o impacto ambiental, na forma de resíduos.



Fonte: Adaptado Gaither e Frazier (2002, p.15).

Figura 1: Modelo de sistema de produção

Uma atividade geradora de consideráveis volumes de resíduos sólidos é o processo de extração dos princípios ativos de plantas medicinais, sendo que a estimativa anual de produção de resíduos é de 300 toneladas (SILVA, F., 2005). No entanto, a projeção atual já ultrapassa este valor, pois no caso específico da empresa pesquisada, conforme informações

fornecidas pela empresa, a estimativa é de, aproximadamente, uma geração de até 4 toneladas de resíduos em apenas um dia de máxima produção.

Dessa forma, é cada vez mais premente a necessidade de reduzir, reciclar ou aproveitar os resíduos gerados pelo homem, sendo que, no caso dos resíduos gerados pelo processo de extração dos princípios ativos de plantas medicinais, Silva F. (2005) recomenda a compostagem como alternativa técnica para o uso sustentável destes resíduos, podendo proporcionar um aproveitamento racional na agricultura. Além do mais, a incineração de resíduos pode ser uma boa alternativa, mas ressalta-se a importância de se pensar em outros meios para a disposição (MERINO *et al.*, 2005).

Conforme Tibor & Feldman (1996), as empresas vêm sofrendo uma pressão mundial para serem mais responsáveis e cuidadosas com o meio ambiente. Esta pressão vem do governo, consumidores, acionistas e financiadores, bem como de grupos não-governamentais. Segundo Lima (1991) *apud* Malheiros (1996), pelas leis internacionais e, inclusive as leis brasileiras, o manejo e o tratamento dos resíduos sólidos industriais são de responsabilidade das fontes geradoras. Machado (2004), corroborando com esta idéia, destaca que este princípio está inserido no preâmbulo da Convenção de Basiléia, alertando que os rejeitos perigosos e outros rejeitos deveriam ser eliminados no Estado onde eles são produzidos, compatibilizando com uma gestão ecologicamente racional e eficaz.

2.2.1 Conceitos e classificação dos resíduos sólidos

Resíduos sólidos, conforme a NBR 10.004:2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, incluindo os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água (FIORILLO, 2005, p. 178).

Machado (2004) afirma que, como poluente, o resíduo sólido tem sido menos irritante que os resíduos líquidos e gasosos, porque colocado na terra não se dispersa amplamente como os poluentes do ar e da água.

A Resolução nº 23/96 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) classifica os resíduos em quatro tipos:

- a) Classe I – Resíduos perigosos – por exemplo, pigmentos inorgânicos, produtos químicos orgânicos, pesticidas, explosivos, etc.

- b) Classe II – Resíduos não-inertes – não podem ter propriedades como combustibilidade, degradabilidade ou solubilidade e apresentam periculosidade – por exemplo, cinzas, escórias e borras da indústria metalúrgica.
- c) Classe III – Resíduos inertes – quando são submetidos a teste de solubilização, conforme a ABNT NBR 10006:2004 não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões especificados.
- d) Outros resíduos – são aqueles coletados em residências ou decorrentes de incinerações de resíduos domésticos (SIRVINSKAS, 2006, p. 218).

Ressalta-se que o lodo físico-químico utilizado neste experimento está enquadrado, conforme o responsável pelo departamento ambiental da empresa, como resíduo classe II, pois como trata-se de um subproduto derivado do processo produtivo da empresa, o mesmo contém na sua composição alguns elementos químicos, sendo que, de acordo com a NBR 10004:2004, as características destes resíduos de acordo com os itens da norma são:

Item 4.2.2.1) Resíduos classe II A – Não inertes: Aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I – Perigosos ou de resíduos classe II B – Inertes, nos termos desta norma. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Item 4.2.2.2) Resíduos classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, executando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

2.2.2 Aspectos legais dos resíduos sólidos

De acordo com Melo *et al.* (1997), o material resultante do processo de compostagem é avaliado pela legislação brasileira como fertilizante, contudo, ele ressalta a inexistência de regulamentação estatutária no que se refere ao teor máximo para substâncias tóxicas e contaminantes. Contudo, Hogg *et al.* (2002), afirmam que nos países aonde o processo de compostagem é uma atividade sob regulamentação, a conciliação legal se altera de acordo com o nível de desenvolvimento político e industrial destes países.

Dentre algumas normas e resoluções a respeito da preservação ambiental, destaca-se a NBR 10004, da ABNT, que determina a classificação de Resíduos Sólidos. A ABNT NBR 10004 foi elaborada em 1987 e revisada em 2004.

Também, o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA de acordo com a Resolução nº 313 e pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, define no seu artigo 1º que os resíduos existentes ou gerados pelas atividades industriais serão objeto de controle específico, como parte integrante do processo de licenciamento ambiental. Ademais, o Ministério do Trabalho e Emprego define, por meio da Norma Regulamentadora (NR) 25 que os resíduos líquidos e sólidos produzidos por processos e operações industriais deverão ser convenientemente tratados e/ou dispostos e/ou retirados dos limites da indústria, de forma a evitar riscos à saúde e à segurança dos trabalhadores.

Fiorillo (2005) ressalta que o gerenciamento dos resíduos sólidos não se submete a um regime jurídico único, porquanto, varia de acordo com a localidade onde são gerados e com o seu conteúdo. Entretanto, o ideal seria que já se estivesse alcançado um grau de maturidade política, econômica e social, possibilitando a criação de mecanismos de desenvolvimento com proteção ambiental (ANTUNES, 2005, p. 16).

Quanto às sanções penais e administrativas, a lei nº 9605/98 de crimes ambientais, em seu artigo 54, parágrafo 2º, inciso V, penaliza o lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos em desacordo com as exigências estabelecidas em leis ou regulamentos (BARBOSA, 2004).

Além das normas e resoluções impostas às empresas para serem cuidadosas e responsáveis com a preservação ambiental, ainda existe a condição das organizações buscarem, por meio de certificações voluntárias, um padrão de qualidade ambiental a ser seguido, que as enquadrem como ecologicamente corretas.

Uma destas certificações voluntárias é referente à NBR/ISO 14001:2004. Esta norma é padrão voluntário internacional que especifica um processo para controle e melhoria ambiental das organizações. Ela fornece às organizações a oportunidade de demonstrar suas credenciais ambientais (DAVIES, 2005).

Entretanto, Silva *et al.* (2005) pesquisando sobre 78 empresas do setor de manufaturados, constatou que somente 4,5% dentre elas têm a certificação ISO 14000, e o estudo apontou também que, 50% das empresas apresentaram limitações em vários aspectos do campo da gestão ambiental, entre eles: o gerenciamento, as tecnologias, os procedimentos, o treinamento, a conscientização socioambiental, a certificação e a legislação ambiental.

2.3 Lodo de estação de tratamento de água

De acordo com Ghini *et al.* (2002), é crescente o volume de lodo de esgoto disponível nas estações de tratamento, o que torna necessária a busca de uma utilização viável desse material. Além do mais, os lodos oriundos do processo de tratamento de água também são considerados como resíduos sólidos, portanto devem ser tratados e devidamente dispostos para que não provoquem impacto ao meio ambiente.

Dentre os diversos destinos dados ao lodo de esgoto, a aplicação em área agrícola vem adquirindo, cada vez mais, importância, pois este resíduo contém matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um importante papel na fertilidade do solo (DIAS, 2005).

O empenho pela produção de compostos orgânicos a partir de resíduos industriais, tais como lodos, tem aumentado como alternativa tanto de minimização do volume desse passivo ambiental, quanto de aquisição de um produto a ser utilizado com destinação agrônômica (ARAÚJO, 2005).

Desta forma, a aplicação do lodo de esgoto no solo apresenta-se como uma tendência mundial (LOPES *et al.*, 2005). Nascimento *et al.* (2004) ressaltam a importância dos resultados aceitáveis com a aplicação de lodo de esgoto por culturas como feijão, soja, milho, trigo e girassol.

Considerando o aumento do aproveitamento de lodo de esgoto como adubo, a Resolução do CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006 define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, considerando que o uso agrícola do lodo de esgoto é uma alternativa que apresenta vantagens ambientais quando comparado a outras práticas de destinação final; e que a aplicação do lodo de esgoto na agricultura se enquadra nos princípios de utilização de resíduos de forma ambientalmente adequada.

“Os parâmetros para avaliação da qualidade do lodo devem caracterizar o produto segundo os seguintes aspectos: potencial agrônômico, contaminação com metais pesados, estabilização e sanidade [...] uma das formas de eliminação dos patógenos seria a compostagem, que é um processo de tratamento biológico, onde uma mistura inicial de resíduos sofre a ação de vários grupos de microorganismos”. (BACKES e LIMA, 2008)

2.4 A compostagem como destino alternativo de resíduos industriais

O processo de compostagem é biológico e aeróbio, onde os microrganismos são utilizados para transformar matéria orgânica biodegradável em material humificado. Ocorre também uma redução do volume e uma maximização nas características físicas e físico-químicas dos resíduos (IMBEAH, 1998).

No que se refere ao tratamento de resíduos sólidos, uma alternativa interessante seria transformá-los em composto e incorporá-lo ao solo monitorando a sua eficácia por meio da análise de produtividade de algum tipo de cultura agrícola. Por meio do método de compostagem, ocorre uma minimização da quantidade de resíduos a serem lançados no solo, e isto leva a uma vantagem ambiental PHILIPPI (1999).

Malheiros (1996) afirma ainda que, o uso agrônômico é uma alternativa bastante interessante para este tipo de resíduo, uma vez que é possível promover seu tratamento, como fonte de retornar o material orgânico ao meio ambiente.

Metcalf e Eddy (1991), afirmam que a compostagem constitui alternativa econômica e ambientalmente correta para o equilíbrio de resíduos orgânicos industriais e de estações de tratamento, com probabilidade de aplicação agrônômica de tais resíduos.

No entanto, Silva, F. (2005) ressalta que, apesar dos estudos existentes sobre o assunto, fazem-se necessárias pesquisas mais aprofundadas sobre a melhoria da eficiência do processo de compostagem, o que levaria à produção de compostos com maior qualidade quanto ao fornecimento de nutrientes e como condicionadores de solo.

2.5 Determinações químicas para avaliação do processo de compostagem

Segundo Barreira (2005), na compostagem existem muitos fatores que interferem ou influenciam a decomposição, a maturação e a qualidade do produto final podendo-se citar a umidade, a temperatura, a relação C/N e os resíduos orgânicos utilizados.

2.5.1 pH

Para Silva, F. (2005), a determinação de pH pode ser considerada um bom indicador de compostagem, já que, em geral, durante a compostagem o pH diminui ligeiramente, para subir posteriormente à medida que o material vai se estabilizando, chegando ao final do processo a valores entre 7,0 e 8,0.

Por meio da referência de pH, obtém-se a classe de acidez ou alcalinidade do composto MALAVOLTA (1979). Jiménez e Garcia (1989) demonstraram que valores baixos de pH sinalizam baixa maturação no composto, seja devido ao tempo reduzido de compostagem ou a possíveis condições anaeróbicas na pilha.

Portanto, considerando que a finalidade do composto é a sua aplicação ao solo, como fonte de nutrientes, ressalta-se a importância do parâmetro de estabilização do pH do composto, para se obter um maior nível de produtividade na aplicação das culturas, pois, conforme Malavolta *et al.* (2002) os valores altos de pH no solo corrigem-se com aplicações de matéria orgânica e uso de determinados adubos.

2.5.2 Umidade

“É uma das variáveis mais importantes no processo de compostagem. O grau de umidade na mistura afeta, outras variáveis do processo, tanto como a temperatura, a atividade microbiana e a taxa de decomposição de um composto. Para assegurar uma decomposição eficiente do material, recomenda-se um teor inicial de 55-65% de umidade da mistura. Quando a umidade se encontra abaixo de 40% a atividade microbiana diminui. Se o valor é maior que 65%, a água pode expulsar o ar dos poros vazios e promover condições anaeróbicas no composto, gerando assim, odores indesejáveis e um retardamento do processo de degradação” (EPSTEIN, 1997) *apud* Silva, F. (2005).

Corti e Crippa (1988) destacam que os compostos orgânicos possuem a capacidade de reter água e drenar o volume excessivo de água. No entanto, a conservação do teor de umidade, entre 45 e 55%, auxilia na rapidez e eliminação dos organismos patogênicos (LELIS, 1999).

Alguns sites especializados no assunto também disponibilizam informações e técnicas sobre o controle de umidade do processo de compostagem. É o caso do site planeta orgânico que destaca a importância de manter a umidade adequada, entre 40% e 60%, e ressalta a técnica de apertar um punhado do composto na mão de forma que até pingue, mas não escorra água. Este teste é denominado “teste da esponja”. Contribuindo com esta informação Diniz Filho *et al.* (2007), também fazem menção e aprovam esta técnica.

2.5.3 Temperatura

A temperatura é muito importante para definir se a operação de compostagem se processa como aceitável. No processo de compostagem a produção de calor de um material indica a sua atividade biológica e, então, indiretamente, o seu nível de decomposição (Bidlingmaier, 1985).

Durante o processo de compostagem, a temperatura apresenta certa variabilidade em função do período de tempo em que se encontra, e também pela atividade metabólica dos microorganismos dispostos nas pilhas.

Em condições ideais, a compostagem se desenvolve em três fases distintas:

- a) Fase mesofílica – é a fase em que predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40°C, com duração média de dois a cinco dias.
- b) Fase termofílica – predominam as altas temperaturas e pode ter a duração de poucos dias a vários meses, de acordo com as características do material em compostagem.
- c) Fase de resfriamento e maturação, com duração de semanas a meses. É nessa fase que ocorre a humificação da matéria orgânica decomposta (GOLUEKE, 1973, *apud* RODRIGUES *et. al*, 2006).

Neste sentido, Pereira Neto (1996) destaca a temperatura ideal nos processos de compostagem é, em média, de 55 °C. Temperaturas acima a 65 °C devem ser evitadas por provocarem a eliminação dos microrganismos mineralizadores responsáveis pela deterioração dos resíduos orgânicos.

Com relação à maturidade, Jiménez e Garcia (1989), destacam que, um composto estará maduro quando a sua temperatura se mantém constante após o revolvimento do material. Esta afirmativa se confirma pelo fato de que, durante os revolvimentos da pilha

ocorre a troca de temperatura entre o interior da mesma e a temperatura ambiente, sendo que ao atingir a fase de resfriamento já se tornam imperceptíveis tais oscilações.

2.5.4 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) é a avaliação da passagem da corrente elétrica entre eletrodos submetidos a uma solução composta por solutos iônicos (cátions e ânions). Portanto, quanto maior a proporção de sais presentes no solo/substrato, maior será o valor da condutividade elétrica (MOTA *et al.*, 2007).

A inclusão de compostos orgânicos no solo maximiza a concentração de sais na solução do solo e a sua condutividade elétrica em função da salinidade do composto. Ainda segundo Kiehl (2002), a condutividade elétrica também representa um indicativo do nível de maturidade do fertilizante (não devendo ultrapassar $4000 \mu\text{s.m}^{-1}$).

2.5.5 Relação C/N

A relação carbono-nitrogênio (C/N) tem sido utilizada como um bom indicador do nível de degeneração dos materiais orgânicos, sendo que relações inferiores a 20 são indicativas de uma maturação aceitável (MOREL *et al.*, 1985).

Segundo Kiehl (1985) o tempo necessário para gerar a compostagem de resíduos orgânicos esta sujeito à relação C/N, além das dimensões das partículas, da aeração e da quantidade dos revolvimentos.

Também, é interessante ressaltar a influência exercida pelas estações do ano no desempenho dos processos. Pesquisadores observaram que, durante o verão e outono, acontecem as maiores diminuições na relação C/N, em média 63,99%, sendo que primavera e inverno proporcionaram reduções inferiores. Essa redução mais intensa durante o verão e outono pode estar diretamente sujeita à qualidade dos resíduos, bem e às condições climáticas durante ambas as estações, conforme representado pelo comportamento da temperatura, que pode ter incidido em maiores taxas de degradação e, portanto, maior decréscimo da relação C/N (AMORIM *et al.* 2005).

Outro fator que influencia na relação C/N é o tipo de material a ser compostado, pois Costa *et al.* (2005) relatam que na compostagem de carcaça de aves ocorre uma relação C/N alta, em função da presença de maravalha e compartimentos fechados (composteiras), bloqueando trocas gasosas.

2.6 Teste biológico

2.6.1 Germinação

Têm-se desenvolvido diversos testes biológicos fundamentados nos efeitos contrários da salinidade e do nitrogênio amoniacal na germinação de sementes e no crescimento vegetal, tais testes são necessários para determinação do grau de maturação dos compostos orgânicos (ZUCCONI *et al.*, 1981; WONG e CHU, 1985).

Composto imaturo gera um cheiro desagradável, além de inibir a germinação de sementes e interferir negativamente no desenvolvimento de plantas (JOHNSON e CRAWFORD, 1993 *apud* JAHNEL 1999).

Segundo Beltrame e Carvalho (2006), alguns países realizam testes de germinação para avaliar a maturidade dos compostos, a exemplo da Áustria que cumpri o teste do agrião que requer um desenvolvimento mínimo de *Lepidius sativum* por um período de cerca de 90 dias e, dentre os parâmetros medidos considera-se também o tempo de demora de germinação.

No experimento realizado neste trabalho, para verificar o estado de maturação do composto, avaliou-se o tempo e o potencial de germinação de plantas de alpiste em quatro tratamentos estudados. Este teste foi necessário para verificar se o material já estava em condições de ser encaminhado para a segunda fase do experimento, ou seja, o cultivo da alface.

2.7 Adubação Orgânica

O Brasil ocupa atualmente a 9ª posição no ranking de países produtores de alimentos orgânicos certificados, em relação aos demais países e a 34ª posição no ranking de países exportadores destes produtos (CAMPIOLO e SILVA, 2006).

Porém, apesar de ser considerada uma técnica bastante antiga, a adubação orgânica andou perdendo terreno como método de enriquecimento do solo para a adubação química, principalmente a partir dos anos 50 do século passado. (PEIXOTO, 2000).

No entanto, sabe-se que a matéria orgânica é indispensável para a manutenção da micro e mesovida do solo, e não há dúvida que a bioestrutura e toda produtividade do solo se baseia na presença de matéria orgânica em decomposição ou humificada, e ainda, os resíduos orgânicos são considerados insumos de baixo custo e de alto retorno econômico para a agropecuária (PRIMAVESI, 2002; MORAIS, 2006).

Segundo Malavolta *et al.* (2002), a expressão adubos orgânicos contém uma série muito grande de materiais: desde o mato ou erva má até subprodutos agroindustriais como a vinhaça e a torta de filtro obtidas como subprodutos nas usinas de açúcar, passando pelos vários esterco, tortas leguminosas, lixo e esgoto tratados.

Os adubos orgânicos não valem apenas pelos nutrientes que contêm, mas também por seus efeitos benéficos nos solos. A matéria orgânica age como fonte de energia para microorganismos úteis, melhora a estrutura e o arejamento, a capacidade de armazenar umidade. Tem efeito regulador na temperatura do solo. Retarda a fixação do fósforo e, aumentando a capacidade de troca catiônica (CTC), ajuda a adsorver o potássio, cálcio magnésio e outros nutrientes em forma disponíveis para as raízes, protegendo-as da lavagem ou lixiviação pela água das chuvas ou de irrigação (MALAVOLTA *et al.*, 2002).

Quando aplicados no solo, os adubos orgânicos proporcionam resposta positiva sobre a produção das culturas, chegando a se igualar ou até mesmo a exceder os efeitos dos fertilizantes químicos (KIEHL, 1985). Completando, Bertoldi *et al.* (1986) afirmam que, o composto orgânico trás muitos benefícios no solo, dentre eles: condicionamento do solo com ajuste do pH e fornecimento de nutrientes para suportar desenvolvimento das culturas.

Para melhor aproveitamento do uso de composto orgânico no solo, Beltrame e Carvalho (2006) *apud* Rodrigues *et al.* (2006) ressaltam a importância da estabilidade de um composto, pois em situações específicas, a utilização de um composto imaturo ou pouco estabilizado pode ser altamente arriscado. Silva, F. (2005) resalta também que, a aplicação de

um composto orgânico “imaturo” pode provocar bloqueio biológico do nitrogênio assimilável o que, posteriormente, levaria a um decréscimo no conteúdo desse nutriente na planta e, conseqüentemente, uma queda na produção.

Ajwa e Tabatabai (1994), destacam que a deterioração dos resíduos orgânicos em geral, após aplicação no solo, é influenciada por vários fatores relativos ao material, ao solo e ao tipo de clima.

2.8 Efeitos do uso de composto orgânico no cultivo de alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta da família Cichoreacea (Compositae), anual e de porte herbáceo, caule reduzido e não ramificado, com folhas grandes, lisas ou crespas e sistema radicular pivotante de ramificações finas e curtas (CAMARGO, 1984 *apud* BLISKA JR. 1988).

É a hortaliça folhosa de maior valor comercial cultivada no Brasil, com cerca de setenta e cinco cultivares comerciais, das quais, aproximadamente dezoito são nacionais, com alto conteúdo de vitaminas A, B e C, além de cálcio, fósforo, potássio e outros minerais (VIGGIANO, 1990 *apud* LOPES 2005). A alface está incluída entre as principais hortaliças de consumo diário do homem (CARNEIRO, 1981).

Diante desta realidade, alguns pesquisadores avaliam alternativas para aumentar a produtividade desta hortaliça, sendo que a adubação orgânica com esterco de animais e compostos orgânicos tem sido utilizada, com certa frequência, no cultivo da alface (KIEHL, 1985; SILVA *et al.*, 2001).

Neste sentido, diversos resultados já foram apontados, é o caso de Rodrigues (1990) que constatou acréscimo na produção e nos teores de nutrientes das plantas de alface, com a adição de adubos orgânicos.

Yuri *et al.* (2004) também destacam que vários autores relatam a aplicação de adubos orgânicos proporcionando aumentos na produtividade e qualidade da alface. É o caso de Villas Bôas *et al.* (2004), que avaliando o efeito de três doses de composto orgânico de três composições distintas notaram que, no composto de palhada de feijão, a maior dose proporcionou o aumento de biomassa fresca e seca da parte aérea, e nas quantidades de macro e micronutrientes.

Também Santos *et al.* (1994), estudando cinco doses de composto orgânico verificou que a máxima produção de matéria fresca da alface foi obtida com a dose de 65,69 t ha⁻¹ de composto orgânico. Já Heredia *et al.* (1996), aplicando doses de esterco de galinha, observaram um aumento substancial de matéria fresca da alface, quando comparada ao tratamento testemunha.

Pires (2003) analisando os efeitos de compostos orgânicos verificou maior rendimento na alface Verônica na dosagem com a de cama-de-frango, quando comparada à alcançada com esterco bovino.

Ferraz Junior (2003), avaliando a aplicação de lodo de esgoto de cervejaria, com a de esterco de galinha observou que não houve diferença no teor de macronutrientes nas folhas da alface com a utilização do esterco ou lodo de esgoto de cervejaria.

Mas apesar da adubação orgânica ser importante para hortaliças, ainda são poucas as pesquisas desenvolvidas no Brasil, que analisam os efeitos dos fertilizantes orgânicos e minerais sobre a qualidade das mesmas (SOUZA, 2005), pois Lisboa *et al.* (1990) alerta que, pelo fato de ser consumida crua, devem-se tomar algumas precauções no que se refere aos microorganismos nocivos à saúde.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição geral dos experimentos

A primeira etapa do experimento (compostagem) foi desenvolvida no Pátio de Resíduos Sólidos (instalação aberta) do Grupo Centroflora, localizada na cidade de Botucatu – São Paulo.

A segunda etapa se constituiu do experimento com cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.), e foi conduzido em casa de vegetação e ambiente controlado, do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Campus de Botucatu – São Paulo.

3.2 Caracterização da área de estudo

O experimento foi desenvolvido no município de Botucatu a 22°51' de latitude Sul, 48°27' de longitude Oeste e altitude média de 786 m. Segundo classificação de Koppen, o clima do município de Botucatu é considerado como sendo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão, seca no inverno e a temperatura média mais quente superior a 22°C (CUNHA *et al.* 1999).

3.3 Caracterização dos resíduos

Para obtenção dos compostos foram utilizados diferentes tipos de resíduos gerados na forma de subprodutos do processamento de plantas medicinais, pela empresa objeto desta pesquisa, sendo: a) Resíduo orgânico – gerado a partir do esmagamento da planta de jambú (*Spilanthes oleracea*), após a extração do princípio ativo. Ressalta-se que a utilização da planta jambú se deu em função da disponibilidade da produção da empresa, que na época havia programado a produção de um lote de extrato desta planta e,

conseqüentemente, ocorreria a geração do resíduo na forma de subproduto, b) lodo físico-químico, gerado a partir do processo de tratamento de água, enquadrado, de acordo com a empresa, como resíduo classe II, conforme a Norma Brasileira 10004:2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a Resolução nº 23/96 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e c) lodo biológico, oriundo do esgoto da empresa e utilizado, neste experimento, como fonte de inóculo.

Após as análises dos resíduos realizadas laboratório do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP os resíduos revelaram as seguintes características:

(a) Resíduo orgânico (jambú) – em porcentagem na matéria seca – N (1,02); P_2O_5 (0,68); K_2O (0,30); Um (46,53); M.O. (23,00); C (12,80); Ca (14,70); Mg (0,56); S (0,42) – em mg/kg na matéria seca – Na (520); Cu (12); Fe (7550); Mn (176); Zn (240) e relação C/N (13/1) e pH (8,01).

(b) lodo físico-químico – em porcentagem na matéria seca – N (0,55); P_2O_5 (0,44); K_2O (0,08); Um (47,80); M.O. (11,00); C (6,20); Ca (28,50); Mg (1,12); S (0,76) – em mg/kg na matéria seca – Na (460); Cu (62); Fe (2400); Mn (300); Zn (120) e relação C/N (11/1) e pH (12,31).

(c) lodo biológico – em g/L – N (0,70); M.O. (10,00); C (5,60) – em mS/cm^{-1} – C.E. (2,00) e pH (6,70).

O aspecto visual dos materiais utilizados na compostagem é apresentado na Figura 2.



Figura 2 - Aspecto visual do material usado na composição das pilhas (a) lodo físico-químico, (b) material orgânico, (c) e (d) lodo biológico.

3.4 A montagem das pilhas e o processo de compostagem

A condução do processo de compostagem ocorreu no período de 23 de dezembro de 2006 a 23 de abril de 2007.

As quatro pilhas de compostagem foram montadas em formato trapezoidal, com 500kg de peso, utilizando resíduos gerados a partir do esmagamento da planta de Jambú (*Spilanthes oleracea*) e o lodo físico-químico, gerado a partir do processo de tratamento de água.

Para facilitar o esmagamento do lodo físico-químico, procedente do processo de reciclagem de água do qual o material sai prensado e em torrões, foi passado, por várias vezes o rodado de um trator de pequeno porte. Após este processo de fragmentação dos torrões, o material foi manualmente peneirado em malha grossa de 10 mm em arame trançado (Figura 3), para promover uma melhor homogeneização entre o resíduo orgânico e o lodo.



Figura 3: Procedimento utilizado para o esmagamento do lodo físico-químico (a) quebra do material com o rodado do trator e (b) peneiramento do resíduo.

Como fonte de inóculo de microorganismos foi aplicado, em cada pilha ao final da montagem, 20 litros de lodo biológico, diluído em 10 litros de água, sem cloro, conforme Figura 4.

Como o material já apresentava um teor de umidade de 64%, adequada para o processo de compostagem, não houve a necessidade de adicionar água nas pilhas durante a preparação das mesmas.



Figura 4. Aspecto visual da montagem e estrutura das pilhas (a) diluição do lodo em água (b) aplicação do lodo biológico e (c) as pilhas de compostos.

Para compor as pilhas determinou-se a massa equivalente ao volume de uma carriola preenchida, onde se observou a massa de 30,00 kg e 38,80 kg por carriola de jambú e lodo físico-químico, respectivamente.

Por questões práticas, denominou-se os compostos produzidos com os materiais da pilha 1 como (C1), pilha 2 (C2), pilha 3 (C3) e pilha 4 (C4). A Tabela 2 apresenta os tratamentos que foram compostos da mistura entre o material orgânico – jambú – e o lodo físico-químico.

Tabela 2. Proporção dos resíduos utilizados nas pilhas.

Tratamentos	Proporções de mistura			
	lodo físico-químico	jambú	lodo físico-químico	jambú
	-----kg-----		-----porcentagem-----	
C1	0	500	0	100
C2	35	465	7	93
C3	65	435	13	87
C4	130	370	26	74

3.5 Determinações realizadas durante o processo de compostagem

A partir da montagem das pilhas, anotou-se a temperatura 1 vez por dia, sempre no período da manhã, entre 10:00h e 11:00h, em três pontos e três profundidades (15cm, 30cm e 45cm).

As coletas para determinação de pH ocorreram semanalmente, onde eram retiradas quatro amostras do material em diferentes pontos de cada pilha, que eram enviadas para o laboratório do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, para análises.

O monitoramento de umidade foi feito no próprio local da instalação das Pilhas, por meio do “teste da esponja”.

Aos 13, 27, 41, 55 dias, as Pilhas foram revolvidas, por meio de pá e enxada, para proporcionar aeração do material.

3.5.1 Temperatura

A temperatura das Pilhas foi tomada diariamente em três pontos e em três profundidades, com o auxílio de termômetro de mercúrio. A metodologia, sugerida por pesquisador do Laboratório do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, aplicada para a tomada de temperatura foi:

- fixar três tubos de PVC, um para cada profundidade, sendo: de 15cm, 30cm e 45cm.
- amarrar um barbante na haste de cada termômetro.
- introduzir o termômetro nos tubos de PVC, até que o sensor atingisse o contato com o material.
- após 5 minutos o termômetro era puxado e a temperatura apontada era registrada em uma planilha.

Esta metodologia adotada é demonstrada na Figura 5.

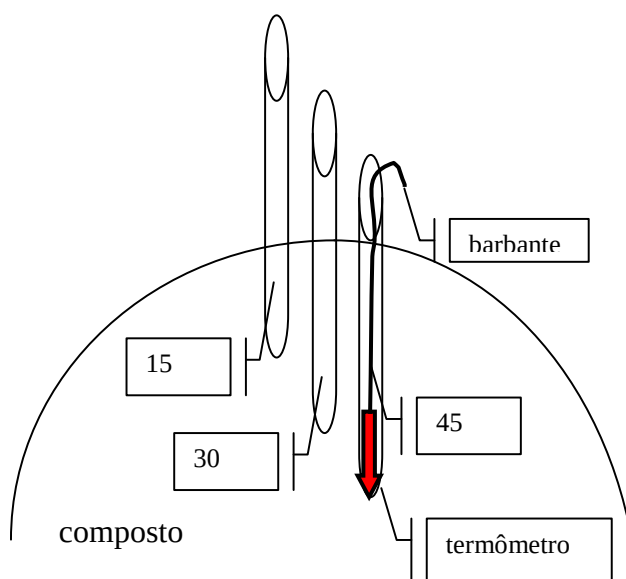


Figura 5. Esquema utilizado para tomada de temperatura do composto.

Para fins de análise de dados, considerou-se a média das temperaturas obtidas em cada ponto das pilhas.

3.5.2 pH

O pH do composto foi mensurado semanalmente, no Laboratório do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, de acordo com a metodologia do Laboratório Nacional de Referência Vegetal (LANARV), onde foi pesada 10 gramas da amostra "in natura", e colocada num copo de 100ml, e então adicionado 50 ml de solução de CaCl_2 0,01M. Após 30 minutos de repouso da solução, a medida do pH era realizada com a introdução do eletrodo na suspensão e o resultado foi expresso em pH em CaCl_2 0,01M.

3.5.3 Relação C/N

Semanalmente amostras eram enviadas ao Laboratório do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, para a determinação da relação C/N de acordo com a metodologia descrita pelo Laboratório Nacional de Referência Vegetal (LANARV), onde foi pesada 5g da amostra moída e seca a 60-65°C e transferida para uma cápsula de porcelana enviada para uma estufa a 100-110° C, durante 3 horas. Então, foi retirada da estufa, arrefecida em dessecador e pesada. Novamente, foi transferida para uma mufla para elevação da temperatura a 550°C por mais 1 hora. Após, repetiu-se a secagem e pesagem do material para o cálculo do teor de carbono.

Para determinação de nitrogênio, foi pesada 1g da amostra, depois passada por um balão de Kjeldahl, adicionou-se 10g da mistura digestora e 20ml de ácido sulfúrico concentrado. A amostra foi enviada ao aquecedor até a coloração se tornar esverdeada, permanecendo neste ponto por mais 1 hora. Depois foi arrefecida e passada para um balão de 250ml e homogeneizada. Então retirou-se uma alíquota e destilou-se em 10ml da solução receptora.

3.5.4 Umidade

A umidade do material foi verificada semanalmente no próprio local do experimento, pelo método conhecido como teste da esponja. Apesar de não ser um método de laboratório e, portanto não apresentar precisão, é comumente utilizado na prática e apresenta boa correlação com a faixa ideal de umidade que o composto deve apresentar para ter uma alta atividade microbiana. Trata-se de manter a umidade da pilha de modo que ao apertar o material na mão, haja escorrimento de pouca água. Se não escorrer, o material deverá ser molhado. Caso a umidade fosse excessiva, devido a chuvas, as pilhas eram cobertas com plástico. A Figura 6 ilustra este procedimento.



Figura 6. Determinação e monitoramento da umidade do material (a) cobertura das pilhas com lona plástica, (b) umedecimento das pilhas secas e (c) verificação de umidade – “teste da esponja”.

Destaca-se que medida de umidade a 100^o C realizada no Laboratório do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências

Agronômicas – UNESP, é obtida por meio do cálculo de percentual de umidade da amostra, fazendo valer a seguinte fórmula:

$$Umidade = \frac{PesoÚmido - PesoSeco}{PesoSeco} \times 100$$

De acordo com informações fornecidas por um professor e pesquisador do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, um teste foi realizado para aferir os parâmetros do teor de umidade entre os métodos. Primeiramente este teste baseou-se na verificação do teor de umidade do composto utilizando a técnica do “teste da esponja”. Imediatamente após, esta mesma amostra foi encaminhada para o laboratório, onde foi realizada a análise por meio da fórmula anteriormente citada. O resultado apontou uma proximidade positiva nos valores referentes ao teor de umidade oriundo dos métodos avaliados, sinalizando uma boa correlação no “teste da esponja”.

3.5.5 Condutividade Elétrica (CE)

Aos 120 dias do processo de compostagem foi realizada no Laboratório do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP a medida de condutividade elétrica (CE) seguindo a metodologia descrita por Sonneveld *et al.* (1994), onde foi utilizada uma proporção de 1:1,5, sendo 1 parte de substrato por 1,5 de água, após agitou-se por 30 minutos, filtrou e em seguida, realizada a leitura no condutivímetro, previamente calibrado.

3.5.6 Teste de avaliação de maturação do composto – Germinação de sementes de alpiste

Após atingir os 120 dias, amostras foram retiradas de cada composto e colocadas em vasos de 0,5 litro, que foram levados a um laboratório. Os vasos formaram um delineamento inteiramente casualizado composto de 4 tratamentos (diferentes compostos) e 4 repetições.

Em cada vaso, foram semeadas 10 sementes de alpiste (*Phalaris canariensis*) que foram avaliadas após a germinação durante cinco dias. As plantas eram contadas a cada dia e os resultados transformados em porcentagem, em relação ao total de sementes colocadas no vaso.

Para realização das análises de inferência estatística do experimento, foi adotado um delineamento inteiramente casualizado recomendado para ensaios em casas de vegetação, onde a maioria das variáveis experimentais é controlada (BANZATTO e KRONKA, 1989; LITTLE e HILLS, 1990), no esquema fatorial 4 x 4, com 4 repetições, para a germinação e crescimento da plântula alpiste (*Phalaris canariensis*). Os resultados obtidos das avaliações de laboratório foram submetidos à análise de variância pelo Teste de F, a 5% e 1% de significância, utilizando o programa estatístico SISVAR 4.6.

3.6 Massa final do composto

Após atingir os 120 dias de compostagem, as pilhas foram pesadas para mensuração e comparação da massa no início e final do processo.

3.7 Uso de compostos oriundos de resíduos industriais na produção de alface (*Lactuca sativa* L.)

A segunda etapa do experimento foi instalada em casa de vegetação, utilizando-se vasos plásticos com capacidade de 5,0 litros, que foram preenchidos com 5,0 litros de camada superficial de solo e doses diferentes dos compostos gerados.

3.7.1 Caracterização do solo

O solo utilizado foi o Latossolo vermelho distrófico típico (Embrapa, 1999), com a caracterização química descrita na Tabela 3.

Tabela 3. Características químicas do solo utilizado no experimento.

pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----			mmol _c /dm ³	-----		
4,1	25	2	70	0,3	1	1	2	72	3
BORO			COBRE		FERRO		MANGANÊS		ZINCO
-----						Mg/dm ³	-----		
0,31				0,7		50	3,5		1,4

Todos os tratamentos receberam calagem para correção da acidez do solo, visando elevar a saturação por bases aproximadamente 80% (RAIJ *et al.*, 1997), sendo aplicado 13,3 g vaso⁻¹ de um calcário dolomítico com PRNT de 91%. A adubação fosfatada e potássica visaram atingir os níveis de 200 mgP dm⁻³ e 3 mmol_c dm⁻³ de K no solo, sendo aplicados por vaso 5,7 g de Superfosfato Simples e 6,7 g de Termofosfato para atender as exigências de fósforo e 1,17 g de Cloreto de Potássio. A única fonte de nitrogênio no experimento foi do próprio composto orgânico utilizado.

Tanto os cálculos de correção do solo assim como para obter as doses dos compostos tomaram por base o volume de 5 dm³ de solo. Os resultados da análise de solo pós-incubação podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4. Características químicas do solo após calagem e adubação.

pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
	g/dm ³	mg/dm ³	----- mmol _c /dm ³ -----						
CaCl ₂									
5,7	23	66	28	0,6	32	18	51	79	64

3.7.2 Doses dos compostos

A quantidade do composto orgânico utilizada, por vaso, baseou-se na recomendação para a cultura da alface segundo Raij *et al.* (1997), que sugere de 40 t a 80 t de matéria orgânica por hectare. Considerando as características dos compostos, adotou-se as seguintes doses de composto: 0 t ha⁻¹, 45 t ha⁻¹, 90 t ha⁻¹ e 135 t ha⁻¹ caracterizando um experimento fatorial (4 x 4) conforme Banzato e Kronka (1989), sendo fator 1, quatro diferentes compostos orgânicos e fator 2, quatro doses do composto. A Tabela 5 apresenta as dosagens (g) de cada composto por vaso já em função da umidade dos materiais (compostos gerados) e teor de N de cada um deles (compostos).

A dose zero (0) é caracterizada por não receber nenhum composto bem como qualquer fertilizante fonte de nitrogênio, sendo adubado apenas com P e K.

Tabela 5. Caracterização dos tratamentos, compostos orgânicos (4) e dosagens (4).

Composto	Materiais		Dose	
	Jambú	lodo físico-químico	t ha ⁻¹	g vaso ⁻¹
C1	100%	0%	0	0,0
			45	328,0
			90	656,0
			135	984,0
C2	93%	7%	0	0,0
			45	295,3
			90	590,6
			135	885,8
C3	87%	13%	0	0,0
			45	302,4
			90	604,8
			135	907,3
C4	74%	26%	0	0,0
			45	295,3
			90	590,6
			135	885,8

3.7.3 Preparação dos vasos

Cada vaso plástico foi preenchido inicialmente com 5 dm³ de solo onde se aplicou o calcário que foi homogeneizado com o solo, sendo posteriormente umedecido. O solo e o calcário permaneceram em repouso por volta de 30 dias para a reação do calcário e então recebeu os fertilizantes nas doses correspondentes descritas anteriormente e homogeneizados para o volume do solo. Em seguida o conteúdo de cada vaso foi individualmente transferido para um recipiente (balde) com capacidade para 10 dm³ onde recebeu a dose do composto orgânico referente a seu tratamento, sendo realizada a homogeneização dentro deste recipiente e posteriormente transferido para o vaso de origem até completar o limite de 5 dm³.

3.7.4 Caracterização dos compostos

O composto orgânico utilizado estava curtido, tendo as suas características representadas na Tabela 6.

Tabela 6. Caracterização dos compostos produzidos a partir de diferentes resíduos industriais.

	C1	C2	C3	C4
-----porcentagem na matéria seca-----				
N	1,74	1,65	1,20	1,15
P ₂ O ₅	0,91	1,04	0,94	0,91
K ₂ O	0,21	0,25	0,20	0,19
Um	34,30	38,10	37,20	38,10
MO	39,25	51,00	29,75	28,25
C	21,85	28,38	16,55	15,73
Ca	1,16	4,65	6,64	9,11
Mg	0,22	0,32	0,36	0,45
S	0,32	0,34	0,33	0,38
-----* mg/kg matéria seca-----				
Na	235	330	350	415
Cu	73	80	73	74
Fe	15088	12900	11863	32888
Mn	174	169	175	149
Zn	149	210	112	113
C/N	12	17	14	14
pH	6,31	7,36	7,76	8,07

C1- Composto produzido com 0% de lodo físico-químico + 100% de Jambú; C2- Composto produzido com 7% de lodo físico-químico + 93% de Jambú; C3- Composto produzido com 13% de lodo físico-químico + 87% de Jambú; C4- Composto produzido com 26% de lodo físico-químico + 74% de Jambú.

*Teores totais.

3.7.5 Transplante e condução das mudas

O experimento foi conduzido de 03 de julho a 16 de agosto de 2007 (45 dias de ciclo).

Foram utilizadas mudas de alface crespa cultivar Veneranda sendo transplantada uma planta por vaso. O delineamento estatístico foi inteiramente casualizado com quatro repetições onde a população totalizava 64 plantas, sendo que cada vaso recebeu uma muda no ato do transplante. Foram utilizadas plantas de alface, devido ao ciclo curto

desta cultura (45 dias), porém ressalta-se que o composto poderia ter sido utilizado, para teste, em outros tipos de culturas.

A quantidade de água dos vasos foi observada diariamente e ao longo do período, sendo que nos primeiros 8 dias, padronizou-se a quantia de 50 ml (por vaso) e após o 11º dia, em função do desenvolvimento das plantas nos diferentes tratamentos, irrigou-se conforme a variação e necessidade de cada planta, individualmente.

Na Figura 7 são apresentadas as várias fases do ciclo da alface.

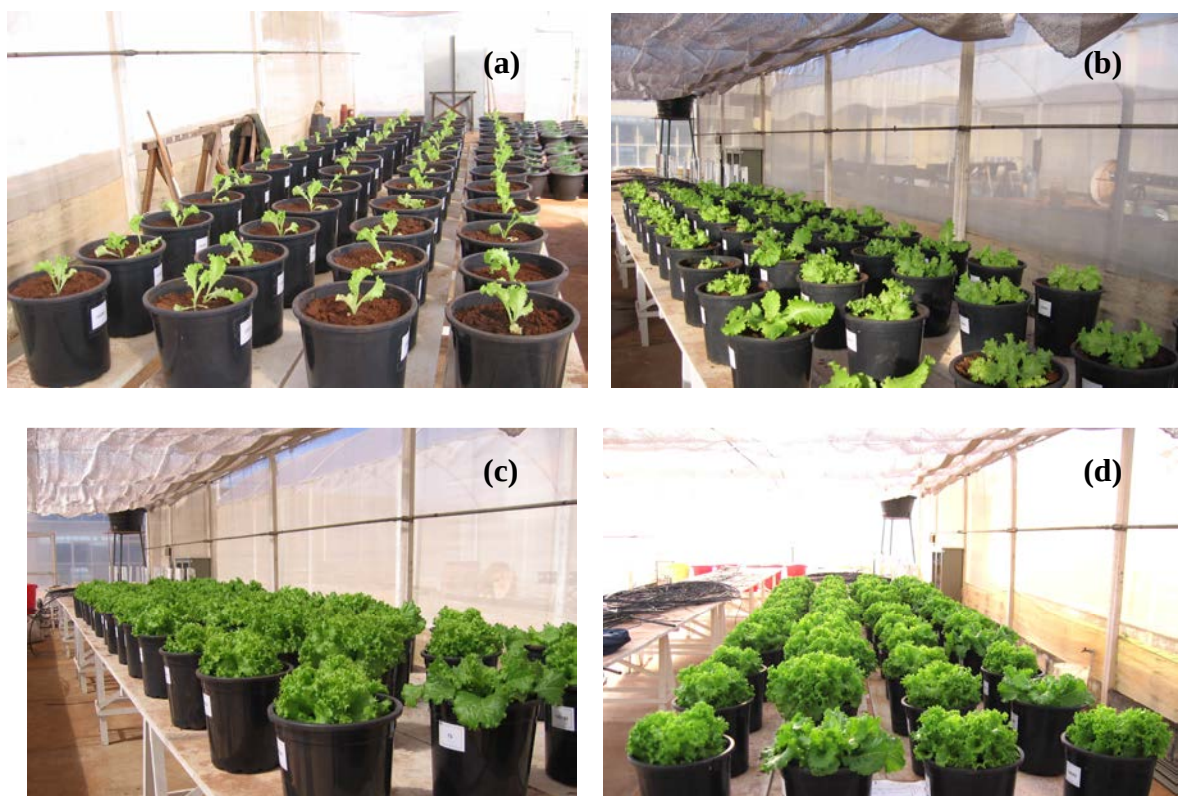


Figura 7: Fases do ciclo da alface (a) 3 dias após o transplântio, (b) 15 dias, (c) 30 dias e (d) 45 dias após o transplântio.

3.7.6 Avaliações

3.7.6.1 Nível de intensidade da coloração verde (IVC) e diâmetro das plantas

Aos 45 dias, após o transplântio, no período da manhã, foi realizada uma avaliação do teor de clorofila para determinar a intensidade da coloração verde da folhas (IVC), utilizando-se um clorofilômetro ‘Chlorophyll-Meter SPAD-502’. A determinação do IVC das plantas foi necessária para avaliar a intensidade de nitrogênio contido nas folhas das plantas de alface, sendo que, quanto maior o nível de IVC, maior a quantidade de nitrogênio disposta nas plantas. Foram amostradas três folhas por planta, considerando folhas da região mediana das plantas, registrando três leituras por folhas e calculadas as médias, obtendo valores em SPAD. Ainda foram determinados os diâmetros das plantas com auxílio de um paquímetro graduado (cm), método normalmente utilizado por pesquisadores da FCA. Na Figura 8 é possível observar este procedimento.

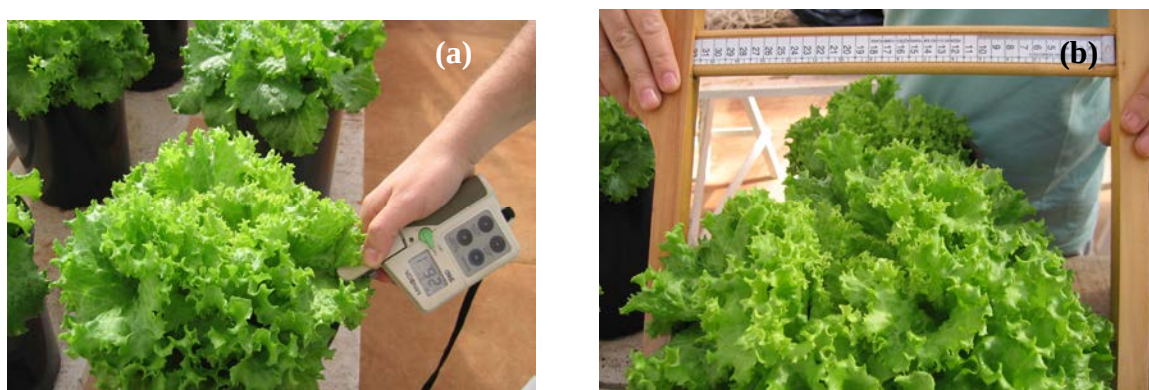


Figura 8. Avaliações da planta (a) utilização de clorofilômetro para medir a IVC e (b) utilização de paquímetro graduado para medir o diâmetro das plantas.

3.7.6.2 Produção de matéria seca e análise química de plantas

Também, aos 45 dias após o transplântio, foram realizadas as avaliações de IVC e diâmetro, as plantas foram cortadas próximas ao solo. Após a colheita as plantas foram imediatamente pesadas avaliando a biomassa fresca (g planta^{-1}). As plantas permaneceram sobre uma bancada no laboratório, sob temperatura ambiente, por 24 horas quando foram

novamente pesadas para nova determinação de biomassa (g planta^{-1}). Foi realizada a contagem do número de folhas (unidades) e em seguida foram lavadas em água e detergente neutro para serem então secas em estufa com temperatura constante de 60° por 72 horas. Ao serem retiradas da estufa foram novamente pesadas para obtenção da biomassa seca (g planta^{-1}), então foram moídas e encaminhadas para análise química no Laboratório de Análise Química de Planta do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp.

As raízes foram retiradas dos vasos 5 dias após a colheita das plantas, sendo limpas em água corrente para posteriormente serem pesadas (massa de raiz). A Figura 9 ilustra etapas do procedimento da avaliação das plantas após a colheita.



Figura 9. Etapas do procedimento da avaliação das plantas após a colheita: (a) biomassa após a colheita (b) biomassa 24 horas (c) contagem de folhas e (d) biomassa seca.

3.7.6.3 Análise química do solo

Também foram coletadas amostras de solo no final do ciclo, que foram secas ao ar, peneiradas e enviadas ao Laboratório de Fertilidade de Solos do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo para análise.

3.8 Delineamento experimental e análise dos dados obtidos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial (4 x 4). Os fatores foram: tratamentos (C1, C2, C3 e C4), e quatro doses (0, 45, 90, 135 t ha⁻¹) e quatro repetições, totalizando 64 unidades experimentais.

Todos os resultados foram analisados através do software SISVAR versão 4.6, realizando o teste de Tukey e regressão a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Compostagem

4.1.1 Temperatura

Na Figura 10 verifica-se a variação de temperatura medida diariamente durante os 120 dias de compostagem.

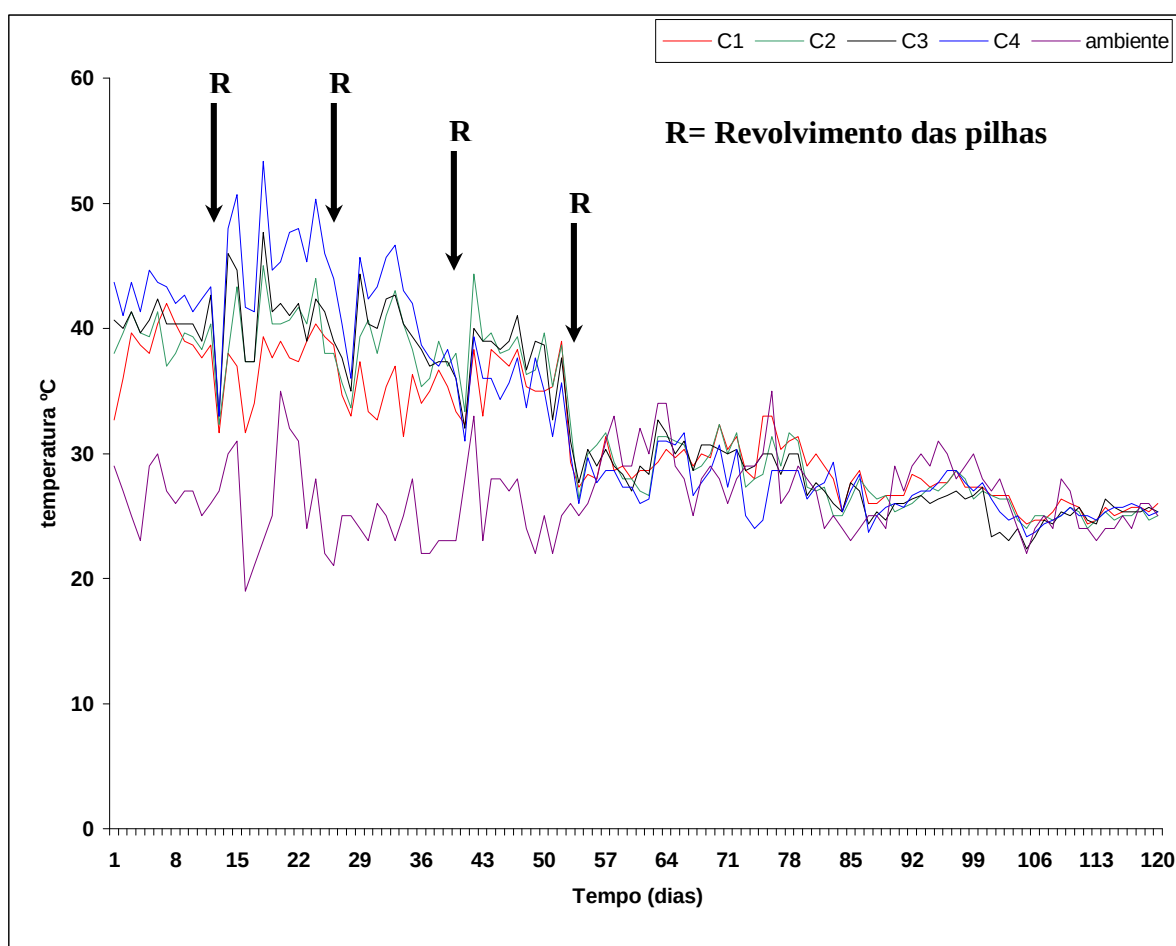


Figura 10. Temperatura para as quatro pilhas de compostagem medida durante 120 dias.

Nota-se que nas pilhas representadas pelas proporções de aplicação de lodo físico-químico (0%) e (7%), tratamentos C1 e C2, respectivamente, houve uma rápida elevação na temperatura nos primeiros dias, sinalizando que para estes tratamentos, as

condições estavam adequadas para a atividade microbiana. Contudo, o mesmo não aconteceu com os demais tratamentos, C3 e C4, com concentrações de lodo físico-químico de 13% e 26%, respectivamente. Este fenômeno pode estar relacionado com a própria concentração elevada do lodo físico-químico nestas pilhas e a sua composição química, considerando que a análise inicial do lodo apontou uma porcentagem de nitrogênio de 0,55 e o pH acima de 12, o que, provavelmente, pode ter limitado um adequado desenvolvimento microbiano e, conseqüentemente, a elevação inicial da temperatura. No entanto, ressalta-se que o processo não se encontrava fora de controle, pois as quatro pilhas de compostos atingiram temperatura superior a 40°C, considerada normal na fase mesofílica.

As pilhas relacionadas aos tratamentos C3 e C4 que apresentaram as maiores elevações de temperatura, sendo que na fase termofílica a pilha C4 atingiu temperatura próxima à 55°C. Provavelmente este efeito pode estar relacionado à concentração de calor no interior das pilhas, quando iniciou a degradação do lodo físico-químico gerando a liberação de microorganismos que propiciaram a elevação da temperatura, pois Joshua *et al.* (1998), ressaltam que a retenção de calor no interior da pilha é resultante de uma massa auxiliar que a envolve externamente.

Na Figura 11 é possível observar duas fases do lodo físico-químico, sendo uma representada pelo material ainda empedrado, antes do início da compostagem e a outra retrata o material misturado na pilha de composto, porém num estágio avançado de degradação (esfarelando-se) em função do tempo de decomposição decorrente do período do processo da compostagem.



Figura 11. Fases do estado do lodo físico-químico (a) material antes do processo de compostagem, ainda empedrado, (b) Início da fase de degradação, durante a compostagem.

Observou-se que, próximo aos 50 dias, as pilhas atingiram a fase de resfriamento e maturação e que as variações ao longo do processo ocorreram dentro da normalidade.

Considerando que as mudanças bruscas aconteceram somente no período de revolvimento das pilhas, para aeração e homogeneização do composto, pode-se considerar que a variação de temperatura esteve dentro de um nível de desempenho de compostagem estimado como adequadamente dirigido.

4.1.2 pH

O pH é uma característica importante na seleção da população microbiana e conseqüentemente no processo de decomposição.

É importante que haja um pH mais ácido na fase inicial, selecionando em função disso maior população de fungo, posteriormente, com a elevação de pH haverá predominância de bactérias.

O lodo, quando aplicado em grande quantidade, alterou esta característica, uma vez que tem um pH alcalino.

Então, durante o período de compostagem, o nível de pH foi determinado nos quatro tratamentos dos compostos. O pH é uma das características para avaliar o grau de maturação do composto.

As oscilações ocorridas durante o período da compostagem, podem ser observadas na Figura 12, onde está representado um comportamento considerado normal, existindo uma rápida acidificação no princípio, acompanhada de um aumento no nível de pH, alcançando valores aproximados à alcalinidade durante o processo.

Considerando os valores de nível de pH entre 6,5 e 8,0, uma variação ótima para o processo de compostagem, no início do processo ocorreu, uma ligeira acidificação do composto, destaque para o C1 que atingiu um valor próximo a 4, nível este considerado inadequado como parâmetro para a utilização do material na condição de adubo orgânico.

Esta rápida acidificação é considerada normal, pois a mesma pode ter ocorrido em função da produção dos ácidos orgânicos, inerentes ao próprio processo da decomposição.

No decorrer do processo de compostagem os valores de C2 e C3 permaneceram entre 7,0 e 8,0. Para o C4, com 26% de lodo físico-químico na mistura, notou-

se, na 16ª semana do processo de compostagem, uma elevação do nível de pH, atingindo valores próximos a 8,5. Contudo, na 19ª semana, retorna à faixa considerada adequada.

Já para C1, com 0% de lodo físico-químico na mistura, nota-se uma tendência de queda no nível de pH, à partir da 9ª semana do processo, chegando ao final do processo com valor próximo a 6,5, considerado, ainda, dentro dos limites de especificação, pois valores inferiores a este determinam acidez do composto.

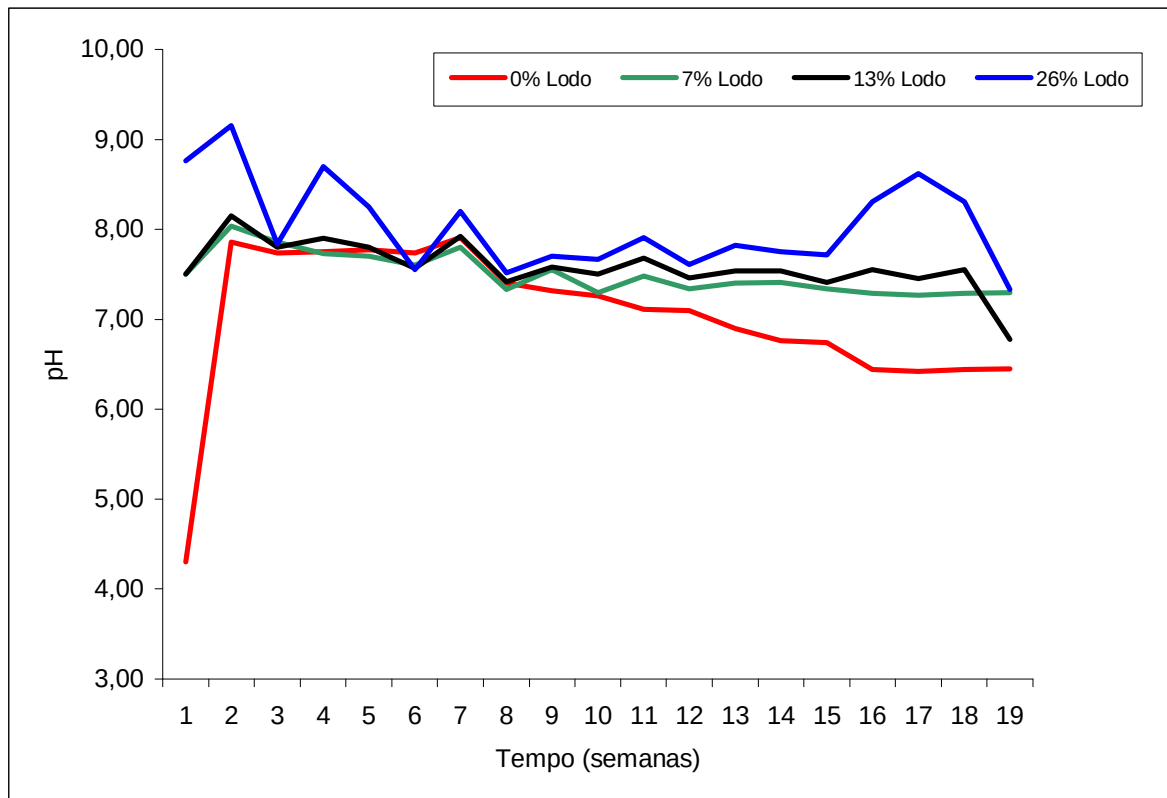


Figura 12. As oscilações ocorridas nos níveis de pH durante o período da compostagem.

É possível visualizar também que o aumento da concentração do lodo físico químico na mistura contribuiu para uma tendência de elevação no nível de pH do composto. Este efeito conduz ao raciocínio de que à medida que se aumenta a proporção do lodo físico-químico na mistura, ocorre, também, uma tendência do material permanecer com um nível de pH próximo à faixa de alcalinidade, sendo considerado inadequado para a utilização na forma de adubo orgânico.

4.1.3 Relação C/N

Na Figura 13 observa-se as alterações ocorridas na relação C/N durante o período da compostagem ao longo de 120 dias do processo. Nota-se que na primeira semana, em todos os compostos, a relação C/N esteve abaixo do parâmetro considerado comum para o início de um processo de compostagem ($C/N = 30:1$). Este fato pode ser explicado em função das análises químicas preliminares realizadas nos resíduos apontarem resultados na relação C/N de 11:1 e 13:1 para as amostras de lodo e jambú, respectivamente.

No entanto, Epstein (1997), *apud* Silva, F. (2005) ressalta a importância da relação C/N e afirma que pode ocorrer a volatilização do nitrogênio em forma de amônia em relações inferiores a 20:1. Damatto Junior (2006) estudando efeito de compostos orgânicos utilizou, na construção das pilhas, serragem de madeira, com alto teor de carbono e esterco bovino, com alto teor de nitrogênio, visando atingir a relação C/N de 30:1.

Até a 7ª semana do período de compostagem ocorreram oscilações dentro de uma faixa na relação C/N entre os quatro compostos, destaque para C1 e C4 com 0% e 26% de lodo, respectivamente, que apresentaram comportamentos distintos entre elevação e diminuição da relação C/N.

Na 11ª semana os compostos com 7 e 13% de lodo sofreram uma rápida diminuição na relação C/N atingindo um nível de 7:1, considerado um parâmetro inadequado para humificação do composto que deve apresentar uma relação entre 8:1 e 12:1, conforme Kiehl (2002). Porém, a partir da 12ª semana ocorreu uma tendência de estabilização da relação C/N dos 4 compostos e atingiram o parâmetro de 11:1 no final do processo.

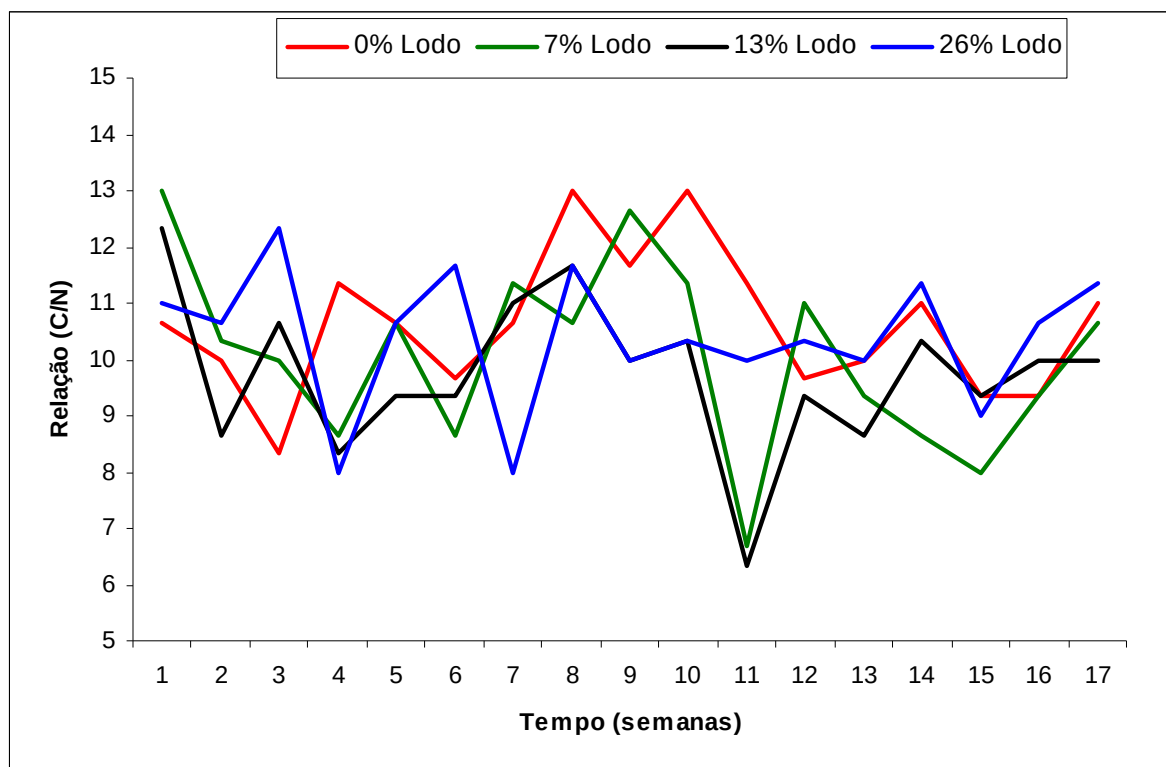


Figura 13. Alterações ocorridas na relação C/N durante o período da compostagem

4.1.4 Condutividade elétrica (CE) dos compostos produzidos

Aos 120 dias foi realizada a análise de CE onde se obteve, em média, os seguintes resultados: (C1 = 3,71dS.cm³), (C2 = 2,67dS.cm³), (C3 = 3,18dS.cm³) e (C4 = 2,59dS.cm³).

Pode-se inferir que o lodo diminuiu a disponibilização de íons na solução do solo agindo como um quelante, analogamente à adubação orgânica (esterco).

O lodo agiu como um fixador de nutrientes, melhorando a estrutura física do solo, diminuindo os efeitos de salinização provocados pela adição de fertilizantes.

Com a adição deste material, o efeito de lixiviação de nutrientes pode ter diminuído, potencializando o uso de fertilizantes.

4.1.5 Teste de avaliação de maturação do composto – Germinação de sementes de alpiste

A maturação do composto pode sinalizar a fase que o material esteja livre de conteúdo fitotóxico e desta forma permitir a germinação de sementes.

A germinação da plântula alpiste (*Phalaris canariensis*) se deu aos 5 dias à partir da sementeira. Na Tabela 7 é possível observar o percentual de germinação das plântulas em função dos 10 de dias considerados no período de avaliação. A Figura 14 demonstra o aspecto visual dos tratamentos estudados no período de emergência das plântulas.

Tabela 7. Porcentagem de emergência de plântulas de alpiste em função dos dias de avaliação.

Dia após a semeadura	Tratamento 1 0% de lodo 100% de jambú	Tratamento 2 7% de lodo 93% de jambú	Tratamento 3 13% de lodo 87% de jambú	Tratamento 4 26% de lodo 74% de jambú
5º	75	52	72	32
6º	75	65	75	37
7º	78	67	75	42
8º	78	70	77	45
9º	90	75	77	47
10º	93	80	77	47



Figura 14. Evolução da germinação do alpiste no período de 10 dias.

Para os tratamentos estudados nas condições do experimento, houve diferenças significativas analisadas através do teste de F a nível de 1% entre os tratamentos C1, C2, C3 e C4. Contudo, somente quando analisados 5 dias após a germinação. Entretanto, o teste foi

significativo a 5% nos 6º, 9º e 10º dias. Nos demais dias, com relação às variáveis analisadas, não houve diferença significativa, conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios da germinação (%) das plantas de alpiste em função dos diferentes tratamentos.

Tratamentos	Épocas de amostragem (dias)					
	5	6	7	8	9	10
C1	75,0 Aa	75,0 Aa	77,5 Aa	77,5 Aa	90,0 Aa	92,5 Aa
C2	52,5 ABa	65 ABa	67,5 Aa	70,0 Aa	75,0 ABa	80,0 ABa
C3	72,5 Aa	75,0 Aa	75,0 Aa	77,5 Aa	77,5 ABa	77,5 ABa
C4	32,5 Ba	37,5 Ba	42,5 Aa	45,0 Aa	47,5 Ba	47,5 Ba

*As letras maiúsculas representam as diferenças da análise de desdobramento entre os tratamentos (C1, C2, C3 e C4), dentro de cada época de amostragem, e as letras minúsculas representam as diferenças da análise de desdobramento entre as épocas de amostragem (dias) dentro de cada tratamento.

Constatou-se pela Figura 15 que houve, com o passar do tempo, uma tendência de aumento nos índices de germinação dos tratamentos C1, C2 e C4. O mesmo não aconteceu com o tratamento C3 que manteve uma estabilidade.

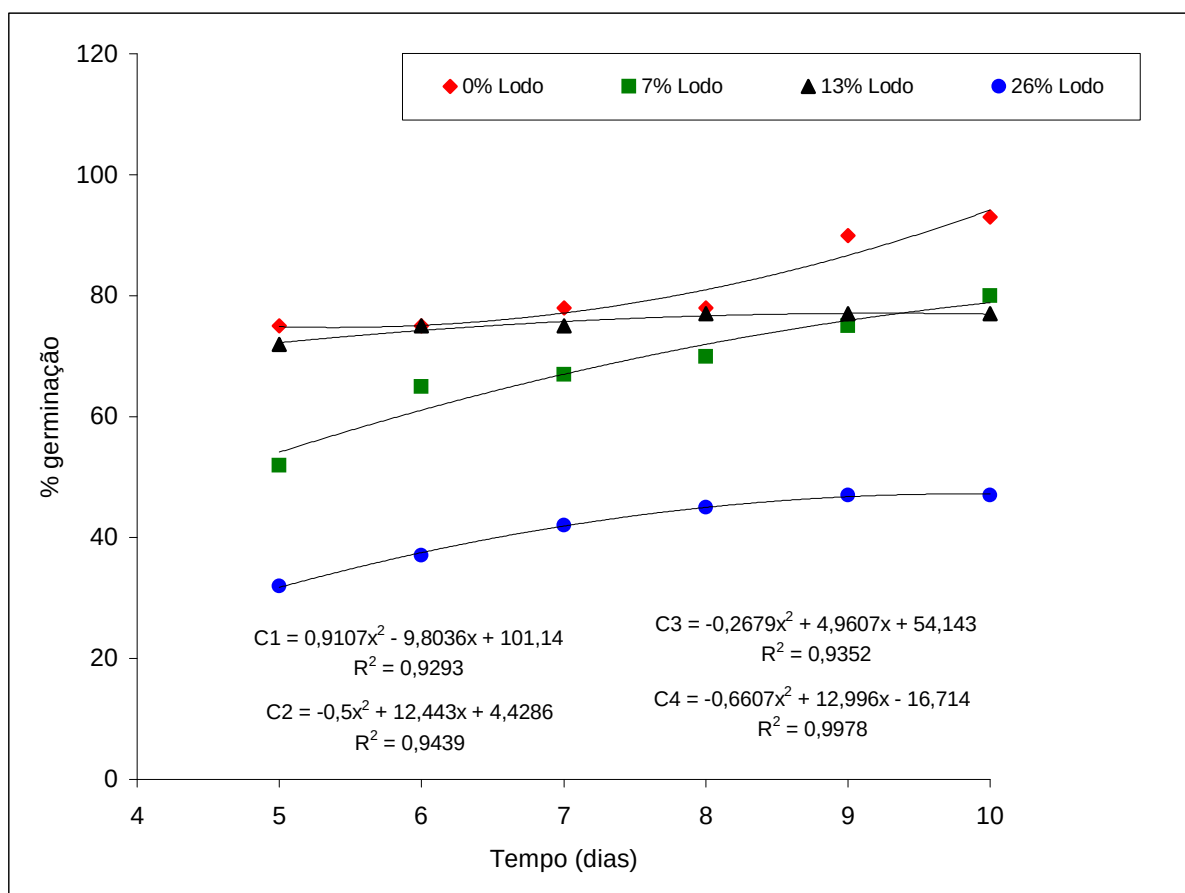


Figura 15. Comportamento da germinação de alpiste em função de diferentes tipos de compostos.

4.1.6 Rendimento do processo de compostagem

Tanto no primeiro dia (formação das pilhas) quanto aos 120 dias do processo de compostagem, foi realizada pesagem (kg) do composto.

Obteve-se como resultado final do processo de compostagem os valores de 76 kg, 83kg, 88kg e 86kg, para os tratamentos C1, C2, C3 e C4, respectivamente. Em termos percentuais tem-se 15,2; 16,6; 17,6 e 17,2 conforme demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9. Rendimento do composto na avaliação de massa final.

Compostos	Peso Inicial	Peso Final	Rendimento
	kg	kg	%
C1	500	76	15,2
C2	500	83	16,6
C3	500	88	17,6
C4	500	86	17,2

A comparação de peso do material no início e no final processo, permite inferir sobre o rendimento na produção do composto. Costa *et al.* (2005) realizaram um estudo para avaliar a redução da massa do material durante o período de compostagem e constataram valores de 12%, 27% e 30% aos 14, 35 e 45 dias da marcha do processo, respectivamente. Silva, F. (2005), aos 120 dias do processo de compostagem, em instalação coberta, verificou no balanço de massa, um rendimento, médio, de 60%.

Portanto, neste experimento, pode-se considerar que ocorreu um baixo rendimento (média de 17%), porém este fato pode ser atribuído, além dos fatores inerentes ao processo de compostagem, também ao alto nível pluviométrico (872 mm), registrado no período do processo. Considerando que as pilhas encontravam-se em ambiente não controlado e que o material foi mantido sobre o solo, na ocorrência de fortes chuvas, o material pode ter sido misturado ao solo ou ainda ter sido carregado pela chuva. Ressalta-se que parte considerável das chuvas ocorria no período noturno, o que impossibilitava, respeitando os horários de acesso à empresa, a cobertura das pilhas.

4.2 Resultado das análises químicas dos compostos

A Tabela 10 apresenta os resultados da análise de nitrogênio, carbono, relação C/N, pH e matéria orgânica realizada no composto aos 120 dias do processo de compostagem.

Tabela 10. Resultado da análise química dos compostos, entre os tratamentos.

Composto	N	C	C/N	pH	MO
C1	1,73 a	21,85 ab	12 a	6,13 d	39,25 ab
C2	1,65 a	28,37 a	18 a	7,36 c	48,50 a
C3	1,19 b	16,55 b	13 a	7,75 b	29,75 c
C4	1,14 b	15,72 b	13 a	8,07 a	28,25 c
Média geral	1,43	20,62	14	7,37	36,43
CV (%)	12,83	27,04	26,59	1,15	22,59

Letras distintas representam médias com diferenças significativas a 5% no teste de Tukey.

Na determinação de N, observa-se que os tratamentos que continham nenhuma ou menor quantidade de lodo na composição (C1 e C2), apresentaram valores mais elevados de nitrogênio. Considerando que este resultado não corresponde ao comumente esperado, pode-se inferir que nos tratamentos com maior concentração de lodo físico-químico (C3 e C4), durante a fase de degradação do lodo, ocorreu a lixiviação em decorrência das fortes chuvas e conseqüentemente maior perda de nitrogênio, ou ainda, devido ao elevado pH parte do nitrogênio tenha se perdido por volatilização.

Já na determinação de carbono observa-se maior coerência nos resultados, considerando que os tratamentos C1 e C2 apresentaram níveis mais elevados de carbono por conter maior percentual de matéria orgânica na sua composição.

A relação C/N não apresentou diferença significativa entre os tratamentos. No entanto, na determinação de pH todos os tratamentos diferiram significativamente entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que à medida que aumentou a concentração de lodo, ocorreu elevação no nível de pH, atingindo parâmetros de alcalinidade.

Resultados parecidos também foram observados na determinação de MO, onde os tratamentos com maior concentração de lodo (C3 e C4) apresentaram valores mais baixos de matéria orgânica e não diferiram estatisticamente entre si no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4.3 Efeito da adubação e calagem do solo utilizado no experimento

Considerando o resultado das análises e que o V% representa a quantidade de nutrientes do solo e capacidade de troca catiônica (CTC) representa a disponibilidade destes nutrientes, pode-se afirmar que a calagem contribuiu para um aumento substancial dos nutrientes do solo, além de permitir uma maior disponibilidade destes nutrientes.

Constatou-se, em função da calagem, o ajuste do P de (2) para (66) mg/dm³; e também dos demais nutrientes com valores expressos em mmol_c/dm³: K de (0,3) para (0,6); Ca de (1) para (32); Mg de (1) para (18), elevando a soma de bases de 2 para 51 mmol_c/dm³.

Entretanto, a quantidade de Alumínio (H+Al) que antes da calagem era de (70), abaixou para (28) mmol_c/dm³ e com este resultado pode-se inferir que o valor da CTC (72) mmol_c/dm³, antes da calagem e adubação, representava uma alta disponibilidade de alumínio no solo e não de nutrientes. Após a calagem ocorreu também uma ligeira elevação do pH: de 4,1 para 5,7.

4.4 Uso dos compostos na produção de alface (*Lactuca sativa* L.)

4.4.1 Produção de matéria fresca e matéria seca

Para efeito de situação prática e melhor aproveitamento do estudo do aproveitamento do lodo físico-químico gerado pelo processo de reciclagem de água da empresa, considerou-se os parâmetros de determinações da matéria seca da parte aérea (MSPA), bem como os da matéria fresca da parte aérea (MFPA) das plantas, de acordo com recomendações de pesquisadores do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, campus de Botucatu.

Considerou-se, também, para efeito de parâmetro de comparação, aplicação da dose zero de composto. Esta situação permite uma melhor condição de avaliação das crescentes aplicações de doses e os seus resultados.

Houve efeito distinto em função do tipo de composto para biomassa fresca e seca da planta, diâmetro das plantas, número de folhas e teor de clorofila. Os compostos com lodo físico-químico em sua composição resultaram em pior desempenho na medida em que se aumentou a concentração deste resíduo, portanto o material composto apenas pelo jambú propiciou melhores resultados (Tabela 11).

Tabela 11. Comparação entre as doses dentro de cada composto e entre as médias dos compostos.

Composto	Dose (t ha ⁻¹)	Biomassa fresca (g planta ⁻¹)	Biomassa 24 horas (g planta ⁻¹)	Biomassa seca (g planta ⁻¹)	Massa raíz (g planta ⁻¹)	Diâmetro (cm)	Número de folhas (unidades)	Clorofila (spad)
0 % lodo	0	40,12 c	32,27 c	2,61 c	1,03 b	18,05 c	11 c	23 a
	45	134,86 b	119,72 b	6,99 b	3,60 ab	28,75 b	17 b	20 a
	90	201,75 a	178,92 a	10,20 a	4,96 a	33,50 a	20 a	23 a
	135	155,26 b	136,58 b	6,88 b	3,95 ab	31,37 ab	19 ab	24 a
média		132,81 A	116,87 A	6,67 A	3,39 A	27,91 A	16 A	22 A
7 % lodo	0	39,23 b	32,24 b	2,81 b	1,02 b	18,03 b	13 b	23 a
	45	106,31 a	93,34 a	4,52 ab	3,30 ab	26,37 a	16 a	19 a
	90	104,99 a	93,67 a	4,39 ab	4,04 ab	28,00 a	16 a	21 a
	135	117,82 a	103,29 a	5,82 a	5,76 a	27,50 a	17 a	20 a
média		92,09 B	80,63 B	4,38 B	3,53 A	24,97 B	15 B	21 A
13 % lodo	0	38,90 b	32,21 b	2,58 b	0,98 b	17,96 b	13 b	17 a
	45	85,76 a	75,43 a	5,33 a	3,32 ab	26,00 a	15 a	18 a
	90	91,68 a	80,14 a	4,44 ab	5,47 a	24,75 a	16 a	19 a
	135	97,53 a	84,71 a	4,47 ab	5,64 a	26,50 a	16 a	17 a
média		78,47 C	68,12 C	4,21 B	3,85 A	23,80 B	15B	18 B
26 % lodo	0	39,23 b	32,17 b	2,59 a	0,96 b	17,95 b	11 b	23 a
	45	60,51 a	51,66 a	1,95 a	2,27 b	21,87 a	15 a	20 a
	90	65,26 a	55,92 a	1,65 a	1,34 b	22,33 a	14 a	21 a
	135	67,33 a	58,60 a	2,64 a	5,00 a	22,27 a	14 a	20 a
média		58,08 D	49,59 D	2,21 C	2,39 A	21,10 C	13 C	21 A
CV (%)		12,13	12,85	12,13	53,56	6,93	6,93	13,28

Letras minúsculas comparam médias das doses dentro de cada composto. Letras maiúsculas comparam médias entre os compostos. Letras distintas representam médias com diferença significativa a 5% no teste de Tukey.

O efeito das doses também foi significativo, embora para a medida indireta de clorofila (em unidades SPAD) não houve diferença entre elas, apenas para os compostos. Os vasos que não receberam composto orgânico (dose 0) serviram de testemunha para o experimento. Neles observou-se que as plantas sempre apresentaram resultados significativamente inferiores, confirmando o efeito benéfico da adição de composto ao solo com finalidade agrônômica, constatando que até mesmo o pior dos tratamentos (composto e dose) foi melhor do que se não fosse realizada qualquer aplicação de composto orgânico nos vasos.

Para biomassa fresca e biomassa 24 horas os compostos tiveram desempenho semelhante ocorrendo decréscimo (em gramas) à medida que aumentou a quantidade de lodo físico-químico no composto. A biomassa fresca das plantas provenientes do tratamento com

0% de lodo no composto foi, em média, de 132,81 g enquanto a média no tratamento com presença de 26% de lodo foi de apenas 58,08 g, isto significa uma diferença superior a 50% em material comercializável. Ainda comparando estes dois tratamentos, para a biomassa determinada um dia após a colheita (biomassa 24 horas), a perda de água das plantas foi de 12,12% contra 14,61% respectivamente, sugerindo que estas plantas além, de possuírem menor massa, ainda apresentam maior capacidade de desidratação em pouco tempo de prateleira, o que significa menor valor de comercialização.

As doses apresentaram os mesmos resultados para estas duas características avaliadas. Para os compostos contendo 7% e 13% de lodo as doses de 45, 90 e 135 t ha⁻¹ tiveram o mesmo desempenho, não diferindo estatisticamente, no entanto sempre obtendo resultados superiores a dose 0 t ha⁻¹ (sem composto). No tratamento que recebeu o composto com 26% de lodo, observou-se que na dose de 45 t ha⁻¹ os resultados foram inferiores as demais, mas ainda superiores a dose 0, confirmando que mesmo um composto com alto teor de lodo físico-químico utilizado em pequena quantidade foi suficiente para agregar peso em plantas de alface (biomassa fresca e biomassa 24 horas).

A média da biomassa seca nos tratamentos com compostos contendo 7% e 13% de lodo apresentou resultados semelhantes entre si, já com 26% a média foi de apenas 2,21g contra 6,67g do tratamento com 0% de lodo no composto.

Tanto para biomassa fresca quanto para biomassa seca, além de biomassa após 24 horas da colheita, o composto sem lodo físico-químico na dose de 90 t ha⁻¹ foi o tratamento que trouxe melhor resultado comparado aos demais.

A massa das raízes (g) foi favorecida pela dose de 135 t ha⁻¹ nos tratamentos contendo lodo físico-químico, já na ausência deste, a dose de 90 t ha⁻¹ foi suficiente para que as raízes tivessem o mesmo ganho de massa. Na média, o efeito dos compostos para esta característica foi semelhante.

O diâmetro das plantas foi favorecido pela adição dos compostos com 7, 13 e 26% de lodo e as doses tiveram o mesmo desempenho diferindo apenas do tratamento sem composto (dose 0). No tratamento com 0% de lodo a melhor dose foi a de 90 t ha⁻¹ mais uma vez. Para o número de folhas os tratamentos comportaram-se da mesma forma.

Para auxiliar na explicação dos resultados, tomou-se por base a análise química dos compostos, a qual revelou que o composto formado apenas por jambú apresentava maior concentração de nitrogênio e uma menor relação C/N (12/1), possibilitando partir para a hipótese de que este composto estaria liberando nutrientes mais rapidamente para a cultura da

alface, a qual possui um ciclo bastante curto. O trabalho de Villas Bôas *et al.* (2004) apresentou resultados semelhantes.

Na Figura 16 (itens A, B, C, D, E e F), é possível observar graficamente o desempenho dos compostos, com as devidas proporções de lodo na mistura, em função das doses avaliadas, quando aplicadas na alface.

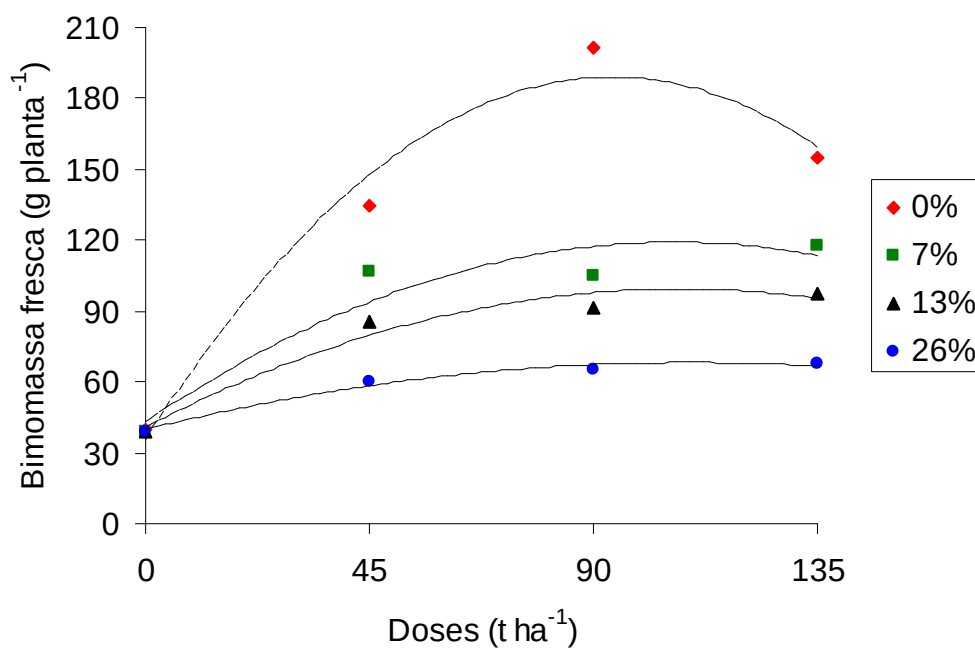


Figura 16-A. Desempenho da biomassa fresca (g planta⁻¹) em função das doses avaliadas.

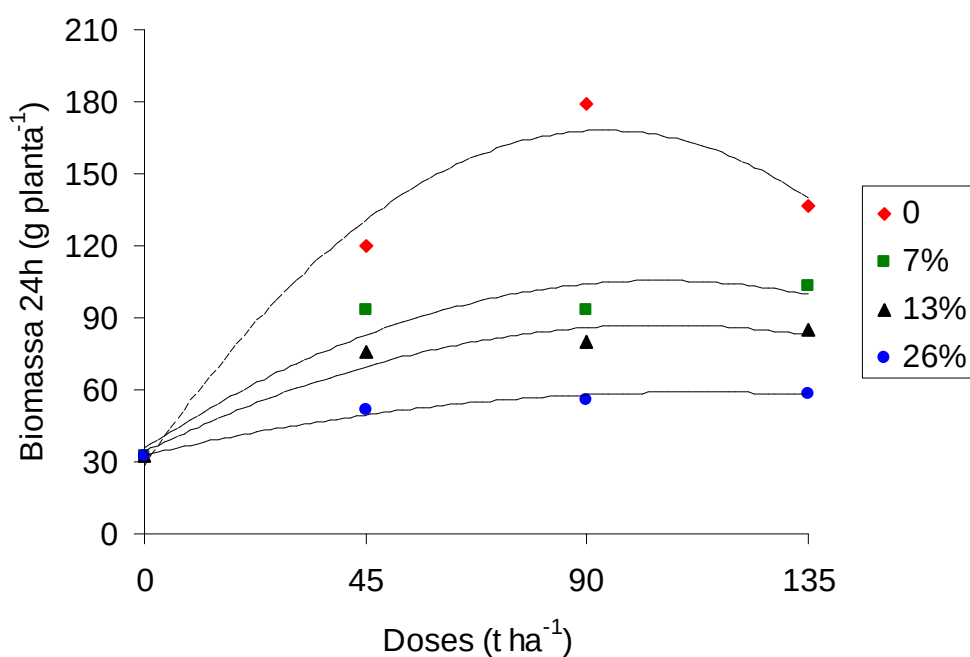


Figura 16-B. Desempenho da biomassa 24h (g planta⁻¹) em função das doses avaliadas.

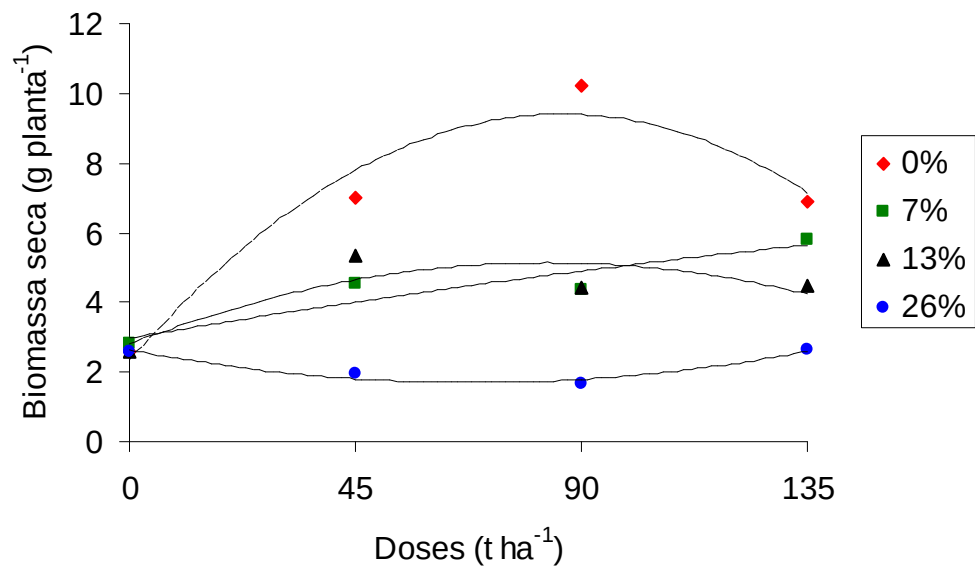


Figura 16-C. Desempenho da biomassa seca (g planta⁻¹) em função das doses avaliadas.

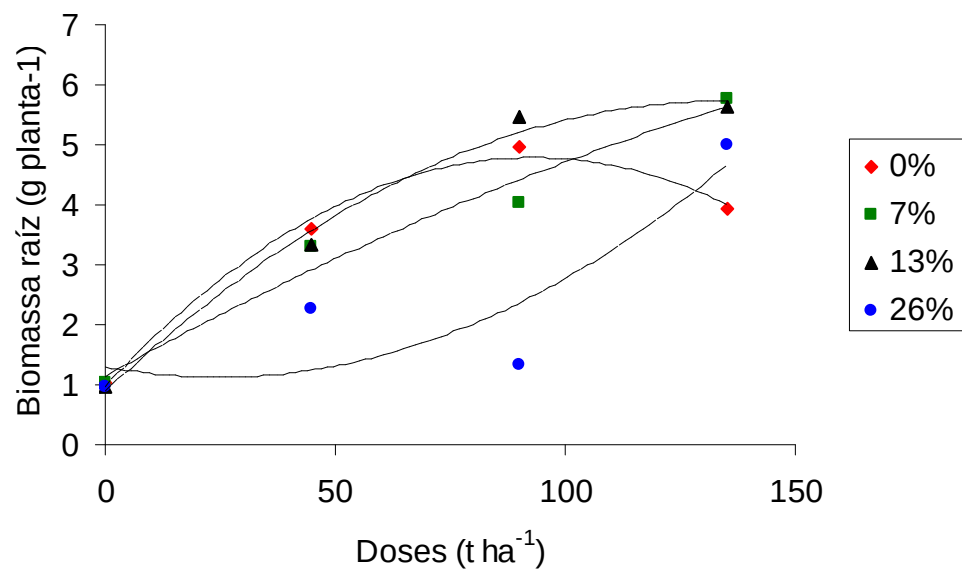


Figura 16-D. Desempenho da biomassa raiz (g planta⁻¹) em função das doses avaliadas.

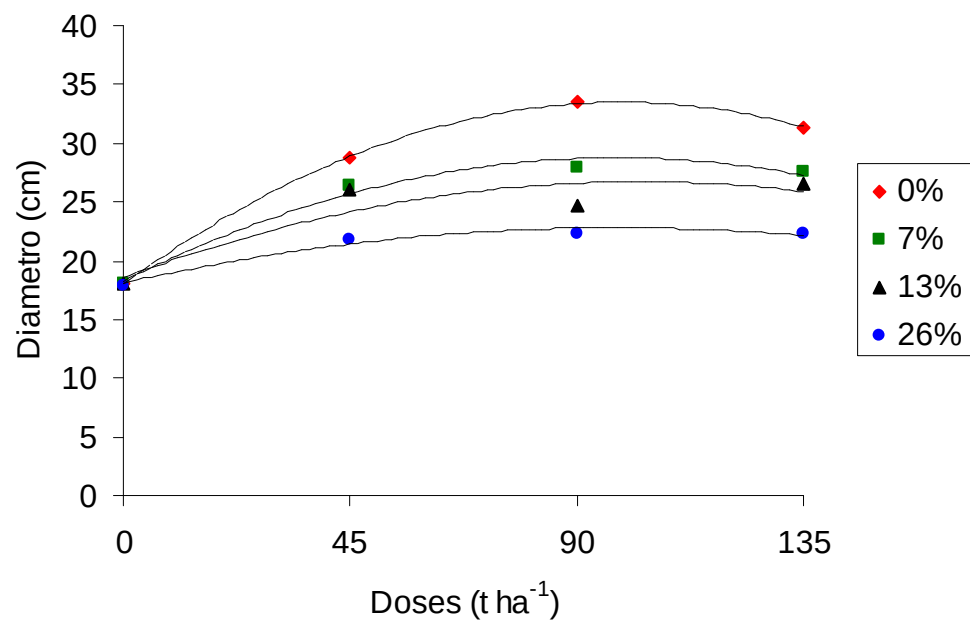


Figura 16-E. Desempenho do diâmetro das plantas em função das doses avaliadas.

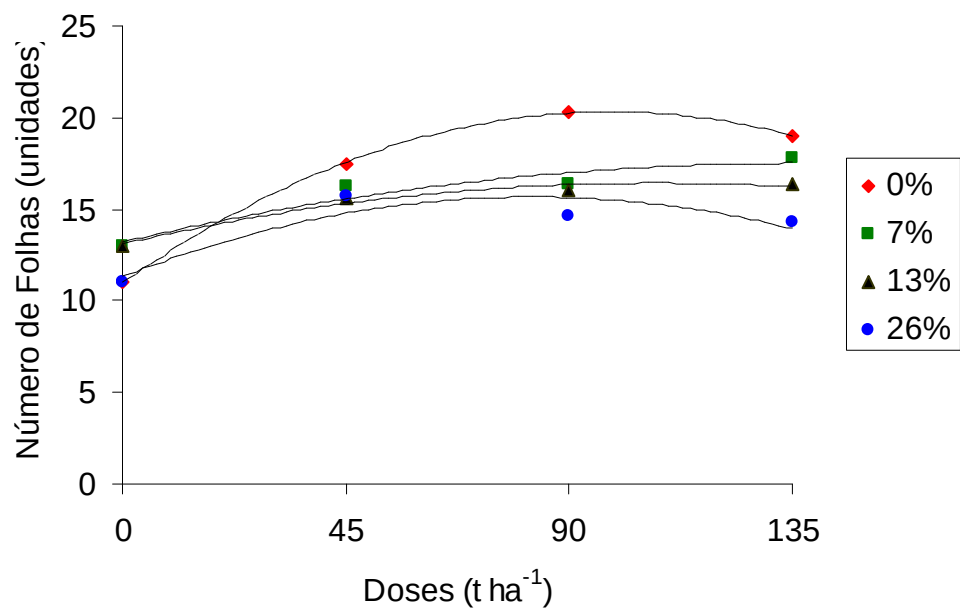


Figura 16-F. Desempenho do número de folhas das plantas (unid.) em função das doses avaliadas.

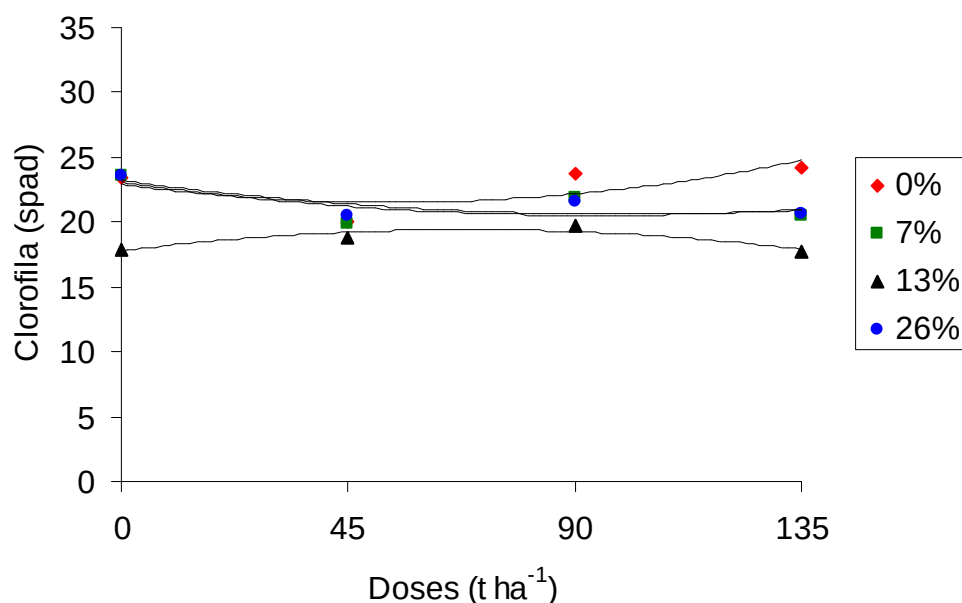


Figura 16-G. Desempenho da clorofila das plantas (spad) em função das doses avaliadas.

4.4.2 Rendimento na produção da alface

O tratamento C1 apresentou o maior rendimento de biomassa fresca (202 g planta⁻¹), e um fator de correlação (R^2) de 98%, sendo significativo a 1% no teste de Tukey (Tabela 12). Observa-se que a dose três (90 t ha⁻¹) foi a que demonstrou o melhor resultado.

Com relação à variação de biomassa determinada 24 horas após a colheita, ocorreu um comportamento similar ao observado com a biomassa fresca, sendo o tratamento C1 dose três o de maior rendimento (179 g planta⁻¹) e ($R^2 = 98\%$), também significativo a 1% no teste de Tukey.

A biomassa seca proporcionou uma produção de (10 g planta⁻¹) para o tratamento C1 dose três, neste caso, também considerado o de melhor rendimento. No entanto, deve-se considerar que o período de secagem em estufa foi de 72 horas, e considerando que tratamento C1 apresentava o maior valor de biomassa fresca e, conseqüentemente, uma maior concentração de água, pode-se inferir que se caso houvesse um período de tempo maior de secagem em estufa, talvez, ocorresse uma desidratação, deste tratamento, um pouco maior.

A biomassa de raiz não deve ser considerada um bom parâmetro de indicação de rendimento do processo, pois algumas variáveis influenciam na sua determinação de peso. Deve-se considerar que, tanto no momento da sua retirada dos vasos, quanto na sua lavagem, ocorre algumas perdas de partes do material, em função da própria sensibilidade de sua estrutura.

Por meio da contagem do número de folhas (unidades), foi possível acrescentar maiores evidências de que o tratamento C1 dose três apresentou o melhor rendimento quando comparado aos demais e suas respectivas doses. O mesmo resultou em 20 unidades e um ($R^2 = 99\%$)

O tamanho da circunferência das plantas de alface também pode ser considerado um bom parâmetro de comparação de desempenho entre os tratamentos estudados. Percebe-se que o tratamento C1 com a dose três apresentou o melhor rendimento neste tipo de determinação, atingindo um diâmetro médio de 33,50 (cm) e ($R^2 = 99\%$), também significativo a 1% no teste de Tukey.

Pela intensidade da cor verde das folhas é possível avaliar a relação C/N das plantas, sendo que neste estudo observou-se que o tratamento C1 também apresentou o melhor rendimento (24,25 SPAD), no entanto foi com aplicação da dose quatro (135 t ha^{-1}), que se obteve este resultado. Villas Bôas et al (2004), estudando o uso do composto da palhada de feijão na cultura da alface e fazendo uso do clorofilômetro notaram um decréscimo nos teores de clorofila da planta e a perda do conteúdo nutricional ao longo do ciclo.

Tabela 12. Equações obtidas através da análise de regressão seguida dos respectivos coeficientes de determinação (R^2).

	Composto	Equação	R^2	significativo
Biomassa Fresca	0% lodo	$y = -0,0174x^2 + 3,2701x + 35,844$	0,98	1%
	7% lodo	$y = -0,0067x^2 + 1,4253x + 43,359$	0,91	1%
	13% lodo	$y = -0,0051x^2 + 1,0875x + 40,943$	0,96	1%
	26% lodo	$y = -0,0024x^2 + 0,5181x + 39,923$	0,97	5%
Biomassa 24 horas	0% lodo	$y = -0,016x^2 + 2,99x + 28,606$	0,98	1%
	7% lodo	$y = -0,0064x^2 + 1,3324x + 35,743$	0,92	1%
	13% lodo	$y = -0,0048x^2 + 1,0046x + 34,129$	0,95	1%
	26% lodo	$y = -0,0021x^2 + 0,4658x + 32,853$	0,97	5%
Biomassa Seca	0% lodo	$y = -0,001x^2 + 0,1639x + 2,342$	0,95	1%
	7% lodo	$y = -0,0005x^2 + 0,0244x + 2,98$	0,87	NS
	13% lodo	$y = -0,0003x^2 + 0,056x + 2,808$	0,74	1%
	26% lodo	$y = 0,0002x^2 - 0,0275x + 2,6375$	0,93	5%
Massa Raíz	0% lodo	$y = -0,0004x^2 + 0,0819x + 0,9815$	0,99	NS
	7% lodo	$y = -0,0005x^2 + 0,0426x + 1,146$	0,97	NS
	13% lodo	$y = -0,0003x^2 + 0,072x + 0,8905$	0,98	1%
	26% lodo	$y = 0,0003x^2 - 0,0143x + 1,3015$	0,76	1%
Diâmetro	0% lodo	$y = -0,0016x^2 + 0,3132x + 18,004$	0,99	1%
	7% lodo	$y = -0,0011x^2 + 0,2141x + 18,259$	0,98	1%
	13% lodo	$y = -0,0008x^2 + 0,159x + 18,575$	0,83	1%
	26% lodo	$y = -0,0005x^2 + 0,0962x + 18,097$	0,96	1%
Número de folhas	0% lodo	$y = -0,001x^2 + 0,1901x + 10,976$	0,99	1%
	7% lodo	$y = -0,0002x^2 + 0,0623x + 13,226$	0,91	1%
	13% lodo	$y = -0,0003x^2 + 0,0618x + 13,116$	0,96	5%
	26% lodo	$y = -0,0006x^2 + 0,1054x + 11,325$	0,83	NS
Clorofila	0% lodo	$y = 0,0005x^2 - 0,0517x + 22,914$	0,52	NS
	7% lodo	$y = 0,0003x^2 - 0,0538x + 23,064$	0,46	NS
	13% lodo	$y = -0,0003x^2 + 0,0474x + 17,802$	0,79	NS
	26% lodo	$y = 0,0003x^2 - 0,0518x + 23,212$	0,66	NS

4.4.3 Avaliação química do solo após o transplântio da alface

Algumas propriedades químicas dos solos (Tabela 13), coletadas ao final do experimento, também auxiliam a explicar os resultados obtidos. O lodo físico-químico utilizado apresentava um pH alcalino, o qual acabou interferindo negativamente na característica do solo posteriormente. Nota-se que o pH nos solos que receberam mais lodo apresentaram níveis muito elevados para os padrões agrônômicos, mesmo para a alface, que é uma planta que tolera pH próximos da neutralidade.

A capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos sofreu grande incremento em função da presença de lodo, possibilitando aproveitar melhor os minerais que foram adicionados ao solo na forma de fertilizantes. Entretanto, como este material físico-químico apresenta uma degradação muito lenta, em função de sua estrutura e outras propriedades particulares, a disponibilização destes minerais às plantas ocorre muito lentamente.

Considerando que o ciclo da alface (45 dias) é extremamente rápido, não houve tempo suficiente para que os minerais presentes no solo fossem aproveitados como nutrientes pelas plantas, acarretando no menor desenvolvimento observado nos tratamentos com alta concentração de lodo incorporado ao composto orgânico.

Os mesmos tratamentos poderiam ser testados para culturas de ciclo mais prolongado, onde possivelmente quanto maior quantidade de lodo melhor seria desenvolvimento das plantas em função da disponibilização de nutrientes lentamente durante todo o desenvolvimento da planta.

Também, para provar esta teoria, um novo cultivo de alface poderia ser colocado nas mesmas condições experimentais, onde possivelmente seria verificado um melhor aproveitamento nos minerais presentes nos solos, acarretando em um melhor desenvolvimento desta cultura.

Tabela 13. Propriedades do solo 50 dias após o transplante das mudas de alface.

Tratamento	Dose (t ha⁻¹)	pH (CaCl₂)	MO (g dm⁻³)	CTC	V%
0 % lodo	0	6,0 b	23 c	112 a	77 c
	45	5,7 c	33 b	103 a	72 c
	90	6,0 b	36 ab	131 a	81 b
	135	6,2 a	42 a	142 a	85 a
média		6,0 D	33 A	122 C	79 D
7 % lodo	0	6,0 d	24 b	114 b	74 a
	45	6,6 c	28 ab	142 ab	87 b
	90	6,9 b	27 b	156 ab	90 b
	135	7,2 a	34 a	212 a	94 a
média		6,7 C	28 B	156 BC	86 C
13 % lodo	0	5,9 c	25 b	114 c	77 c
	45	6,9 b	27 b	147 bc	90 b
	90	7,3 a	29 ab	197 b	94 a
	135	7,4 a	35 a	270 a	96 a
média		6,9 B	29 B	182 B	89 B
26 % lodo	0	5,9 c	24 b	112 c	76 b
	45	7,5 ab	31 a	222 b	95 a
	90	7,3 b	28 ab	273 ab	95 a
	135	7,6 a	34 a	326 a	97 a
média		7,1 A	29 B	233 A	91 A
CV (%)		1,63	11,56	22,02	1,87

Letras minúsculas comparam médias das doses dentro de cada composto. Letras maiúsculas comparam médias entre os compostos. Letras distintas representam médias com diferença significativa a 5% no teste de Tukey.

4.4.4 Efeito visual da interação entre doses e compostos

Na Figura 17 é possível visualizar os efeitos da variação no desenvolvimento das plantas da aplicação das quatro diferentes doses dos quatro compostos.

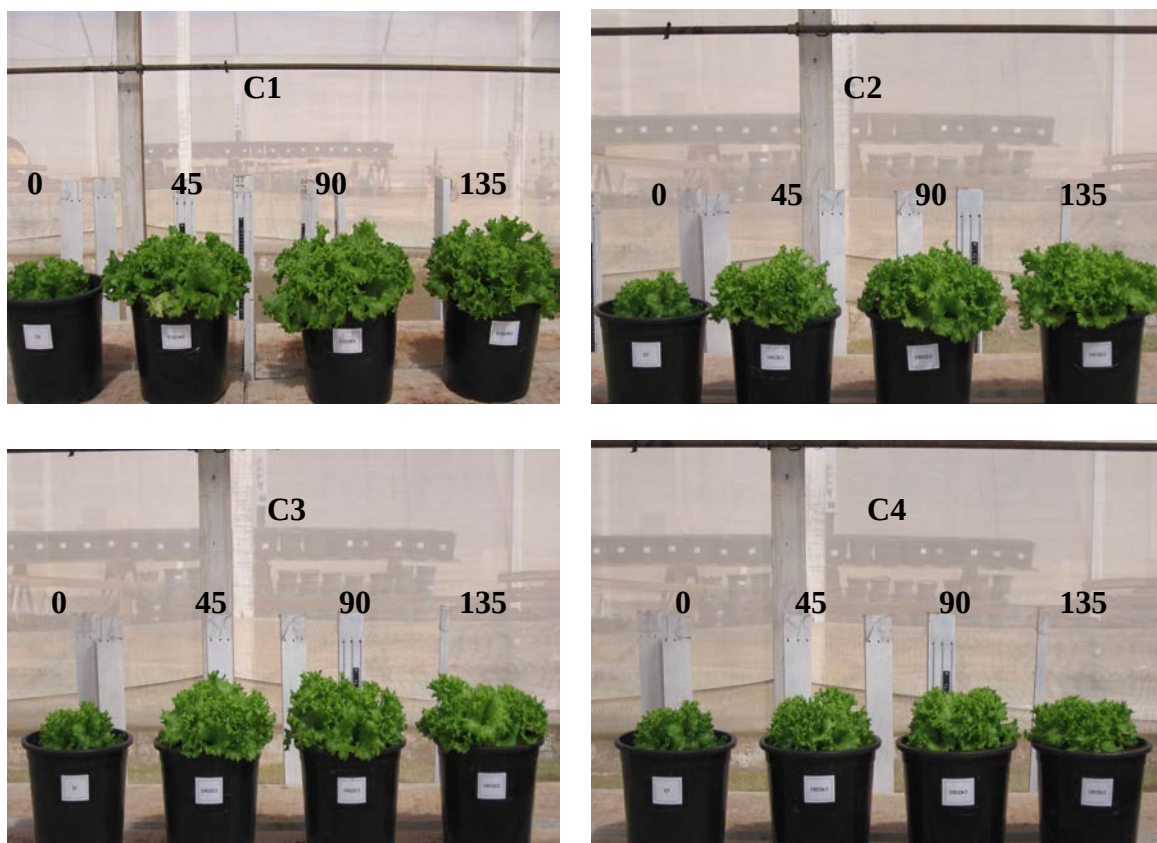


Figura 17. Plantas de alface antes da colheita (doses em $t\ ha^{-1}$) comparadas em quatro tratamentos.

Devido ao ciclo curto da cultura e a lenta mineralização do lodo físico-químico e, conseqüentemente, o menor fornecimento de nutrientes para as plantas, os tratamentos que continham este material agregado ao composto (C2, C3 e C4) apresentaram resultados inferiores, constatando que elevando a dose de lodo físico-químico ocorreu um decréscimo em termos de resposta pelas plantas.

Faria *et al.* (1994), *apud* Fernandes (2001), estudando a aplicação de esterco de curral na dose de $15m^3/ha$ no melão, concluiu que não apresentou vantagens devido ao ciclo curto da cultura, não havendo tempo para a decomposição completa da matéria orgânica. Então, para que um determinado elemento presente no solo possa ser absorvido pelas plantas, há a necessidade de o mesmo se encontrar em forma disponível, ou seja, solúvel na solução

do solo de forma a ocorrer o sincronismo entre a decomposição e a mineralização dos resíduos (CAMILOTTI *et al.*, 2007; FONTANÉTTI *et al.*, 2006).

Tal como no experimento realizado por Faria *et al.* (1994) *apud* Fernandes (2001), neste trabalho nem mesmo a avaliação das doses para estes compostos apresentou diferenças significativas, comprovando que a decomposição do lodo físico-químico no solo é realmente lenta.

Para o composto que apresentava apenas o material orgânico na sua composição (C1), houve diferença significativa para as doses estudadas. A dose três (90 t ha⁻¹) destacou-se das demais.

4.5 Benefícios e oportunidades de melhoria para a empresa em função dos resultados.

Buscou-se com este trabalho gerar e avaliar alternativas ambientalmente corretas para uma destinação adequada para o lodo físico-químico, considerando que este resíduo, atualmente, é enviado, em sua totalidade, para o aterro na cidade de Paulínia/SP.

Para efeito de melhor compreensão, podem-se destacar os benefícios e as oportunidades de melhorias em duas categorias, sendo:

(a) Ambientais:

Fazendo uso da compostagem e aplicando o lodo físico-químico na mistura, a empresa deixa de enviar este resíduo para o aterro e passa a tratar este resíduo na fonte geradora, aprimorando as suas estratégias com foco na sustentabilidade e o seu modelo de gestão ambiental. Esta empresa tem no uso sustentável da biodiversidade, um de seus pilares e o grupo pretende continuar com a estratégia de sustentabilidade, uma vez que, os gestores da empresa consideram se tratar de uma tendência mundial (FERRO *et al.*, 2006).

Com relação às certificações ambientais, este procedimento fornece um grande benefício numa futura implantação de um Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA), além de contribuir para uma posterior auditoria pela NBR/ISO 14000 no SGA para a certificação e manutenção do sistema, pois, de acordo com Harres (2004), entre os 16 princípios básicos que contemplam as normas ISO série 14000, encontra-se o uso sustentável dos recursos renováveis, a minimização da geração de resíduos e a sua disposição segura e responsável.

Praticando a tecnologia para o aproveitamento do resíduo, proposta neste trabalho, a empresa deixa de realizar o transporte rodoviário deste resíduo para o aterro e,

consequentemente, contribui para a redução da emissão de gás carbônico (CO_2) para a atmosfera.

(b) Econômicos:

Alguns custos incidem diretamente na manutenção e destinação atual do lodo físico-químico. Dentre estes custos, de acordo com informações fornecidas pelo departamento de manutenção da empresa, destacam-se:

Consumo da cal: A empresa consome 120 kg/dia de cal, sendo metade deste consumo destinado para o tratamento da água e outra metade utilizada para o processo de prensagem do lodo físico-químico. Ressalta-se que a prensagem deste resíduo, é necessária em função da necessidade de compactação do material para facilitação do transporte e permissão para disposição deste resíduo no aterro, pois o mesmo tem sua origem na forma líquida. Para este processo de prensagem o custo é cerca de: R\$ 11.388,00/ano (21.900kg/ano x R\$ 0,52/unid.).

Oportunidade de melhoria para este processo: Estudar a possibilidade técnica e a viabilidade econômica da utilização do lodo físico-químico no estado líquido, evitando a prensagem com posterior “esmagamento” do resíduo para o processo de compostagem. Na Figura 18 é possível observar o lodo nos dois diferentes estados da matéria.



Figura 18. Lodo em diferentes estados da matéria: sólido e líquido.

Mensalmente é realizado o transporte do lodo físico-químico para o aterro na cidade de Paulínia/SP. Os custos deste processo incluem o pagamento da transportadora + um veículo da empresa conduzido pelo funcionário responsável por este procedimento, totalizando um valor de R\$ 25.680,00/ano.

O processo de prensagem do lodo físico-químico é realizado por equipamento (Figura 19) composto por placas e filtros, sendo que mensalmente são realizadas manutenções e eventuais substituições, por fadiga e desgaste, destes componentes. Além do custo da manutenção, este equipamento demanda um dispêndio de energia elétrica, totalizando um custo do processo no valor de R\$ 4.000/ano. No caso do reaproveitamento do lodo na forma líquida, este equipamento poderá ser desativado, onde consequentemente contribuirá para a redução de custos decorrentes deste processo.



Figura19. Equipamento utilizado no processo de filtragem e prensagem do lodo.

5 CONCLUSÕES

Nas condições do experimento, observou-se que o composto produzido com 100% de jambú e 0% lodo físico-químico com a dose de 90 t ha⁻¹ foi o que obteve o melhor rendimento na aplicação da cultura da alface.

Constatou-se também que os tratamentos que continham na sua composição, uma maior concentração de lodo apresentaram uma inibição no desenvolvimento da planta.

A compostagem pode ser considerada uma alternativa ambientalmente correta para estes resíduos, com possibilidade do uso agrícola destes compostos.

Com base nos resultados obtidos, foi possível avaliar que existe a necessidade de repensar o processo produtivo de forma a minimizar a geração dos resíduos.

A produção de compostos orgânicos derivados destes resíduos permite o aproveitamento dos mesmos e eliminação do envio para aterro. Esta técnica contribui para uma proposta ecologicamente correta e economicamente viável para a empresa, estando de acordo com as suas estratégias de sustentabilidade ambiental e preservação ecológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGNER, T.C.V. **Eco-eficiência baseada nos princípios da produção mais limpa**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Ponta Grossa, Paraná, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Disponível em: <<http://www.abnt.org.br/notatecnicaconsolidadofinal.pdf>>. Acesso em 12 jul. 2007.

AJWA, H.A.; TABATABAI, M.A. Decomposition of different organic materials in soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v.18, p.175-182, september. 1994. ISSN 1432-0789. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/nj6k80u7382>>. Acesso em: 05 out. 2007.

AMORIM, A. C.; LUCAS JUNIOR, J. de; RESENDE, K. T. de. Composting and vermicomposting caprine dejections: effect of season. **Engenharia. Agrícola.**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, jan-apr. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em: 06/06/2007.

ANTUNES, P. B. **Direito ambiental**, 8ª ed. Editora Lumem Juris, Rio de Janeiro, RJ. 2005. 940p.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R.; CARDOSO, P. Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, vol. 40, nº 6, p.549-554. Jun. 2005. ISSN 0100-204X. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v40n6/24832.pdf>>. Acesso em 12/07/2007.

BACKES, C.; LIMA, C. P. de. Uso de Esgoto e ajifer na produção de gramas. In. Simpósio sobre gramados, IV., 2008, Botucatu, **Anais ...** Botucatu: UNESP-FCA, 2008.

BANZATTO, D. A; KRONKA, S. N.; **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 1989. 247p.

BARATA, M. M. de L.; KLIGERMAN, D. C.; MINAYO, G. C. A gestão ambiental no setor público: uma questão de relevância social e econômica. **Ciência & Saúde Coletiva**. vol.12, n.1, Rio de Janeiro, jan-mar. 2007. ISSN 1413-8123. Disponível em: <<http://www.scielo.org.php?pid=s1413-81232007000100019>>. Acesso em 28/03/2008.

BARBOSA, L. T. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no norte de Minas Gerais: Estudo relativo a implantação de unidades de reciclagem e compostagem a partir de 1997**. 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte. Minas Gerais, 2004.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do Estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. 187 f. Tese (Doutorado em saúde ambiental). Universidade de São Paulo - USP, São Paulo-SP, 2005.

BELTRAME, K. G.; CARVALHO, F. J. de C. Comparação de padrões de qualidade de composto orgânico entre diferentes países. In: **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu, São Paulo. Fepaf, 2006. p.118-137. cap.5. 319p.

BERTOLDI, M. de; FERRANTINI M. P.; L'HERMITE; ZUCCONI, F. Compost: Production, quality, and use. New York: **Elsevier Applied Science**, 1986. 250p.

BIDLINGMAIER, I. W. Quality-testing of waste sewage sludge composts. **Acta Hort.** ISHS 172:99-116, 1985. Disponível em: <<http://www.actahort.org/books/172/172-10.htm>>. Acesso em: 25 nov. 2007.

BLISKA JR, A. **Alface (*Lactuca sativa* L.): Distintos sistemas de produção, conservação e avaliação pós-colheita**. 1988. 95p Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas – SP. 1988.

CAMILOTTI, F.; MARQUES, M. O.; ANDRIOLI, I.; SILVA, A. R. da; TASSO JUNIOR, L. C.; NOBILE, F. O. Acúmulo de metais pesados em cana-de-açúcar mediante a aplicações de lodo de esgoto e vinhaça. **Revista Engenharia Agrícola**, vol. 27 nº 1, Jaboticabal. Jan/Abr. 2007. ISSN: 0100-6916.

CAMPIOLO, F. A.; SILVA, F. F. Orgânicos: garantia de saúde e possibilidade de sucesso econômico para o Brasil. **Revista Cesumar – Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**. jul/dez. 2006. v. 11, n.2, p. 145-165.

CARNEIRO, I. F.. **Competição entre a cultura do repolho (*Brassica oleracea* var *capitata* L.) e a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) em cultivo misto e em diferentes densidades de população**. 1981. 69p. Dissertação (Mestrado em fitotecnia). Escola Superior de Agricultura – ESALQ/USP, Piracicaba. 1981.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS (CNTL). Disponível em: <<http://www.senairs.org.br/cntl/>>. Acesso em 11/04/2008.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Tecnologia/producao_limpa/apresentacao.asp>. Acesso em 10/07/2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA) - disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res31302.html>>. Acesso em 12/07/2007.

CORAZZA, R. I. Gestão ambiental e mudanças da estrutura organizacional. **RAE-eletrônica**. v.2, n.2, jul-dez. 2003. ISSN: 1676-5648. Disponível em <<http://www.rae.com.br/electronica/index>>. Acesso em 28/03/2008.

CORTI, C.; CRIPPA, L. Compost use in plant nurseries: hydrological na physicochemical characteristiscs. **Compost Science and Utilization**. v.6: 35-45, 1998. ISSN: 1065-657X

COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, L. A. de M.; OLIBONE, D.; RODER, C.; BURIN, A.; KAUFMANN, A. V.; ORTOLAN, M. L. Aeration effects at the first stage of poultry carcasses composting. **Engenharia. Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, 2005. ISSN: 0100-6916. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162005000200029&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06 July 2007.

CUNHA, A.R., KLOSOWSKI, E.S., GALVANI, E., SCOBEDO, J.F., MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu-SP, segundo Koppen. In Simpósio em energia na agricultura, 1, 1999, Botucatu. **Anais 1...** Botucatu: UNESP-FCA, 1999. p.487-491.

DAMATTO JUNIOR, E. R.; VILLAS BÔAS, R. L.; LEONEL, S.; FERNANDES, D. M. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. **Rev. Bras. Fruticultura**. vol.28 n.3. Jaboticabal. dec. 2006. ISSN: 0100-2945.

DAVIES, J. What's the point of ISO 14001? **Science Direct**. 2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VJB-4GG826P-H&_user=9720>. Acesso em 12/07/2007.

DIAS, B. de O. **Caracterização da matéria orgânica de lotossolo sob aplicação continuada de lodo de esgoto**. 2005. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras – UFMG. Lavras, MG. 2005.

DIAZ, C. A. P.; PIRES, S. R. I. Produção Mais Limpa: Integrando Meio Ambiente e Produtividade. **RACRE - Revista de Administração**. 2005. vol. 5. n. 9. ISSN: 1808-8406. Disponível em <<http://www.unipinhal.edu.br/ojs/racre/viewarticle.php?id=8>>. Acesso em 06-07-07.

DINIZ FILHO, E. T.; MESQUITA, L. X. de; OLIVEIRA, A. M.; NUNES, C. G. F.; LIRA, J. F. B. A prática da compostagem no manejo sustentável de solos. **Revista Verde**. Mossoró – RN. v.2, n. 2, p 27-36. jul-dez, 2007. ISSN: 1981-8203.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412p.

FERNANDES, A. L. T. **Fertirrigação na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando fertilizantes organominerais e químicos**. 2001. 93 f. Tese (Doutorado em engenharia agrícola). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP.2001.

FERRAZ JUNIOR, A. S. L.; SOUZA, S. R. de; CASTRO, S. R. P. de; Renata B. PEREIRA, R. B. Adubação de alface com lodo de esgoto de cervejaria. **Horticultura Brasileira**. vol.21 no.1 Brasília Jan./Mar. 2003.

FERRO, A. F. P.; BONACELLI, M. B. M.; ASSAD, A. L. D. Technological opportunities and competitive strategies of environmental management: the sustainable use the Brazilian biodiversity. **Gestão & Produção**. vol.13. no.3 São Carlos, sept-dec. 2006 – ISSN 0104-530X.

FIORILLO, C. A. P. **Curso de direito ambiental brasileiro**, 6ª ed., editora Saraiva, São Paulo, SP. 2005. 488p.

FONTENELE, S. B.; GUIMARÃES, J. L. S.; SABIÁ, J. R. Legislação ambiental versus tecnologia limpa: uma reflexão junto ao setor industrial do Triângulo Crajubar – CE. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ENEGEPE, XXVI, 2006, **Anais eletrônicos ...** Fortaleza CE. Disponível em <<http://www.abepro.org.br>> Acesso em 22 Abril de 2007.

FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G.J de; GOMES, L. A. A.; ALMEIDA, K de; MORAES, S. R. G de; TEIXEIRA, C. M. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. **Horticultura Brasileira**. vol.24 no.2 Brasília, abr-jun. 2006. ISSN: 0102-0536.

FUNDAÇÃO VANZOLINI. **Produção e Tecnologias Limpas**. Boletim Fundação Vanzolini. Ano IX. Número 42. Departamento de Engenharia de Produção – Escola Politécnica da USP, 2000.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. 8ª ed., editora Pioneira Thomson Learning, São Paulo, SP. 2002. 597p.

GHINI, R.; SCHOENMAKER, I. A. S.; BETTIOL, W. Solarização do solo e incorporação de fontes de matéria orgânica. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.37, n.9, p.1253-1261, set. 2002.

HARRES, E. M. **Gestão ambiental industrial: perspectivas, possibilidade e limitações**. 2004. Tese (Doutorado em meio ambiente e desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, 2004.

HEREDIA, Z. N. A.; VIEIRA, M. C.; CABEÇAS JR., O. Influência de cama de aviário semi-decomposta em cobertura e incorporada sobre a produção de alface ‘Grand rapids’ em Dourados-MS. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 14, n.1, p.89, 1996. ISSN: 0102-0536.

HOOG, D.; BARTH, J.; FAVOINO, E.; CENTEMERO, M.; CAIMI, V.; AMLINGER, F.; DEVLIEGHER, W.; BRINTON, W.; ANTLER, S. **Comparison of compost standards within the E.U, North America and Australasia**. England: The Waste Resource Action Programme, 2002. 410 p.

IMBEAH, M. Composting piggery waste:a review. **Bioresource Technology**, v.63, n.3, p.197-203, 1998. ISSN: 0960-8524.

JAHNEL, M. C.; MELLONI, R.; CARDOSO, E. J. B. Urban solid waste maturity. **Sci. agric.** Piracicaba, v. 56, n.2. 1999. ISSN: 0103-9016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0103-901619900020007&Ing=en&nmr=iso>. Acesso em 10 nov. 2007.

JIMÉNEZ, E. I.; GARCIA, V. P. Evaluation of city refuse compost maturity: **A review. Biol. Wastes**. v 27. n.2. p.115-142, 1989.

JOSHUA, R. S.; MACAULEY, B. J.; MITCHELL, H. J.; Characterization of temperature and oxygen profiles in windrow processing systems. **Compost Science and Utilization**, v.6, p.15-28, 1998.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem, maturação e qualidade do composto**. Fealq. Piracicaba. 1998. 171p.

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

LABORATÓRIO NACIONAL DE REFERÊNCIA VEGETAL (LANARV) Análise de Corretivos, Fertilizantes e Inoculantes – Método Oficiais. 104p. **Ministério da Agricultura**. 1988.

LEITE, B. Z.; PAWLOWSKY, U. Alternativas de minimização de resíduos em uma indústria de alimentos da região metropolitana de Curitiba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, 2005. ISSN: 1413-4152. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 20 Ago. 2006.

LELIS, M. P. N. **A influência da umidade na velocidade de degradação e no controle de impactos ambientais da compostagem**. In: 20º CONGRESSO DA ABES. Rio de Janeiro, 10 p. 1999.

LEMONS, A. D. da C. **A produção mais limpa como fonte geradora de inovação e competitividade: o caso fazenda Cerro do Tigre**. 1998. 172 f. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, RS. 1998.

LITTLE, T.M. & HILLS, F.J. **Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura**. México: Trillas, 1990. 270p.

LISBÃO, R.S.; NAGAI, H.; TRANI, P.E. Alfaca. In: Campinas. Instituto Agronômico. **Instruções agrícolas para o estado de São Paulo**. 5ª ed. Revisada e atualizada. Boletim 200. Campinas, SP: Instituto Agronômico, 233p. p.11-12, 1990.

LOPES, J.C.; RIBEIRO, L.G.; ARAÚJO, M.G.; BERALDO, M.R.B.S. Produção de alfaca com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.143-147, jan.-mar. 2005. ISSN: 0102-0536.

MACHADO, P. A. L. **Direito ambiental brasileiro**, 12ª ed., Malheiros editores, São Paulo, SP. 2004.1075p.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo, 1979.

MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. **Adubos & Adubações**. Editora Nobel. São Paulo SP, 2002.

MALHEIROS, S. M. P. **Avaliação do Processo de Compostagem utilizando resíduos agroindustriais**. 1996. 232p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, Campinas, 1996. Disponível em: <<http://www.unicamp.br/biblioteca>> acesso em 06/10/06.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. Editora Saraiva. 2ª edição, São Paulo SP, 2006. 562p.

MATOS, A. T., SEDIYAMA, M. A. N., FREITAS, S. P., VIDIGAL, S. M., GARCIA, N. C. P. Características químicas emicrobiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejetos líquido de suínos, **Revista Ceres**, Viçosa, v.44, n.254, p.399-410, 1997. ISSN: 0034-733X.

MELO, W.J; SILVA, F.C.; MARQUES, M.O.; BOARETTO, A.E. Critérios para o uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. *Anais....* Rio de Janeiro: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1997. 1 CD-ROM.

MERINO, I.; ARÉVALO, L. F.; ROMERO, F. Characterization and possible uses of ashes from wastewater treatment plants. **Science Direct. Waste Management** 25. 1046-1054, 2005. Spain. Instituto de Enseñanza Secundaria Celso Dias, Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente, Universidad del País Vasco. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/0956053X>>. In: <www.capes.gov.br>. Acesso em: 15 ago. 2006.

METCALF, L.; EDDY, H.P. Design of Facilities for the Treatment and disposal of Sludge. In: **Wastewater engineering – treatment, disposal and reuse**. 3^o ed. U.S.A. McGraw-Hill International Editions, p.765-926. 1991.

MINISTERIO DO TRABALHO E EMPREGO

<http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_25.asp>. Acesso em 25-07-2007.

MORAIS, T. P. S. **Produção e composição do óleo essencial de manjeriço (Ocimum basilicum L.) sob doses de cama-de-frango**. 2006. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) Universidade Federal de Uberlândia – UFU – Uberlândia MG, 2006.

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

MOTA, P. R. D. A.; VILLAS BÔAS, R. L.; RIBEIRO, V. F. Development of chrysanthemum plants cultivated in flower pot in response to electrical conductivity levels. **Engenharia. Agrícola.**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162007000100010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 11 July 2007.

NASCIMENTO, C. W. A., BARROS, D. A. S., MELO, E. E. C. OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.385-392. 2004.

OLIVEIRA, D. P. R. **Planejamento Estratégico**. Editora Atlas. 22ª edição. São Paulo, 2006. 335p.

OMETTO, A. R.; SOUZA, M. P. de; GUELERE FILHO, A. A gestão ambiental nos sistemas produtivos. **Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção**. n.6, p.22-36. 2007.

PEIXOTO, R. T. G. Composto orgânico: aplicações, benefícios e restrições de uso. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.18 suplemento, p.56-64. 2000. ISSN: 0102-0536.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem**: processo de baixo custo. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

PHILIPPI JR, A. **Agenda 21 e resíduos sólidos**. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS, 1,1999, São Paulo. RESI'99. São Paulo: Páginas e Letras editora e gráfica Ltda, p.15-25.

PIRES, J.F. **Impacto da fertilização química e orgânica na produtividade e em alguns aspectos qualitativos de alface e repolho produzidos no Distrito Federal**. 2003 147 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) UnB, Brasília-DF. 2003.

PLANETA ORGÂNICO. **Manutenção e cuidados com o composto**. Disponível em: <<http://www.planetaorganico.com.br/composto3.htm>>. Acesso em 14 jun 2007.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo em regiões tropicais**. Nobel, São Paulo – SP, 2002. 552p.

RAIJ, B.V; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, A.J.; FURLANI, A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico nº 100).

RODRIGUES, E. T. **Efeitos das adubações orgânica e mineral sobre o acúmulo de nutrientes e sobre o crescimento da alface (*Lactuca sativa* L.)** 1990. 60f. Dissertação (mestrado em fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa – UFV- Viçosa, 1990.

RODRIGUES, M. S.; SILVA, F. C. da; BARREIRA, L. P. KOVACS, A. Compostagem: Reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: **Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria**. Fepaf, 2006. 319p.

SANTOS, R.H.S.; CASALI, V.W.D.; CONDÉ, A.R. ; MIRANDA, L.C.G. Qualidade de alface cultivada com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.12, n.1, p.29-32, 1994. ISSN: 0102-0536.

SCHENINI, P. C.; SILVA, A.; SILVA, F. A.; RENSI, F. Gestão da produção mais limpa: um estudo de caso. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2005, Bauru. **Anais eletrônicos** ... Bauru: UNESP, 2005. p. 1-12. Disponível em: <<http://www.simpep.feb.unesp.br>>. Acesso em: 18 ago. 2006.

SILVA, F. A. M. **Qualidade de compostos orgânicos produzidos com resíduos do processamento de plantas medicinais**. 2005. 91 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2005.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, H.M. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.5, p.831-840, 2001.

SILVA, J. C. T. da; SILVA, M. S. T. da; MANFRINATO, J. W.de S. Correlação entre gestão da tecnologia e gestão ambiental nas empresas. **Revista Produção**. v.15, n.2. p.198-220, mai-ago. 2005. Disponível em: <<http://scielo.br/pdf/prod/v15n2/v15n2a05.pdf>>. Acesso em 30 mar. 2008.

SIRVINSKAS, L. P. **Manual de direito ambiental**, 4ª ed., Editora Saraiva, São Paulo, SP. 2006. 547p.

SONNEVELD, C.; ELDEREN, C. W. V. Chemical analysis of peaty growing media by means of water extraction. **Comm.. soil. Sci: plant anal** 25 (19-20) 3199-3208, 1994.

SOUZA, A. P.; NEGREIROS, M. Z.; MENEZES, J. B.; BEZERRA NETO, F.; SOUZA G. L. F. M.; CARNEIRO, C. R.; QUEIROGA, R. C. F. Características químicas de folhas de alface cultivada sob efeito residual da adubação com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**. vol. 23 n.3. Brasília-DF. jul-set. 2005. ISSN: 0102-0536.

TIBOR, T.; FELDMAN, I. **ISO 14 000: um guia para as novas normas de gestão ambiental**. São Paulo: Futura, 302p. 1996.

VILLAS BÔAS, R.L.; PASSOS, J.C.; FERNANDES, M.; BÜLL, L.T.; CEZAR, V.R.S.; GOTO, R. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p.28-34, jan-mar 2004. ISSN: 0102-0536.

WONG, M. H.; CHU, L. M. Changes in properties of a refuse compost in relation to root growth of *Brassica chinensis*. **Agric. Wastes**, v.14, p.115-125. 1985.

YURI, J. E.; RESENDE, G. M. de; RODRIGUES JÚNIOR, J. C.; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J. de. Effect of organic compost on crisp head lettuce production and commercial characteristics. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, 2004. ISSN: 0102-0536.

ZUCCONI, F.; FORTE, M.; MONACO, A.; BERTOLDI, M. Biological evaluation of compost maturity. **BioCycle**, v.22, n.2, p.54-57. 1981.

ANEXO A

Valores referentes às avaliações das plantas de alface com doses de composto 1.						
Composto	Biomassa fresca (g planta ⁻¹)	Biomassa 24 horas (g planta ⁻¹)	Diâmetro (cm)	Clorofila (spad)	Número de folhas (unidades)	Biomassa seca (g planta ⁻¹)
C1D0R1	40,75	32,10	18,23	23,46	12,00	2,64
C1D0R2	39,92	32,40	18,01	23,49	10,00	2,68
C1D0R3	39,86	32,39	17,97	23,22	10,00	2,56
C1D0R4	39,96	32,20	17,99	23,53	12,00	2,58
Média	40,12	32,27	18,05	23,43	11,00	2,62
C1D1R1	149,90	133,66	32,00	19,10	18,00	9,02
C1D1R2	106,95	95,11	27,00	22,30	17,00	5,65
C1D1R3	147,53	129,79	31,00	19,10	18,00	6,43
C1D1R4	135,07	120,32	25,00	19,70	17,00	6,86
Média	134,86	119,72	28,75	20,05	17,50	6,99
C1D2R1	184,40	160,78	32,00	22,20	22,00	10,70
C1D2R2	222,09	197,64	35,00	29,30	20,00	11,21
C1D2R3	201,75	178,92	33,50	23,70	20,33	10,20
C1D2R4	198,77	178,35	33,50	19,60	19,00	8,69
Média	201,75	178,92	33,50	23,70	20,33	10,20
C1D3R1	169,50	149,11	29,00	27,80	19,00	9,54
C1D3R2	144,78	130,47	30,50	26,90	18,00	6,95
C1D3R3	139,32	117,46	34,00	21,60	21,00	3,96
C1D3R4	167,44	149,30	32,00	20,70	18,00	7,07
Média	155,26	136,59	31,38	24,25	19,00	6,88

Valores referentes às avaliações das plantas de alface com doses de composto 2.						
Composto	Biomassa fresca (g planta ⁻¹)	Biomassa 24 horas (g planta ⁻¹)	Diâmetro (cm)	Clorofila (spad)	Número de folhas (unidades)	Biomassa seca (g planta ⁻¹)
C2D0R1	38,12	32,18	18,23	23,46	12,00	2,74
C2D0R2	39,92	32,36	18,01	23,82	13,00	2,78
C2D0R3	39,75	32,22	17,92	23,30	14,00	2,77
C2D0R4	39,16	32,20	17,97	23,56	13,00	2,98
Média	39,24	32,24	18,03	23,54	13,00	2,82
C2D1R1	129,02	113,63	32,00	19,20	16,00	6,42
C2D1R2	89,95	77,37	23,00	19,70	16,00	2,76
C2D1R3	105,87	94,38	24,00	16,40	16,00	5,37
C2D1R4	100,42	88,00	26,50	24,00	17,00	3,53
Média	106,32	93,35	26,38	19,83	16,25	4,52
C2D2R1	104,99	93,67	28,00	21,93	16,33	4,39
C2D2R2	94,21	81,30	28,00	19,30	16,00	2,39
C2D2R3	126,28	111,70	29,50	20,50	17,00	7,24
C2D2R4	94,49	88,01	26,50	26,00	16,00	3,54
Média	104,99	93,67	28,00	21,93	16,33	4,39
C2D3R1	111,29	97,52	28,00	21,90	17,00	5,71
C2D3R2	109,60	94,93	26,00	24,10	17,00	3,82
C2D3R3	122,75	109,27	27,00	16,80	18,00	6,99
C2D3R4	127,64	111,45	29,00	19,30	19,00	6,76
Média	117,82	103,29	27,50	20,53	17,75	5,82

Valores referentes às avaliações das plantas de alface com doses de composto 3.						
Composto	Biomassa fresca (g planta ⁻¹)	Biomassa 24 horas (g planta ⁻¹)	Diâmetro (cm)	Clorofila (spad)	Número de folhas (unidades)	Biomassa seca (g planta ⁻¹)
C3D0R1	38,11	32,00	17,94	17,94	12,00	2,56
C3D0R2	39,97	32,36	18,01	18,01	13,00	2,55
C3D0R3	38,75	32,20	17,92	17,92	14,00	2,73
C3D0R4	38,78	32,29	17,97	17,97	13,00	2,51
Média	38,90	32,21	17,96	17,96	13,00	2,59
C3D1R1	88,53	77,00	28,50	19,80	16,00	6,15
C3D1R2	85,76	75,43	26,00	18,77	15,67	5,34
C3D1R3	83,60	76,23	24,00	19,20	17,00	4,99
C3D1R4	85,15	73,07	25,50	17,30	14,00	4,87
Média	85,76	75,43	26,00	18,77	15,67	5,34
C3D2R1	109,59	96,46	26,00	16,30	17,00	5,07
C3D2R2	84,61	73,81	24,00	19,60	17,00	4,19
C3D2R3	88,57	78,35	24,00	19,00	16,00	4,48
C3D2R4	83,97	71,94	25,00	24,10	14,00	4,04
Média	91,69	80,14	24,75	19,75	16,00	4,45
C3D3R1	97,54	84,71	26,50	17,77	16,33	4,47
C3D3R2	90,58	76,87	24,50	14,30	15,00	2,89
C3D3R3	100,43	90,23	27,00	20,70	18,00	6,43
C3D3R4	101,60	87,04	28,00	18,30	16,00	4,09
Média	97,54	84,71	26,50	17,77	16,33	4,47

Valores referentes às avaliações das plantas de alface com doses de composto 4.						
Composto	Biomassa fresca (g planta ⁻¹)	Biomassa 24 horas (g planta ⁻¹)	Diâmetro (cm)	Clorofila (spad)	Número de folhas (unidades)	Biomassa seca (g planta ⁻¹)
C4D0R1	39,12	32,00	17,97	23,18	11,00	2,55
C4D0R2	40,05	32,00	18,01	23,97	12,00	2,59
C4D0R3	39,15	32,32	17,87	23,35	11,00	2,73
C4D0R4	38,60	32,38	17,97	23,65	10,00	2,50
Média	39,23	32,18	17,96	23,54	11,00	2,59
C4D1R1	51,85	43,91	21,00	23,30	15,00	1,22
C4D1R2	55,16	46,46	21,00	17,00	14,00	2,30
C4D1R3	74,18	63,54	23,50	26,00	17,00	1,63
C4D1R4	60,86	52,76	22,00	15,50	17,00	2,66
Média	60,51	51,67	21,88	20,45	15,45	1,95
C4D2R1	65,26	55,93	22,33	21,60	14,67	1,65
C4D2R2	50,02	42,55	22,00	24,70	13,00	1,83
C4D2R3	66,97	56,00	22,00	18,90	15,00	1,34
C4D2R4	78,80	69,23	23,00	21,20	16,00	1,79
Média	65,26	55,93	22,33	21,60	14,37	1,65
C4D3R1	59,05	51,64	20,60	22,50	13,00	1,55
C4D3R2	61,98	54,03	22,50	24,90	14,00	3,44
C4D3R3	76,34	66,13	23,00	15,80	15,00	1,84
C4D3R4	71,96	62,63	23,00	19,30	15,00	3,75
Média	67,33	58,61	22,28	20,63	14,25	2,65