

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**QUALIDADE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS PRODUZIDOS
COM RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE PLANTAS
MEDICINAIS**

FRANCISCA ALCIVANIA DE MELO SILVA
Engenheira Agrônoma

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP -
Campus de Botucatu, para a obtenção
do título de Doutor Agronomia –
Energia na Agricultura

BOTUCATU-SP
Dezembro – 2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**QUALIDADE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS PRODUZIDOS COM
RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE PLANTAS MEDICINAIS**

FRANCISCA ALCIVANIA DE MELO SILVA

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu,
para a obtenção do título de Doutor Agronomia
– Energia na Agricultura

BOTUCATU- SP
Dezembro – 2005

Aos

Meus Pais Antonia e Aldemir

Meus irmãos Alcione e Angelo

Minha sobrinha Lizandra,

Pelo incentivo, amor e apoio incondicionais.

Dedico

Para

Reginaldo e nosso filho que está por vir,

Pela força para seguir em frente e concluir mais essa etapa,

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, à coordenação do curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Energia na Agricultura pela oportunidade de realização do curso.

À CAPES, pelo bolsa de Doutorado.

À Centroflora Anidro do Brasil, pela concessão dos resíduos do processamento de plantas medicinais.

Ao Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Bôas, pela orientação, confiança e amizade.

Aos Professores Dr. Dirceu Maximino Fernandes e Dr. Iraê Amaral Guerrini pela amizade e atenção sempre dispensadas.

Aos funcionários do Departamento de Recursos Naturais-Ciência do Solo, especialmente a Jair, Noel e José Carlos DePieri pela indispensável ajuda nas atividades de laboratório, campo e casa de vegetação.

À Universidade Politécnica de Madrid-Espanha, Departamento de Edafologia, especialmente aos Professores Dr^a. Francisca Guerrero e Dr. José Maria Gascó, pela confiança e valiosos ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Kleber Pereira Lanças, pelo incentivo e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, especialmente à Gilberto Winckler, Silvio Sabatini, Ailton e Rosangela Moreci, pela amizade e auxílio nas diversas etapas da tese.

Aos integrantes do GEMFER (Grupo Estudos e Pesquisas em Manejo de Fertilizantes e Resíduos).

À Erval Rafael Damatto Junior e Isabele Sarzi, pelo exemplo de companheirismo e amizade.

À Denise Mahl, pela amizade e por todos os bons momentos compartilhados.

Aos colegas de curso Idelina, Luciana Manuel, André, Elcio, Poliana, Lucia Raquel, Lauter, Rodrigo e Vicente Rodolfo pela agradável convivência.

Aos amigos Rogério e Eliane, que mesmo distantes sempre me incentivaram.

À Eufraim Ferreira do Amaral e Irving Foster Brown, pelas lições de vida e de ciência que guardarei para sempre.

À todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse trabalho.

SUMÁRIO

	<i>Página</i>
1. RESUMO.....	01
2. SUMMARY.....	03
3. INTRODUÇÃO	05
4. REVISÃO DE LITERATURA	07
4.1. Situação da produção de resíduos	07
4.2. Compostagem como destino alternativo de resíduos orgânicos.....	08
4.3. Avaliação da maturação na compostagem	09
4.3.1 Determinações Químicas.....	10
4.3.1.1 Relação carbono-nitrogênio(C/N).....	11
4.3.1.2 Índice pH.....	12
4.3.1.3 Condutividade elétrica	12
4.3.1.4 Teores de amônio e nitrato	13
4.3.2 Determinações Físicas.....	15
4.3.2.1 Temperatura	15
4.3.2.2 Umidade	16
4.3.3 Testes biológicos	16
4.3.3.1 Germinação de sementes.....	16
4.4. Efeitos da aplicação de um composto imaturo no solo	18
4.5 Humificação na compostagem	19
4.6 Importância da matéria orgânica no solo	21
4.7 Efeitos do uso de composto orgânico no cultivo de alface (<i>Lactuca sativa</i>)	22
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
5.1 Descrição geral dos experimentos.....	24
5.2. Caracterização da área de estudo.....	24
5.3. Caracterização dos resíduos	25
5.4. Processo de compostagem.....	26
5.4.1 Avaliações.....	27

5.5. Uso dos composto orgânicos na produção de alface (<i>Lactuca sativa</i> L)	29
5.5.1 Caracterização do solo.....	29
5.5.2 Tratamentos.....	30
5.5.3 Caracterização dos compostos orgânicos.....	31
5.5.4 Plantio das mudas e condução.....	31
5.5.5 Avaliações.....	33
5.5.5.1 Produção de matéria seca e análise química de plantas.....	33
5.5.5.2 Análise Química do solo.....	33
5.5.5.3 Clorofilômetro.....	33
5.6 Delineamento experimental e análise dos dados obtidos	34
6.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
6.1 Compostagem.....	35
6.1.1 Temperatura.....	35
6.1.2 Cabono Total, nitrogênio total e relação C/N.....	36
6.1.3 pH.....	39
6.1.4 Condutividade Elétrica.....	41
6.1.5. Amônio e Nitrato.....	42
6.1.6 Índice de Germinação.....	45
6.1.7 Humificação.....	47
6.1.8. Correlações entre os parâmetros químicos.....	49
6.1.9 Balanço de massa seca ao final do processo de compostagem.....	51
6.2 Uso dos compostos orgânicos na produção de alface (<i>Lactuca sativa</i> L.).....	51
6.2.1. Produção de matéria fresca e matéria seca da parte aérea.....	51
6.2.2 Teores de macronutrientes na parte aérea da planta de alface.....	58
6.2.3 Macronutrientes acumulados na parte aérea de alface.....	61
6.2.3. Intensidade da cor verde das folhas.....	69
6.2.4 Características químicas do solo após primeiro e segundo cultivo.....	71
7.CONCLUSÕES.....	78
8.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
ANEXOS.....	89

LISTA DE TABELAS

	<i>Página</i>
1. Caracterização dos materiais utilizados para compostagem.....	25
2. Peso dos materiais utilizados nas misturas para composição das pilhas.....	27
3. Características químicas do solo utilizado no experimento.....	29
4. Composição granulométrica do solo.....	29
5. Características químicas do solo após calagem e adubação.....	30
6. Caracterização dos compostos orgânicos produzidos.....	31
7. Evolução do Carbono total, Matéria orgânica e relação C/N para 4 compostos ao longo de 120 dias.....	38
8. Valores médios de pH para as 4 pilhas de compostagem ao longo de 120 dias.....	40
9. Valores médios de condutividade elétrica para as 4 pilhas de compostagem ao longo de 120 dias.....	41
10. Concentrações de nitrato e amônio para as 4 pilhas de compostagem ao longo de 120 dias.....	44
11. Valores médios do Índice de germinação para as 4 pilhas de compostagem ao longo de 120 dias.....	47
12. Composição da matéria orgânica (Carbono orgânico total (COT), Carbono nos ácidos húmicos e fúlvicos (AH e AF), e índice de polimerização para 4 materiais compostados ao longo de 120 dias.....	48
13. Matriz de correlação entre parâmetros de maturação para quatro compostos orgânicos.....	50
14. Balanço de massa seca dos materiais ao final do processo de compostagem.....	51
15. Matéria fresca da parte aérea (MFPA) da alface em função de doses de quatro compostos orgânicos em 2 ciclos.....	56
16. Matéria seca da parte aérea (MFSPA) da alface em função de doses de quatro compostos orgânicos em 2 ciclos.....	57
17. Teores de macronutrientes (N, P, CA, Mg e S) em plantas de alface cultivadas com doses de quatro compostos orgânicos em dois ciclos consecutivos.....	59
18. Nitrogênio acumulado na parte aérea da alface em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.....	64
19. Fósforo acumulado na parte aérea da alface em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.....	65
20. Potássio acumulado na parte aérea da alface em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.....	66
21. Cálcio acumulado na parte aérea da alface em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.....	67

22. Magnésio acumulado na parte aérea da alface em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.....	68
23. Enxofre acumulado na parte aérea da alface em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.....	68
24. Intensidade da cor verde da alface (ICV) em função de doses de quatro compostos orgânicos.....	70
25. Teores de P, K, Ca e Mg em solo do adubado com quatro compostos orgânicos em diferentes doses em dois ciclos sucessivos.....	76
26. pH, MO, CTC e H+Al em solo do adubado com quatro compostos orgânicos em diferentes doses em dois ciclos sucessivos.....	77

LISTA DE FIGURAS

	<i>Página</i>
1. Representação esquemática do processo de compostagem.....	08
2. Mudanças químicas que ocorrem durante o processo de compostagem.....	20
3. Aspecto visual do material usado na composição das pilhas.....	26
4. Fases do primeiro ciclo da alface.....	32
5. Fases do segundo ciclo da alface.....	32
6. Temperatura para as cinco pilhas de compostagem medida durante 90 dias.....	36
7. Evolução das concentrações de carbono total (C) e relação C/N para 4 compostos durante 120 dias.....	37
8. Valores de pH ao longo dos 120 dias de compostagem.....	39
9. Concentrações de amônio e nitrato analisados em 4 compostos ao longo de 120 dias.....	44
10. Índices de germinação para 4 compostos ao longo de 120 dias.....	46
11. Produções de matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de alface em função de doses de quatro compostos orgânicos.....	52
12. Plantas de alface antes da colheita do primeiro ciclo (doses em t ha ⁻¹) para quatro compostos orgânicos.....	53
13. Plantas de alface antes da colheita do segundo ciclo (doses em t ha ⁻¹) para quatro compostos orgânicos.....	54
14. Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da alface em função de doses e tipos de compostos orgânicos no final do primeiro ciclo.....	61
15. Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da alface em função de doses e tipos de compostos orgânicos no final do segundo ciclo.....	63
16. Intensidade da cor verde da alface (ICV) em função de doses de quatro compostos orgânicos.....	69
17. Variação da coloração de folhas no tratamento com 30 t ha ⁻¹ (a) e 120 t ha ⁻¹ (b).....	70
18. Matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e CTC no solo em função de doses de quatro compostos orgânicos após o primeiro cultivo.....	72
19. Matéria orgânica (MO), fósforo (P), magnésio (Mg) e CTC no solo em função de doses de quatro compostos orgânicos após o segundo cultivo.....	73

1 RESUMO

A compostagem é uma alternativa reconhecidamente viável para o aproveitamento racional de resíduos. Todavia, ainda são necessárias pesquisas mais aprofundadas para a melhoria da eficiência deste processo, o que levaria à produção de compostos de maior qualidade, assim como o fornecimento de nutrientes como condicionadores de solo. Sendo assim, este trabalho teve como objetivos avaliar a qualidade de compostos produzidos a partir de combinações de resíduos do processamento de plantas medicinais com esterco bovino e verificar o potencial agrônomo dos materiais resultantes na produção da alface. Em uma primeira etapa foram utilizados quatro resíduos do processamento de plantas medicinais: 1) Unha-de-gato (*Uncaria tomentosa*); 2) Cascara Sagrada (*Rhamnus Purshianus*); 3) Ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa*) e 4) Boldo (*Phaemus boldus*), a partir dos quais produziram-se quatro compostos de composição distinta. A amostragem para determinação de parâmetros de maturação (pH, condutividade elétrica, teores de amônio e nitrato, fracionamento da matéria orgânica, macronutrientes, carbono total, relação C/N e testes de germinação) foi feita aos 0, 30, 60, 90 e 120 dias de compostagem. A temperatura, entretanto, foi medida diariamente apenas até aos 90 dias. Na segunda etapa, buscando avaliar o potencial agrônomo dos compostos sobre a produção da alface (*Lactuca sativa*), cultivar crespa Verônica, bem como o efeito residual dos materiais compostados instalaram-se experimentos em vasos com dois cultivos consecutivos. Nestes experimentos, constaram os seguintes tratamentos: composto 1 (C1) (Unha-de-gato),

composto 2 (C2) (Casara Sagrada), composto 3 (C3) (Ipê roxo), composto (4) (C4) mistura dos materiais nas doses 30, 60, 90 e 120t/ha. O delineamento experimental utilizado foi o DIC em esquema fatorial (4 compostos x 4 doses) com 4 repetições e um tratamento testemunha (sem mineral). Dos materiais testados, Unha de Gato, Cáscara Sagrada, Ipê Roxo e a mistura destes, todos apresentaram condições que favoreceram o processo de compostagem produzindo compostos orgânicos considerados “de boa qualidade” dentro das normas exigidas pela legislação brasileira; Os compostos produzidos a partir de diferentes materiais apresentaram características distintas no final do processo. Os parâmetros indicados para predição do grau de maturação de compostos orgânicos foram: relação C/N, índices de germinação e teores de nitrato e amônio. Os compostos C3 e C4, que foram os mais humificados, reduziram a produção de alface na dose de 120 t ha⁻¹. A dose de composto orgânico que produziu maior massa fresca de alface variou com o tipo de composto, sendo de 78 t ha⁻¹ para o C3 e 86 t ha⁻¹ para o C1 e C2, a maior produção ocorreu com a maior dose dos compostos aplicados (120 t ha⁻¹). Os compostos orgânicos avaliados não foram capazes de suprir as necessidades de N das plantas no segundo ciclo, havendo assim redução na produção, em relação ao primeiro ciclo. A aplicação de doses crescentes dos compostos C1, C2, C3 e C4 aumentaram no solo os teores de matéria orgânica, fósforo e potássio, resultados que permaneceram ao final de dois ciclos.

Palavras-Chave: compostagem, parâmetros de maturação, matéria orgânica, *Lactuca sativa* L.

ORGANIC COMPOSTS QUALITY PRODUCED OF MEDICINAL PLANTS PROCESSING INDUSTRIAL. Botucatu, 2005, 92p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas. Universidade Estadual Paulista.

Author: FRANCISCA ALCIVANIA DE MELO SILVA

Adviser: Prof.Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

2 SUMMARY

Composting is a recognized viable alternative to make good use of residues. However, more accurate studies are required to improve the efficiency of the composting process, producing composts with better quality, supplying nutrients to soil and acting as a soil conditioning. This work aimed to evaluate composts quality produced by combination of residues obtained from medicinal plants industrial processing and bovine manure, verifying the agronomic potential of these obtained composts in lettuce production. In a first step, it was used four residues from medicinal plants industrial processing: 1) Unha-de-gato (*Uncaria tomentosa*); 2) Cascara Sagrada (*Rhamnus Purshianus*); 3) Ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa*) e 4) Boldo (*Phaemus boldus*), which produced four organic composts with distinct composition. The sampling to determine maturation parameters (pH, electric conductivity, ammonium and nitrate, organic matter fractionation, macronutrients, total carbon, C/N relation and germination tests) was made at zero, 30, 60, 90 and 120 days after composting beginning. Temperature was daily verified until 90 days. In a second step, aiming to evaluate the agronomic potential of the composts in lettuce (*Lactuca sativa*) production, as well the residual effect of these composts in soil. In these cultivation, it was followed the treatments: compost 1 (C1) (Unha-de-gato), compost 2 (C2) (Cascara Sagrada), compost 3 (C3) (Ipê roxo), compost 4 (C4) (Boldo) and compost 5 (C5) (mix of residues) in doses of 30, 60, 90 e 120 t ha⁻¹. The experiment was laid out in a complete randomized design, ordered in factorial arrangement (4 composts x 4 doses) with 4 replication and a without N mineral. From the tested residues, Unha de Gato, Cáscara Sagrada, Ipê Roxo and

the mix of residues, all of them showed favoring conditions to the composting process, producing organic composts of “good quality”, as Brazilian legislation requires. The produced composts obtained from different residues showed distinct characteristics in the end of the composting process. From the parameters evaluated to predict organic compost maturation degree, the promissory were: C/N relation, germination index and ammonium and nitrate. The composts C3 and C4, which were more humificated, reduced the lettuce production when it was applied dose of 120 t ha⁻¹. The level of organic compost which produced more fresh material in lettuce varied with the compost used (78 t ha⁻¹ to C3 and 86 t ha⁻¹ to C1 and C2), and the biggest production was obtained with the biggest dose of compost applied (120 t ha⁻¹). The organic composts evaluated were not able to supply the plants nitrogen requires in the second cultivation, so the production was smaller than the first. The application of increasing doses from the composts C1, C2, C3 and C4 increased in soil organic matter, phosphorus and potassium , which remained in the end of both cultivations.

Keywords: composting, maturation parameters, organic matter, *Lactuca sativa* L.

3 INTRODUÇÃO

No Brasil, a agricultura vem apresentando crescimento significativo ao longo dos anos, sendo que uma limitação ao uso do solo é a conhecida baixa disponibilidade em elementos essenciais às plantas. Uma das soluções para esse problema tem sido o uso racional de fertilizantes, tanto químicos quanto orgânicos, que são essenciais para aumentar a produtividade nos nossos solos.

A partir da década de 50 foi observado um aumento do uso da adubação mineral. o que fez da tradicional adubação orgânica uma técnica praticamente esquecida em grandes propriedades. Essa tendência também foi seguida em pequenas e médias propriedades, que não conseguiram implementar o uso desses adubos devido ao elevado custo, que acabava por inviabilizar a produção. As altas produtividades obtidas com o uso intensivo de fertilizantes inorgânicos e de agrotóxicos têm sido questionadas por aspectos econômicos e ecológicos.

Nesse contexto, valorizou-se uma prática utilizada pelos agricultores há muitos séculos, ou seja, o aproveitamento dos resíduos animais e vegetais encontrados nas fazendas, como adubo orgânico. Tal fato ocorre porque a agricultura e a pecuária produzem grandes quantidades de resíduos, como dejetos de animais, restos de culturas, palhas e resíduos agroindustriais, os quais, em alguns casos, provocam problemas de poluição ambiental. Normalmente, parte desses resíduos é perdida, por não ser coletada e reciclada.

Uma alternativa viável para o aproveitamento racional de resíduos é a compostagem, um método antigo de reciclagem, durante o qual a matéria orgânica é transformada em material humificado. Além de ser uma solução para problemas dos resíduos sólidos, o processo de compostagem proporciona o retorno de matéria orgânica e nutrientes ao solo. No entanto, 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.

A melhoria da eficiência dos processos de compostagem atenderia ainda a demanda do mercado de produtos orgânicos, que vem crescendo no Brasil e no mundo a uma taxa de até 50% ao ano. No caso do cultivo de hortaliças, que respondem bem ao uso desses fertilizantes orgânicos, os benefícios vão desde a redução de custos de produção, melhorias das propriedades físico-químicas dos solos intensamente cultivados com métodos convencionais, até o consumo de produtos mais saudáveis, elemento cada vez mais exigido pelos consumidores.

Através da análise dos trabalhos acima citados, percebe-se que a adubação orgânica no cultivo de hortaliças, especialmente o alface (*Lactuca sativa*) é uma realidade, com seus benefícios comprovados. No entanto, são necessárias mais pesquisas em campo sobre os efeitos desses materiais sobre solo e planta para definir doses, frequências e épocas de aplicação, bem como conhecer a atuação sobre características do produto final obtido.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a eficiência do processo de compostagem resultante de combinações de resíduos do processamento de plantas medicinais com esterco bovino, através do monitoramento de transformações físicas e químicas em função do tempo, bem como verificar o efeito dos compostos orgânicos produzidos sobre a nutrição e produção de alface (*Lactuca sativa* L.) em 2 ciclos sucessivos.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Situação da produção de resíduos

Os resíduos sólidos são conceituados pela ABNT-NBR 10.004/1987 como resíduos descartáveis ou inúteis resultantes das atividades humanas, em estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido (com conteúdo líquido insuficiente para que este fluido possa se movimentar livremente). Resíduos sólidos orgânicos de origem animal e vegetal constituem fonte de elevados impactos ambientais sobre o meio físico, particularmente sobre os mananciais hídricos, superficiais e subterrâneas e sobre os meios biológico e sócio-econômico (NAIME et al., 2004).

Uma atividade geradora de grandes quantidades de resíduos é a criação de bovinos em confinamento. Estima-se que sejam produzidos diariamente cerca de 50 kg de resíduos semi-sólidos por animal (VITKO, 1999), citado por Pohlmann (2000). A disposição dos resíduos nas instalações dos animais tem se constituído ultimamente em dificuldades para os criadores e especialistas, pois envolve aspectos técnicos, sanitários e econômicos. Caso estes resíduos não sejam adequadamente manejados e distribuídos, podem causar prejuízos ao meio ambiente, comprometendo a sobrevivência do homem e dos animais.

Uma outra 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.

A alternativa técnica para uso sustentável desses dois resíduos é a compostagem, que pode proporcionar um aproveitamento racional desses resíduos na agricultura, auxiliando na recuperação de alguns solos e a conseqüente manutenção da sua capacidade de produção.

4.2 Compostagem como destino alternativo de resíduos orgânicos

A compostagem de resíduos orgânicos é um dos métodos mais antigos de reciclagem, durante o qual a matéria orgânica é transformada em fertilizante orgânico. Além de ser uma solução para os problemas dos resíduos sólidos, o processo de compostagem proporciona o retorno de matéria orgânica e nutrientes ao solo. Este processo é resultado da decomposição biológica aeróbica do substrato orgânico, sob condições que permitam o desenvolvimento natural de altas temperaturas, com formação de um produto suficientemente estável para armazenamento e aplicação ao solo, sem efeitos ambientais indesejáveis (HAUG, 1980; KIEHL, 1985).

Um resumo do processo de compostagem pode ser observado na Figura 1.

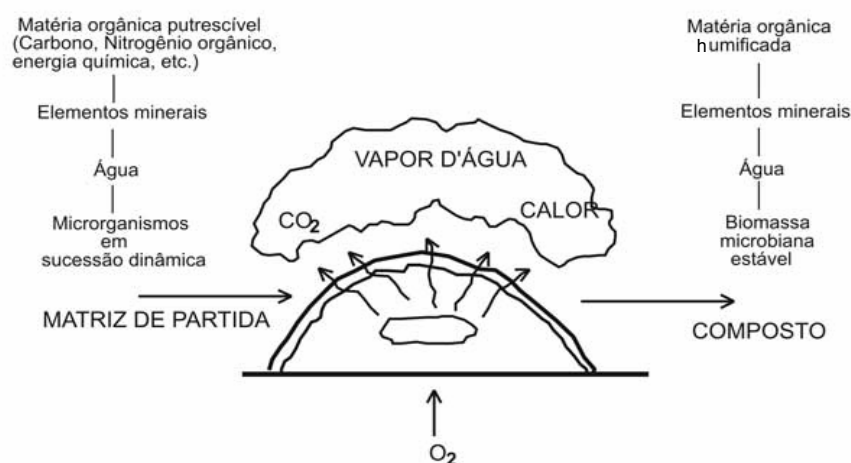


Figura 1. Representação esquemática do processo de compostagem (VALLINI, 1995).

Para Carvalho et al. (1999), a compostagem é um processo biológico de transformação da matéria orgânica crua em substâncias húmicas, estabilizadas, com propriedades e características diferentes do material que lhe deu origem. Em linhas gerais,

consiste no aproveitamento de matérias-primas que contenham um balanço de relação carbono/nitrogênio favorável ao metabolismo dos organismos que vão efetuar sua biodigestão.

Segundo Bley (1998), a compostagem atualmente é entendida como um processo biotecnológico de decomposição da matéria orgânica que possibilita destino adequado para os resíduos.

4.3 Avaliação da maturação e qualidade na compostagem

A qualidade é um fator importante na produção de compostos e envolve fatores como maturação, quantidade de nutrientes, textura, etc. Esses fatores, se bem manipulados, podem proporcionar ao produtor desde uma importante fonte de nutrientes para várias culturas, como a geração de recursos através da venda desse produto ecologicamente viável.

De acordo com Kiehl (2002), a legislação brasileira exige que um fertilizante composto deve apresentar as seguintes garantias mínimas para ser comercializado: matéria orgânica total (mínimo de 40%), nitrogênio total (mínimo de 1%), umidade (máximo de 40%), relação C/N (máximo de 18/1) e índice pH (mínimo de 6,0).

Nos últimos anos desenvolveram-se diferentes métodos para conhecer ou mensurar o grau de maturação de um composto. Os parâmetros que se utilizam para avaliação de maturação de um composto devem representar o processo de maneira adequada e os valores devem mudar em padrões preditivos.

Na literatura são encontrados frequentemente dois termos: “estabilidade” e “maturação”, os quais são comumente confundidos. Estabilidade representa uma fase durante a decomposição da matéria orgânica e é função da atividade biológica do material. Por outro lado, a maturação na compostagem pode ser definida como o grau no qual o produto final está livre de substâncias fitotóxicas que podem retardar ou reduzir a germinação de sementes ou causar danos às plantas ou organismos presentes no solo (FROST et al. 1992; RIFFALDI et al. 1992; BREWER E SULLIVAN, 2001). Cabe mencionar que o termo estabilização tem sido utilizado em vários contextos, podendo indicar uma fase em que há redução de odores e sólidos voláteis. Entretanto, a estabilidade do composto está muito associada à utilização de nitrogênio e oxigênio em quantidades suficientes ou significativas

para propiciar uma atividade biológica adequada, gerar calor, dióxido de carbono e vapor de água, o que pode causar condições de estresse para plantas e organismos presentes no solo (RIVERA-ROSARIO, 2003).

A avaliação da maturidade de compostos orgânicos tem sido reconhecida como um dos mais importantes problemas relacionados ao processo de compostagem e utilização agrícola segura do produto final. Um desafio tem sido a utilização de métodos precisos para avaliar a maturidade desses compostos (CHANYASAK et al., 1983a; GARCIA et al., 1991).

Para Negro et al (2000), é difícil avaliar a maturação de um composto a partir de um único parâmetro químico, bioquímico e toxicológico, já que o processo de compostagem é microbiológico e muito complexo.

Pelos relatos encontrados na literatura, até o momento, não existe consenso sobre um método único, aceito de forma generalizada para determinar o grau de maturação de um composto. Há trabalhos usando diversos parâmetros que informam, de maneira relativa, a evolução da matéria orgânica durante o processo, ou como indicativo da qualidade do produto para a venda. Em todos os casos podem existir problemas, já que um parâmetro poderia ser um bom indicador do grau de maturação do ponto de vista teórico, mas inaplicável por sua perda de significância ao ignorar a procedência da amostra, ou por não ser aplicável em análises de rotina.

Os testes que têm sido utilizados por vários anos para prever maturação podem ser classificados em três grupos: testes químicos, físicos e biológicos.

4.3.1 Determinações Químicas

Grande parte dos estudos para determinar o grau de maturação no processo de compostagem foi realizada utilizando-se os métodos químicos e, muito pouco, os métodos biológicos ou físicos. A preferência pelos métodos químicos sobre os outros se deve ao fato de que sua análise é mais rápida. Alguns dos parâmetros químicos utilizados para medir grau de maturação de um composto são: a relação carbono-nitrogênio (C/N), o pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), a condutividade elétrica e a evolução dos teores de amônio e nitrato ao longo do tempo.

4.3.1.1 Relação carbono-nitrogênio (C/N)

O conhecimento da relação C/N indica o grau de decomposição da matéria orgânica, pois os microrganismos necessitam de uma fonte de energia que obtém do carbono para seu crescimento e nitrogênio para síntese de proteínas. O carbono e o nitrogênio são os constituintes fundamentais nas células animais e vegetais, e a relação entre eles afeta a atividade microbiana. Quando se utiliza um composto imaturo, a consequência é o dano ao crescimento das plantas, por isso, a razão entre carbono e nitrogênio do composto sólido tem sido utilizada como indicador de maturação (CHANYASAK e KUBOTA, 1981). No entanto, há materiais suficientemente maduros que têm sido compostados, mostrando variações de 5:1 a 20:1, dependendo do tipo de material. o que faz com que esse parâmetro não seja considerado como um indicador absoluto de maturação (RIVERA-ROSÁRIO, 2003).

Contrariando os autores acima citados, Chanyasak e Kubota (1981), realizaram estudos das mudanças nos componentes em extratos de água e estes revelaram que a relação C/N de vários compostos maduros mostraram valores constantes entre 5 e 6, sem importar o tipo de material que se utiliza na compostagem.

Utilizando materiais com relação C/N menor que 20:1, o nitrogênio volatiliza em forma de amônia e com relações maiores que 50:1, o processo de compostagem diminui devido a um rápido crescimento celular e a limitação do nitrogênio disponível e crescimento reduzido de microrganismos (EPSTEIN,1997).

Namkoong et al. (1999) utilizaram a relação carbono orgânico/nitrogênio orgânico como parâmetro de maturação para composto preparado com resíduos da indústria de alimentos e, ao final do processo de compostagem, a relação C/N chegou a valores entre 5 e 6, sem levar em consideração os valores no início do processo.

Inbar et al. (1990) observaram que a relação C/N diminuiu rapidamente de 27 para 10 durante os primeiros 60 dias de compostagem. A relação C/N e o tempo de compostagem tiveram uma alta correlação ($r^2=0,99$). Neste mesmo trabalho, a relação C/N não foi bem correlacionada com nenhum outro parâmetro, o que torna difícil estimar o tempo preciso ou ideal que assegure a estabilidade ou maturação de um composto.

Para Kiehl (2002), a relação C/N constitui um parâmetro confiável para o acompanhamento da compostagem até chegar ao produto final humificado, no qual a

relação deve estar entre 8/1 a 12/1. Ainda segundo esse autor, mesmo sendo a relação C/N um parâmetro confiável, é aconselhável recorrer a dois ou mais parâmetros para confirmação da fase final de decomposição do composto.

4.3.1.2 Índice pH

A determinação do pH pode ser considerada um bom indicador da marcha do processo, 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.

O pH indica a acidez ou alcalinidade de um meio em específico. Esse valor é importante, já que o crescimento de muitos microrganismos é controlado pelo pH do substrato em que se encontram. Jiménez e Garcia (1989) demonstraram que valores baixos de pH indicam pouca maturação no composto, seja devido ao pouco tempo de compostagem ou a possíveis condições anaeróbias na pilha.

Na compostagem, o valor final do índice pH abaixo de 6,0 não é aceitável como fertilizante maturado, segundo a legislação brasileira (KIEHL, 2002).

O pH também afeta a temperatura a qual o processo pode chegar durante sua estabilização. Em uma pilha de compostagem, o pH inicial é ligeiramente ácido (em torno de 6,0), alcançando ao final do processo valores próximos da neutralidade (CRAWFORD, 1985).

4.3.1.3 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica (CE) é um indicativo da concentração de sais ionizados na solução (WILSON, 1984) e fornece um parâmetro para a estimativa da salinidade de um resíduo, fertilizante orgânico ou substrato. Especialmente na utilização de materiais alternativos, em misturas não-industrializadas, é importante conhecer o nível de salinidade do material, a fim de evitar perdas na produção (KAMPF, 2000).

A salinidade de um composto não deve exceder a 4,0 mohms/cm, ou dS/m (decisiemens/metro), ou ainda 2560 ppm de sais (CRAUL e SWITZENBAUN, 1996).

Kiehl (2002) alerta que a condutividade deve diminuir com a compostagem, estabilizando em um valor próximo a 50% da leitura inicial. Essa queda não é devido à lixiviação de sais do composto, mas pela decomposição dos ácidos orgânicos produzidos pela decomposição do material (AVENIMELECH et al., 1996).

Negro et al. (2000) consideram a medida de condutividade elétrica como um parâmetro importante de se conhecer, principalmente os valores medidos no final da compostagem. A condutividade do composto pode afetar os testes de germinação, podendo oscilar entre 0,4 (turfa) e 6,60 dS m⁻¹ (composto à base de esterco de frangos).

Levi Minze et al. (1992), em determinações feitas de 0 a 120 dias, observaram reduções nos valores de condutividade elétrica para 50% do valor inicial já aos 58 dias de compostagem.

Wang et al. (2004), avaliando índices de maturação para compostos orgânicos produzidos a partir de resíduos de confinamentos de vacas leiteiras, criação de suínos e serragem, encontraram resultados discordantes dos demais autores. Nos compostos produzidos a partir de esterco de bovino (puro) e esterco de bovino + serragem, a condutividade elevou-se com o tempo (de 7,0 para 21dS m⁻¹), enquanto para o composto produzido com esterco de suínos, os valores decresceram com o tempo (de 12,0 para 6,0 dS m⁻¹).

4.3.1.4 Teores de Amônio e Nitrato (NH₄⁺ e NO₃⁻)

Segundo Sanchez-Monedero et al. (2001), a maior parte do nitrogênio contido em uma pilha de compostagem é orgânico, principalmente como parte da estrutura de proteínas. Uma pequena parte do N orgânico é mineralizada à amônia por reações de amonificação resultantes da atividade microbiana. A amônia pode ser transformada através de diferentes processos dependendo das condições nas quais o material foi compostado. Uma das rotas leva à nitrificação por bactérias quando a temperatura da mistura está acima dos 40°C e há condições favoráveis de aeração. Durante a nitrificação, as bactérias abaixam o pH do meio pela liberação de íons hidrogênio. As transformações do nitrogênio (de amônio para nitrato)

em processos de compostagem têm especial importância do ponto de vista agrônomo, já que esta forma pode ser assimilada diretamente pelas raízes.

Kiehl (2002) afirma que sabendo-se que em determinada fase da compostagem o composto apresenta apreciáveis teores de nitrogênio amoniacal, espera-se que o processo esteja na fase de semicura ou bioestabilização. Quando a análise mostrar que o composto apresenta nitrogênio nítrico e quase não houver nitrogênio amoniacal, pode-se assegurar que o processo está na sua fase final de maturação.

Wang et al. (2004) testando índices de maturação para compostos elaborados à base de esterco bovino puro, esterco de bovinos + serragem de madeira e esterco de suínos + cascas de árvores, observaram teores de amônio decrescentes (238 para 116 mg kg⁻¹, 1980 para 89 mg kg⁻¹ e 8510 para 96 mg kg⁻¹, respectivamente) ao longo de 112 dias. Foi observado comportamento inverso para os teores de nitrato, onde os valores aumentaram ao longo do tempo para os dois primeiros materiais (1,0 para 128 mg kg⁻¹ e 1,0 para 90,6 mg kg⁻¹).

Benito et al. (2003) estudando diferentes parâmetros químicos como indicadores de maturidade na compostagem durante 190 dias, observaram acréscimos significativos nos teores de nitrato (1,90 para 8,27 mg kg⁻¹) e decréscimos nos teores de amônio (70,3 para 16,1 mg kg⁻¹) no final do processo. Comportamento semelhante foi encontrado por Brinton e Evans (2001), avaliando compostos orgânicos em vários estágios de maturação.

Sanchez-Monedero et al. (2001) avaliando mudanças nos teores de nitrato e amônio na compostagem de misturas de materiais como lodo de esgoto, palhada de sorgo e casca de *pinus* em diferentes proporções, encontraram valores decrescentes de NH₄⁺ (0,5 para 0,2%) e crescentes de NO₃⁻ (0,1 para 1,5%), ao longo de 20 semanas de compostagem.

De modo geral, observa-se através dos vários trabalhos consultados, que os valores são muito distintos e dependem do tipo de material utilizado, sendo que é consenso que o mais importante a ser observado é a tendência de comportamento inverso para os dois parâmetros.

4.3.2 Determinações Físicas

Consideram-se como mais importantes no processo de compostagem a temperatura, a umidade, a cor e o odor da mistura. A utilização do odor e cor do composto é vista como parâmetro subjetivo para prever a maturação e qualidade do produto final. Isto porque ambos estão sujeitos à variedade de materiais utilizados na preparação do composto.

4.3.2.1 Temperatura

Durante o processo de compostagem, a temperatura varia dependendo da atividade metabólica dos microorganismos. De acordo com esse parâmetro, o processo de compostagem pode ser dividido em quatro etapas: mesófila, termófila, resfriamento e maturação. Inicialmente, os resíduos se encontram à temperatura ambiente; em seguida, a temperatura eleva-se consideravelmente, alcançando 40°C (fase mesófila), subindo até alcançar 60-70°C (fase termófila). Por último, ocorre uma fase de resfriamento e a temperatura volta a valores próximos ao ambiente. Quanto maior o calor, mais rápido se processa a decomposição, sendo considerada uma faixa ótima para a compostagem a que vai de 50 a 70°C, sendo 60°C a mais indicada (EPSTEIN, 1997).

A temperatura influi no crescimento e atividade dos microorganismos. Este fator afeta tanto o número, quanto o tipo de microorganismos presentes na pilha de compostagem, assim como a atividade microbiológica durante o processo. Quando o crescimento dos microorganismos no processo se acelera, a temperatura aumenta, bem como a razão de decomposição do material. A proliferação de microorganismos mesofílicos dentro do material gera calor a uma razão maior que a perda deste através da superfície da pilha e seus arredores, resultando em um aumento da temperatura. A parte externa da pilha funciona como uma massa protetora que permite a retenção de calor (JOSHUA et al., 1998).

A perda de calor é proporcional à área superficial da massa de composto e a geração de calor é proporcional ao volume de composto. As perdas de calor podem ocorrer por radiação e condução, mas a maioria do calor é perdido devido à evaporação da umidade da pilha, que é estimulada pelo método de aeração, passiva ou forçada, utilizada.

Quando a temperatura do composto se aproxima da temperatura do ambiente, pode-se considerar que o produto se encontra estável, mas ainda não alcançou o

grau de maturação adequado para sua utilização (EPSTEIN, 1997). Durante estas mudanças de temperatura, o volume da pilha da massa diminui consideravelmente como resultado da degradação do material inicial. A curva de temperatura com relação ao tempo de compostagem dependerá da natureza da matéria orgânica que seja utilizada no processo, disponibilidade de nutrientes, conteúdo de umidade, isolamento, tamanho da partícula e grau de aeração da pilha (DELGADO, 1989).

4.3.2.2 Umidade

É uma das variáveis mais importantes no processo de compostagem. O grau de umidade da mistura afeta outras variáveis do processo como a temperatura, atividade microbiana e a taxa de decomposição de um composto. Para assegurar uma decomposição eficiente do material, recomenda-se uma taxa 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).

4.3.3 Testes biológicos

4.3.3.1 Germinação de sementes

Ensaio e investigações têm sido realizados utilizando plantas e germinação de sementes como parâmetros de avaliação do grau de maturação na compostagem e não como parâmetro de estabilidade. Keller (1961) utilizou plantas para determinar o grau de maturação e fitotoxicidade em aplicações de compostos em testes de campo, recomendando que se utilizem esses testes em conjunto com outras análises.

As causas dos baixos índices de germinação (fitotoxicidade) podem ser associadas à presença de metais pesados, elementos inorgânicos, sais solúveis e compostos orgânicos. Estes compostos fitotóxicos podem ser produzidos durante o processo de compostagem como resultado de condições anaeróbicas. Se essas características estão presentes no composto, a germinação de sementes diminuirá dependendo do grau de

fitotoxicidade que possua a mistura. Ensaios realizados utilizando o método de germinação de sementes têm avaliado o grau de maturação em que se encontra o composto. Sementes que são colocadas em um composto imaturo não germinam, ou, se germinam, morrem rapidamente logo após a germinação (WARMANN, 1999; ZUCCONI et al., 1988; OZORES-HAMPTON et al., 1999).

Para ser considerado maduro, um composto precisa atender a alguns requisitos. Zucconi et al (1981) afirmam que índices de germinação acima de 50% sugerem que um composto está livre de fitotoxinas e sua aplicação não causará injúrias às plantas. Para Saviozzi et al. (1992), pode-se assumir que as condições de fitotoxicidade desaparecem quando os índices de germinação atingem valores acima dos 80%. Já para o Conselho de Qualidade de Compostos da Califórnia (CCQC), índices de germinação entre 80 e 90 % indicam que um composto está maduro e índices acima de 90% classificam o material como muito maduro. Um dos testes para determinar maturação de compostos orgânicos incluídos no Guia do Conselho Canadense de Ministérios do Ambiente (CCME) para qualidade de compostos orgânicos (CCME, 1996) preconiza que “a germinação de *Lepidium sativum* L. em extratos aquosos de compostos orgânicos deve atingir valores acima de 90% de germinação em relação ao controle”. Diante do exposto, verifica-se a elasticidade dos valores dos índices de germinação, sendo que os dados encontrados em trabalhos mais recentes tendem a adotar valores maiores, aumentando a segurança dos resultados no uso de compostos orgânicos.

Em estudo realizado por Ozores-Hampton et al. (1999), foram utilizados extratos de um composto imaturo (3º dia, 4 semanas e 6 semanas) para averiguar se esse material retardava ou inibia o crescimento de 14 diferentes espécies. Esse trabalho demonstrou que um composto imaturo inibiu a germinação da maioria das espécies utilizadas.

Em outros estudos, foram utilizadas sementes de pepino, rabanete e trigo para predizer qualidade e maturação. Em um trabalho realizado por De Vleeschauerwer et al. (1981), encontraram-se numerosos ácidos orgânicos em um composto fresco e só uma pequena fração quando o composto tinha 5 meses, propiciando assim uma germinação de sementes na mistura madura. Respostas similares foram reportadas por Keeling et al. (1994) quando a percentagem de germinação de sete espécies vegetais diminuiu em um composto imaturo, comparado com combinações de composto maduro.

Nos testes de germinação (testes biológicos), o grau de maturação de um composto pode ser determinado por meio de plantas indicadoras ou plantas testes. Kiehl (1985) aponta como plantas indicadoras o agrião e a cevada.

4.4 Efeitos da aplicação de um composto imaturo no solo

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

Com a aplicação de um composto imaturo no solo, produz-se um decréscimo do conteúdo de oxigênio, favorecendo a criação de zonas anaeróbias e fortemente redutoras, o que, aliado a um aumento da temperatura, pode inibir a germinação ou produzir um baixo desenvolvimento das plantas (NEGRO et al., 2000).

A presença de substâncias fitotóxicas é um fenômeno observado quando da utilização de compostos produzidos a partir de resíduos vegetais, assim como esterco que podem inibir a germinação e crescimento das plantas. Esse efeito fitotóxico é devido à formação de amônia, produzida como conseqüência da degradação da matéria orgânica residual e cuja presença, inclusive em quantidades pequenas, é tóxica para as raízes e germinação de sementes. Outro tipo de substância fitotóxica é o óxido de etileno e alguns ácidos orgânicos, como o acético, propiônico e butírico (NEGRO et al. 2000; WARMAN et al. 1999).

Sendo o baixo índice de germinação de plântulas um dos maiores problemas relacionados à aplicação de compostos imaturos no solo, alguns autores (LEE et al., 2002; GARCIA et al., 1991; MARAMBE et al., 1991; MANIOS et al., 1989; CHANYASAK et al., 1983b) estudaram fatores relacionados a esses processos de inibição de germinação. Para Lee et al. (2002), um dos maiores determinantes de baixos índices de germinação é a elevada quantidade de ácidos orgânicos nos compostos nas fases iniciais da maturação. Garcia et al. (1991) observaram que as concentrações de ácidos orgânicos como butírico, isobutírico, acético e propiônico decresceram conforme aumentou o grau de maturação dos compostos analisados.

Chanyasak et al. (1983b) avaliaram as concentrações de ácidos orgânicos, usualmente presentes em elevadas concentrações em compostos imaturos, como possíveis causadores de toxidez em plântulas, e os resultados evidenciaram que ácidos como o propiônico e o *n*-butírico foram os principais responsáveis pelo efeito inibitório do crescimento. Em outros estudos, Marambe et al. (1991) apontaram como possíveis causadores de inibição de crescimento, mudanças fisiológicas relacionada à absorção de água no período da germinação.

4.5 Humificação na compostagem

O húmus pode ser considerado um subproduto das transformações bioquímicas dos materiais orgânicos no solo. O conceito estrutural mais aceito considera que as substâncias húmicas são polifenóis remanescentes da lignina, a unidade base destas combinadas com aquelas sintetizadas pelos microrganismos que, em função da sua solubilidade relativa em álcali ou ácidos, são grosseiramente separados em ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina (CARDOSO, 1992).

O termo “humificação” tem sido amplamente usado para denominar os processos químicos e biológicos pelos quais materiais orgânicos são convertidos em substâncias húmicas, sendo que a lignina e outros produtos de degradação são considerados os maiores precursores dos compostos aromáticos que formam essas substâncias (STEVENSON, 1994). A lignina não é totalmente mineralizada durante a compostagem, pois é mais resistente pela complexidade de sua estrutura. Por outro lado, polissacarídeos como a celulose e a hemicelulose são degradados mais facilmente por bactérias e fungos.

Os ácidos húmicos (HA), fúlvicos (AF) e demais componentes do húmus são formados pelo ataque dos microrganismos especializados que transformam os restos orgânicos em material humificado. Como resultado dessa transformação biológica, a lignina e as proteínas dos restos orgânicos se associam e formam uma substância complexa, denominada “ácido húmico”. Os ácidos húmicos são coloidais, isto é, partículas extremamente pequenas que podem se combinar, por exemplo, com o cálcio, o magnésio, o potássio, dando os chamados humatos alcalinos de cálcio, de magnésio e de potássio, respectivamente, compostos que liberam facilmente esses elementos para as plantas (KIEHL, 1985).

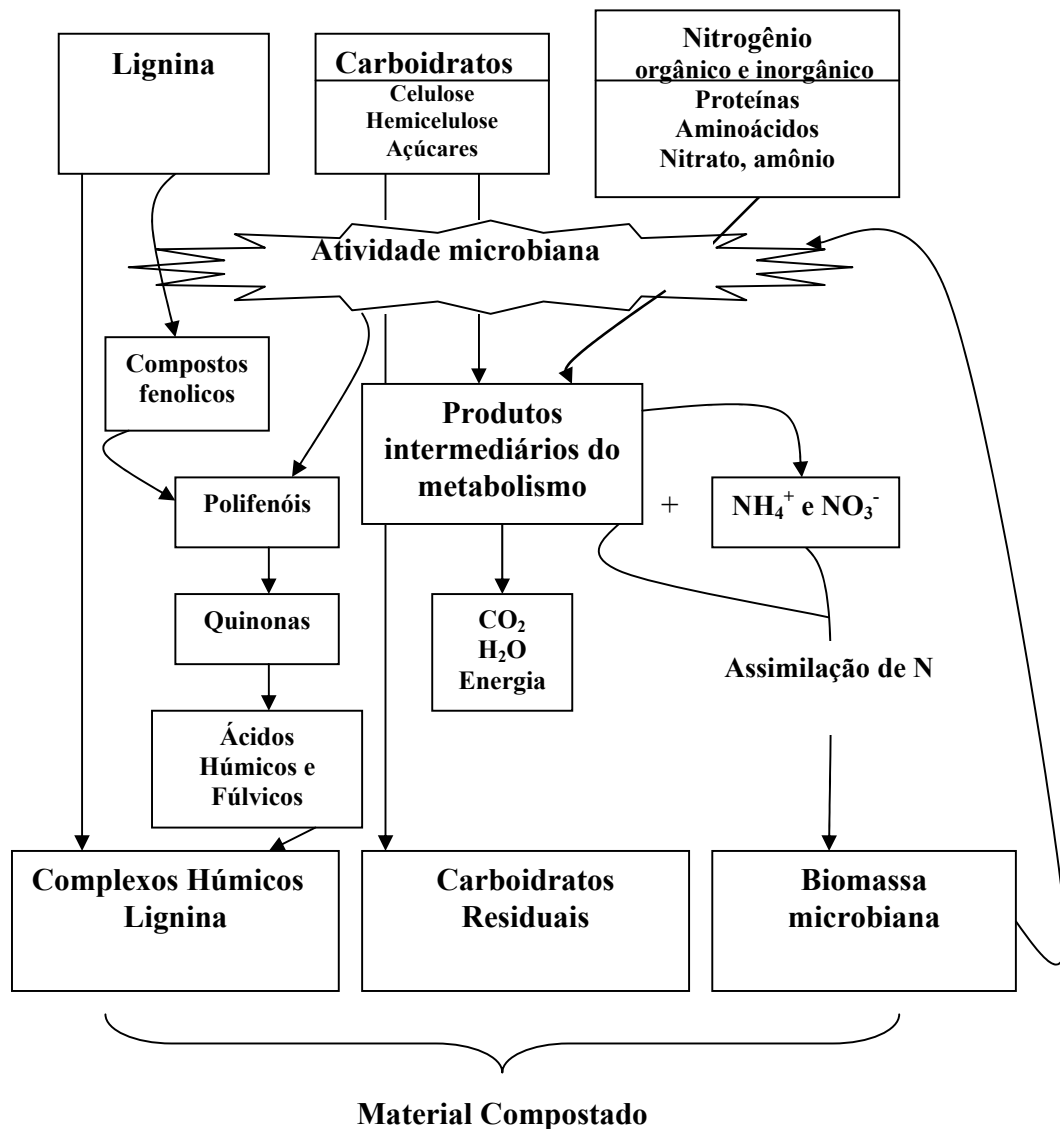


Figura 2. Mudanças químicas que ocorrem durante o processo de compostagem (Adaptado de SMITH, 1990).

Chen et al. (1996) relatam que a fração ácidos húmicos (AH), extraída em compostos maduros, se comparada àquela extraída de compostos imaturos, contém mais estruturas aromáticas e grupos carboxílicos. Estes autores observaram um aumento significativo em compostos fenólicos e grupos carboxílicos nos ácidos húmicos durante a compostagem de diferentes materiais.

Diferenças na composição dos ácidos húmicos podem ser dependentes do tipo de material usado na compostagem. Por exemplo, os ácidos húmicos extraídos durante

a compostagem de lodo de esgoto contém altas percentagens de carbonos alifáticos, associados às estruturas de polissacarídeos e proteínas, enquanto que ácidos húmicos de compostos produzidos com esterco têm composição similar aos ácidos húmicos encontrados no solo (DEIANA et al. 1990).

O grau de humificação tem sido usado como referência para saber se um processo de compostagem foi completado, ou seja, se o material está maduro (CHEN et al. 1996; BERNAL et al. 1996).

Na literatura há trabalhos que relacionam o grau de maturação de um composto com as características dos compostos húmicos presentes, associando esse parâmetro ao grau de polimerização. Tem sido usada como índice de maturação a relação carbono dos ácidos fúlvicos/carbono dos ácidos húmicos (RIFFALDI et al. 1992). No entanto, há controvérsias sobre os parâmetros que podem ser usados na composição desse índice.

O índice de polimerização, expresso pela relação AH/AF, apresenta valores crescentes ao longo do tempo, o que confere aos compostos produzidos um caráter húmico, indicando uma melhoria na qualidade do composto orgânico (ORLOY, 1998).

Saviozzi et al. (2004) e Namkoong et al. (1999) calcularam o índice de humificação (IH) dividindo-se a fração não humificada (NH) pela soma dos valores de ácidos húmicos (AH) + ácidos fúlvicos (AF). Benito et al. (2003) usam os valores de C nos ácidos húmicos divididos pelo C orgânico total, multiplicado por 100.

Em geral, ácidos fúlvicos (AF) predominam sobre ácidos húmicos (AH) em compostos imaturos. Como resultado da decomposição, a fração ácidos fúlvicos decresce, enquanto os ácidos húmicos aumentam.

4.6 Importância da Matéria Orgânica no Solo

De acordo com Kiehl (1985), a incorporação de matéria orgânica na forma de esterco animal ou de compostos orgânicos, fornece nutrientes ao solo, promovendo a melhoria da nutrição de macro e micronutrientes.

A matéria orgânica ajuda na retenção de nutrientes fornecidos através de adubos químicos, melhorando o aproveitamento dos mesmos pelas plantas, amenizando, assim, os efeitos de suas perdas para as camadas mais profundas do solo. Seus efeitos incluem

ainda, a solubilização de nutrientes em solos minerais, o que ocorre devido à ação dos ácidos orgânicos húmicos contidos nos húmus (vegetais ou animais decompostos), bem como o aumento da capacidade de troca de cátions do solo (melhoria da capacidade tampão).

Os efeitos nas propriedades físicas envolvem melhoria da estrutura (granulação) do solo, conferindo maior capacidade de absorção e armazenamento de água, possibilitando, ainda, uma boa aeração e um melhor desenvolvimento do sistema radicular.

4.7 Efeitos do uso de compostos orgânicos no cultivo de alface

A adubação orgânica tem grande importância no cultivo de hortaliças, principalmente em solos de clima tropical. onde a mineralização da matéria orgânica se realiza intensamente, e onde seu efeito é bastante conhecido nas propriedades químicas e biológicas do solo (SENESI, 1989; SWIFT e WOOMER, 1993).

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida, sendo de grande importância no país e no mundo inteiro do ponto de vista econômico (SONNEMBERG, 1985). É uma planta herbácea, delicada, com pequeno caule no qual se prendem as folhas, que crescem em forma de roseta. Apresenta ciclo curto, grande área foliar e sistema radicular pouco profundo, exigindo solos areno-argilosos, ricos em matéria orgânica e com boa quantidade de nutrientes prontamente disponíveis (FILGUEIRAS, 2000).

Vidigal et al. (1995) também mencionam que o solo ideal para o cultivo dessa hortaliça é o areno-argiloso, rico em matéria orgânica e com boa disponibilidade de nutrientes e, para maior produtividade, é necessário o uso de insumos que melhorem as condições físicas, químicas e biológicas do solo.

Apesar do uso de matéria orgânica ser uma prática bastante antiga, existem poucas informações sobre os efeitos no rendimento e qualidade da alface quando submetidos à aplicação de diferentes materiais orgânicos (CASTRO e FERRAZ JUNIOR, 1984). A cultura apresenta grande resposta à adubação nitrogenada (KIEHL, 1985), possuindo, ainda, um elevado potencial de produção com adubos orgânicos (SANTOS et al. 2001).

Rodrigues (1990), avaliando a aplicação de adubos orgânicos em alface, observou aumentos na produção e nos teores de nutrientes nas plantas. Asano (1984)

estudou o efeito da aplicação de fertilizantes orgânicos e minerais e relata que plantas de alface com menores teores de N-total apresentaram maiores teores de açúcares solúveis totais na matéria fresca. Santos et al. (1994), avaliando cinco doses de composto orgânico (0, 22,8, 45,6, 68,4 e 91,2 t/ha) observaram que com o aumento das doses de composto orgânico, os teores de matéria seca e açúcares solúveis decresceram enquanto a produção de matéria fresca foi aumentada.

Vidigal et al. (1997), estudando o efeito de diferentes compostos orgânicos, atribuíram as menores produtividades de alface, cv. Carolina, a compostos orgânicos que não haviam mineralizado o suficiente para nutrir as plantas, como por exemplo, o bagaço de cana-de-açúcar, quando comparado à palha de café.

Nakagawa et al. (1992), cultivando alface cultivar Brasil-48 concluíram que a utilização de 150 g de composto orgânico por vaso de diferentes resíduos agrícolas não produziu diferença significativa para biomassa fresca de folhas e caules.

Villas Boas et al. (2004) avaliando o efeito de três doses (30, 60 e 120 t/ha) de composto orgânico de três composições distintas, observaram que o composto de palhada de feijão aumentou a biomassa fresca da parte aérea e a quantidade de N, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe e Zn nas plantas de alface.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Descrição geral dos experimentos

A primeira etapa do experimento (compostagem) foi desenvolvida no Pátio de Compostagem (instalação coberta) do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônômicas “Campus” UNESP-Botucatu-SP.

A segunda etapa consistiu de dois experimentos com cultivo de alface (*Lactuca sativa* L), conduzidos em casa de vegetação com ventilação e ambiente controlados do Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, Campus de Botucatu - São Paulo.

5.2 Caracterização da área de estudo

A localização da área dos experimentos se dá aos 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).

5.3 Caracterização dos resíduos

Para obtenção dos compostos foram utilizados resíduos do processamento de plantas medicinais, fornecidos pela Centroflora Anidro do Brasil, e esterco de bovino gerado no confinamento dos novilhos precoces, projeto temático intitulado “Crescimento de bovinos de corte no modelo biológico super precoce”, (processo nº 99/05195-5, financiado pela FAPESP) coletado nas baias, contendo fezes, urina e restos de ração.

Na extração do princípio ativo das plantas, foram utilizadas as seguintes partes: Unha de gato (galhos), Cáscara sagrada (cascas), Ipê Roxo (cascas) e Boldo (folhas). A razão da escolha dos referidos materiais foi a diferença entre características químicas dos mesmos e a disponibilidade na época da coleta.

A caracterização dos materiais utilizados é apresentada na Tabela 1 e Figura 3.

Tabela 1. Caracterização dos materiais utilizados para compostagem.

	Esterco	Unha de Gato	Cáscara Sagrada	Ipê Roxo	Boldo
pH	4,9	5,2	5,4	5,1	4,5
CE (dSm.m ⁻¹)	6,5	2,6	2,8	2,1	1,3
Umidade (%)	50,0	10,0	40,0	12,0	30,0
Relação C/N	13/1	154/1	42/1	56/1	12/1
Holocelulose (%)	-	35,3	52,2	28,0	25,0
Lignina (%)	-	55,8	37,9	53,1	31,0
	----- g kg⁻¹ -----				
N (total) ¹	23,5	3,9	11,9	9,2	34,1
P ₂ O ₅ (total) ¹	16,0	1,4	5,3	1,0	1,0
K ₂ O (total) ¹	13,3	2,6	8,3	1,0	3,0
Mat.Orgânica (total) ¹	532,4	940,0	900,0	930,0	728,0
Carbono (total) ¹	295,8	522,2	500,0	516,7	410,0
Cálcio ¹	22,8	37,4	29,1	44,8	25,2
Magnésio ¹	5,0	4,1	4,7	3,0	3,1
	----- mg kg⁻¹ -----				
Ferro ¹	3250	208,6	468,3	206,5	105,2
Cobre ¹	82	25,0	32,5	3,1	25,6
Manganês ¹	124	303,3	154,6	106,0	99,0
Zinco ¹	142	38	78,0	28,6	33,0

¹ Determinado de acordo Lanarv (1988);



Figura 3. Aspecto visual do material usado na composição das pilhas.

5.4 O Processo de Compostagem

A condução do processo de compostagem ocorreu no período de 06 de setembro de 2003 à 06 de janeiro de 2004.

As pilhas de compostagem foram montadas com aproximadamente 1 m³ de volume, em forma trapezoidal, utilizando resíduos oriundos do processamento das quatro plantas medicinais, sendo: 1. Unha-de-gato (*Uncaria tomentosa*); 2. Cáscara Sagrada (*Rhamnus Purshianus*), 3. Ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa*) e 4. Boldo (*Phaemus boldus*). Para a construção de cada pilha foi adicionado esterco bovino na proporção que equilibrasse a relação C/N em 30:1, considerada adequada para o bom desempenho do processo de compostagem (KIEHL, 2002).

Combinações das pilhas de compostagem (Tratamentos):

- a) **Pilha 1.** Resíduos de unha de gato + esterco bovino;
- b) **Pilha 2.** Resíduos de cascara sagrada + esterco bovino;
- c) **Pilha 3.** Resíduos de ipê roxo + esterco bovino;

d) **Pilha 4**. Resíduos de boldo + esterco bovino;

e) **Pilha 5**. Todos os anteriores + esterco bovino.

Tabela 2. Peso dos materiais utilizados nas misturas para composição das pilhas.

	Esterco	Unha de Gato	Cáscara Sagrada	Ipê Roxo	Boldo	Mistura (Peso Seco)
	----- kg -----					
Pilha 1	100,0	54,0	-	-	-	154,0
Pilha 2	40,0		114,0	-	-	154,0
Pilha 3	80,0	-	-	74,0	-	154,0
Pilha 4	Calda ¹	-	-	-	100,0	100,0
Pilha 5	35,0	30,0	30,0	30,0	30,0	155,0

1. O resíduo de boldo apresentava relação C/N baixa (12/1), razão pela qual utilizou-se esterco bovino apenas como fonte de inoculo (mistura de esterco com água).

Os resíduos foram misturados em uma betoneira.

A partir da montagem das pilhas, a temperatura foi medida 2 vezes por dia em quatro pontos e duas profundidades (superfície e meio da pilha). Semanalmente foram coletadas amostras para determinação da umidade, sendo esta determinada em laboratório de acordo com Kiehl (1985). Aos 8, 22, 33, 45 e 60 dias, as pilhas foram reviradas para proporcionar aeração à mistura.

5.4.1 Avaliações

Aos 0, 30, 60, 90 e 120 dias do início do processo de compostagem foram coletadas amostras para testes químicos e biológicos. Cada uma das análises foi feita com 4 repetições:

1. pH e condutividade elétrica, determinados em água, respectivamente, de acordo com metodologia proposta por Kiehl (2002);

2. Determinações de amônio, nitrato, substâncias húmicas e carbono orgânico total, realizadas no Departamento de Edafologia da Universidade Politecnica de Madrid - Espanha. Sendo: Amônio (extraído com 2 M de KCl) e Nitrato (extraído em água), quantificados através de um ionômetro de eletrodos seletivos marca Orion modelo 920 (KEENEY E NELSON, 1982); Substâncias húmicas (ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF) : extraídas de acordo com Dabin (1971), pesando-se 3g do material em tubos de centrífuga, adicionando-se 100ml de Na₄P₂O₇ (0,1N) e agitando por 10 min, seguido por

centrifugação por 10min a 3500rpm. Foram adicionados então 100ml de NaOH 0,1N, seguidos de agitação e centrifugação como descrito anteriormente. O sobrenadante foi coletado e o processo repetido até o ponto em que o extrato tornava-se transparente. Os extratos AH e AF foram obtidos e o carbono contido nesse material foi determinado com dicromato de potássio em meio sulfúrico (BLACK, 1965). A partir da quantificação do carbono dos ácidos húmicos e fúlvicos, foi calculado o índice de polimerização (IP) através da expressão:

$$\mathbf{IP = AH/HF.}$$

3. Macronutrientes e carbono total. determinados de acordo com (LANARV, 1988);

4. Teste de germinação, determinado segundo Zucconi et al. (1988), utilizando o extrato aquoso das amostras através da mistura de 5g de amostra moída e seca ao ar com 50 ml de água destilada a 60°C, agitando-se em seguida durante 30 minutos e filtrando-se até obter um extrato transparente. Foram utilizadas placas de Petri forradas com papel de filtro (Whatman nº3), umedecidas com 6 ml do extrato obtido na etapa anterior, sendo então colocadas 20 sementes de agrião (*Lepidium sativum*), que permaneceram durante 72 horas em câmara escura a 26°C. Utilizou-se como testemunha placas irrigadas com água destilada e os índices de germinação foram calculados em relação a essa testemunha. O índice de germinação foi calculado através da seguinte fórmula:

$$\mathbf{IG = \%G * Lm / Lc, \text{ onde:}}$$

IG= Índice de germinação

%G= Porcentagem de germinação em relação ao controle;

Lm= Longitude média das raízes da amostra (cm) e

Lc= Longitude média das raízes do controle (cm).

O material da pilha 4 não apresentou aumento na temperatura ao longo do tempo, o que caracteriza que esse material não “compostou” e, por isso, foi excluído desse estudo. Por questões de praticidade, passou-se a denominar os compostos produzidos com os materiais da Pilha 1 como (C1), Pilha 2 (C2), Pilha 3 (C3) e Pilha 5 (C4).

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

Conforme já citado anteriormente, foram instalados em casa de vegetação, dois experimentos consecutivamente, utilizando-se vasos plásticos com capacidade de 3,5 litros, que foram preenchidos com 3,5 litros da camada superficial de um Latossolo Vermelho, que foi seco e peneirado em etapa anterior.

5.5.1 Caracterização do solo

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Escuro (CARVALHO et al. 1983), podendo ser denominado pela nova nomenclatura como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 1999).

A composição química e granulométrica do solo utilizado no experimento pode ser vista nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3. Características químicas do solo utilizado no experimento.

pH	M.O.	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----		mmol _c dm ⁻³		-----		(%)
4,1	19	2,0	64	0,6	1,0	0,4	2,0	66	15
Micronutrientes									
Boro		Cobre		Ferro		Manganês		Zinco	
-----		-----		mg dm ⁻³		-----		-----	
0,26		1,0		57,0		0,3		0,1	

Tabela 4. Composição granulométrica do solo.

Areia Total	Argila	Silte
>0,05mm	<0,002mm	0,5-0,002mm
----- g kg ⁻¹ -----		
730	160	110

A calagem foi feita com a aplicação de calcário dolomítico (PRNT=91%) para elevar a saturação por bases do solo a 80%, segundo recomendação de Rajj et al. (1997) para a cultura da alface. Após a mistura, o solo foi incubado a uma umidade próxima a 80% durante 20 dias. No final desse período, foram retiradas amostras de solo para medir saturação por bases. Posteriormente, foram efetuadas adubações com 100mg K L⁻¹ de solo (cloreto de potássio), 150mg P L⁻¹ de solo (superfosfato triplo) e 1g de FTE por vaso (7%

de Zn; 2,5% de B; 1% de Cu; 5% de Fe; 10% de Mn e 0,1% de Mo). O nitrogênio foi fornecido via composto. Os resultados da análise de solo pós-incubação podem ser vistos na Tabela 5.

No segundo ciclo, cujo objetivo foi avaliar o efeito residual do composto orgânico no fornecimento de nitrogênio, foi incorporada apenas a adubação a base de fósforo e potássio.

Tabela 5. Características químicas do solo após calagem e adubação.

pH	M.O.	P	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V
CaCl ₂	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----		mmol _c dm ⁻³	-----			(%)
6,5	22	76	14,0	2,0	44,0	15,0	61,0	75,0	81,0

5.5.2 Tratamentos

Os tratamentos utilizados foram:

- T- Testemunha (Sem N mineral), adubado com P e K;
- C1₃₀-Composto orgânico proveniente da Pilha 1 (30 t ha⁻¹);
- C1₆₀-Composto orgânico proveniente da Pilha 1 (60 t ha⁻¹);
- C1₉₀- Composto orgânico proveniente da Pilha1 (90 t ha⁻¹);
- C1₁₂₀- Composto orgânico proveniente da Pilha 1 (120 t ha⁻¹);
- C2₃₀-Composto orgânico proveniente da Pilha 2 (30 t ha⁻¹);
- C2₆₀-Composto orgânico proveniente da Pilha 2 (60 t ha⁻¹);
- C2₉₀- Composto orgânico proveniente da Pilha 2 (90 t ha⁻¹);
- C2₁₂₀- Composto orgânico proveniente da Pilha 2 (120 t ha⁻¹);
- C3₃₀-Composto orgânico proveniente da Pilha 3 (30 t ha⁻¹);
- C3₆₀-Composto orgânico proveniente da Pilha 3 (60 t ha⁻¹);
- C3₉₀- Composto orgânico proveniente da Pilha 3 (90 t ha⁻¹);
- C3₁₂₀- Composto orgânico proveniente da Pilha 3 (120 t ha⁻¹);
- C4₃₀-Composto orgânico proveniente da Pilha 5 (30 t ha⁻¹);
- C4₆₀-Composto orgânico proveniente da Pilha 5 (60 t ha⁻¹);
- C4₉₀- Composto orgânico proveniente da Pilha 5 (90 t ha⁻¹);
- C4₁₂₀- Composto orgânico proveniente da Pilha 5 (120 t ha⁻¹);

5.5.3 Caracterização dos compostos orgânicos

O composto orgânico utilizado encontrava-se curtido e com as seguintes características (Tabela 6).

Tabela 6. Caracterização dos compostos orgânicos produzidos (teores totais).

	C 1*	C 2*	C 3*	C 4*
pH	7,11	7,59	7,82	7,51
CE (dScm ⁻¹)	6,51	6,55	6,57	6,92
Relação C/N	12/1	11/1	9/1	13/1
----- g kg ⁻¹ -----				
N (total)	11,9	19,3	25,2	21,5
P ₂ O ₅	44,8	47,9	41,3	37,7
K ₂ O	13,1	12,6	11,2	11,0
C (total)	222,5	224,3	226,2	287,5
MO (total)	400,5	403,8	406,8	517,6
Cálcio	29,3	35,8	27,4	13,2
Magnésio	11,49	15,0	14,2	13,6
----- mg kg ⁻¹ -----				
Cobre	176,3	162,6	138,0	110,0
Ferro	2305,3	2050,0	1456,6	1253,3
Manganês	202,1	255,3	180,6	229,3
Zinco	285,6	317,3	252,0	90,0

*1- Composto produzido a partir de esterco + resíduos de unha de gato; C2- Composto produzido a partir de esterco + resíduos de cáscara sagrada; C3- Composto produzido a partir de esterco + ipê roxo; C4- Composto produzido a partir de esterco + mistura de resíduos de unha de gato, cáscara sagrada, ipê roxo e boldo, respectivamente.

5.5.4 Plantio das mudas e condução

O primeiro experimento foi conduzido de 01 de fevereiro a 17 de março de 2005 (45 dias de ciclo). O segundo experimento foi conduzido de 4 de abril a 19 de maio de 2005 (45 dias de ciclo).

Foram utilizadas mudas da cultivar de alface crespa Verônica, sendo transplantada uma planta por vaso.

Durante a condução do experimento, a temperatura média foi mantida em torno de 27°C e a umidade do solo a 70% da capacidade de campo (através de pesagens diárias).

Na Figura 4 são apresentadas as várias fases do ciclo da alface.



Figura 4. Fases do primeiro ciclo da alface (a) 3 dias após o transplântio, (b) 15 dias, (c) 30 dias e (d) 45 dias após o transplântio.



Figura 5. Fases do segundo ciclo da alface (a) 3 dias após o transplântio, (b) 15 dias, (c) 30 dias e (d) 45 dias após o transplântio.

5.5.5 Avaliações

5.5.5.1 Produção de matéria seca e análise química de plantas

Em ambos os casos (primeiro e segundo ciclo da alface), aos 45 dias após o transplante, as plantas foram cortadas rentes ao solo, pesadas para determinação da massa fresca e contados números de folhas. Em seguida, foram levadas para secar em estufa com ventilação forçada a 65°C, até atingirem peso constante, sendo então pesadas (constituindo matéria seca da parte aérea), moídas e enviadas ao Laboratório de Análise Química de Planta do Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo de acordo com metodologia modificada de Malavolta et al. (1997). O acúmulo de macronutrientes foi calculado multiplicando a matéria seca pela concentração de nutriente da parte aérea de cada planta.

5.5.5.2 Análise Química do solo

Foram também coletadas amostras de solo no início e final do primeiro ciclo, bem como ao final do segundo ciclo, que foram secas ao ar, peneiradas e enviadas ao Laboratório de Fertilidade de Solos do Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo para determinação de pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, hidrogênio + alumínio, cálcio e magnésio, seguindo metodologia de Raij e Quaggio (1983).

5.5.5.3 Clorofilômetro

A intensidade da coloração verde da folha (ICV) foi determinada pelo medidor portátil Chlorophyll Meter, modelo SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development) da Minolta Co., Osaka, Japão. A precisão do aparelho é de uma unidade SPAD para valores entre 0 e 50 unidades SPAD. A coleta de dados foi realizada no 45º dia de condução do experimento nas primeiras horas da manhã. A medida de ICV foi tomada posicionando a folha na área de medida do clorofilômetro, totalizando 4 medidas por folha.

5.6 Delineamento experimental e análise dos dados obtidos

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial (4 x 4) com um tratamento adicional (testemunha). Os fatores foram: testemunha (sem N), compostos orgânicos (1, 2, 3 e 4), quatro níveis (30, 60, 90 e 120 t ha⁻¹) e quatro repetições, totalizando 68 unidades experimentais.

Os resultados foram submetidos à análise estatística, de acordo com Gomes (2000), utilizando o software “SISVAR”, versão 4.2 (FERREIRA, 2003).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Compostagem

6.1.1 Temperatura

Na Figura 6 pode ser observada a variação de temperatura medida diariamente durante os primeiros 90 dias de compostagem.

Verificou-se, para todas as pilhas, que a temperatura aumentou rapidamente nos primeiros dias, indicando que o processo de compostagem estava se desenvolvendo adequadamente, sendo que já na primeira semana todos os materiais alcançaram temperaturas entre 50 e 60°C (ideais para o início da fase de estabilização e cura) e esses índices foram mantidos até os 40 dias, quando a temperatura começou a cair, voltando à fase mesófila. Isto indica que o composto estava na fase de semicura ou estabilização. Comportamento semelhante foi observado por Cezar (2005), durante a compostagem de esterco de bovinos + serragem de madeira.

A pilha 5 apresentou os maiores valores de temperatura (em torno de 60°C) durante a fase termófila. Tal fenômeno pode ser atribuído à composição dos materiais usados nas pilhas, ou seja, sendo esta pilha composta por uma diversidade maior de materiais, houve influência positiva no desenvolvimento dos microrganismos e, conseqüentemente na temperatura, que é função direta da atividade biológica dos materiais. Segundo Kiehl (2002), temperaturas prolongadas acima de 70°C reduzem a atividade benéfica dos microrganismos e aumentam a possibilidade de perdas de N por volatilização da amônia.

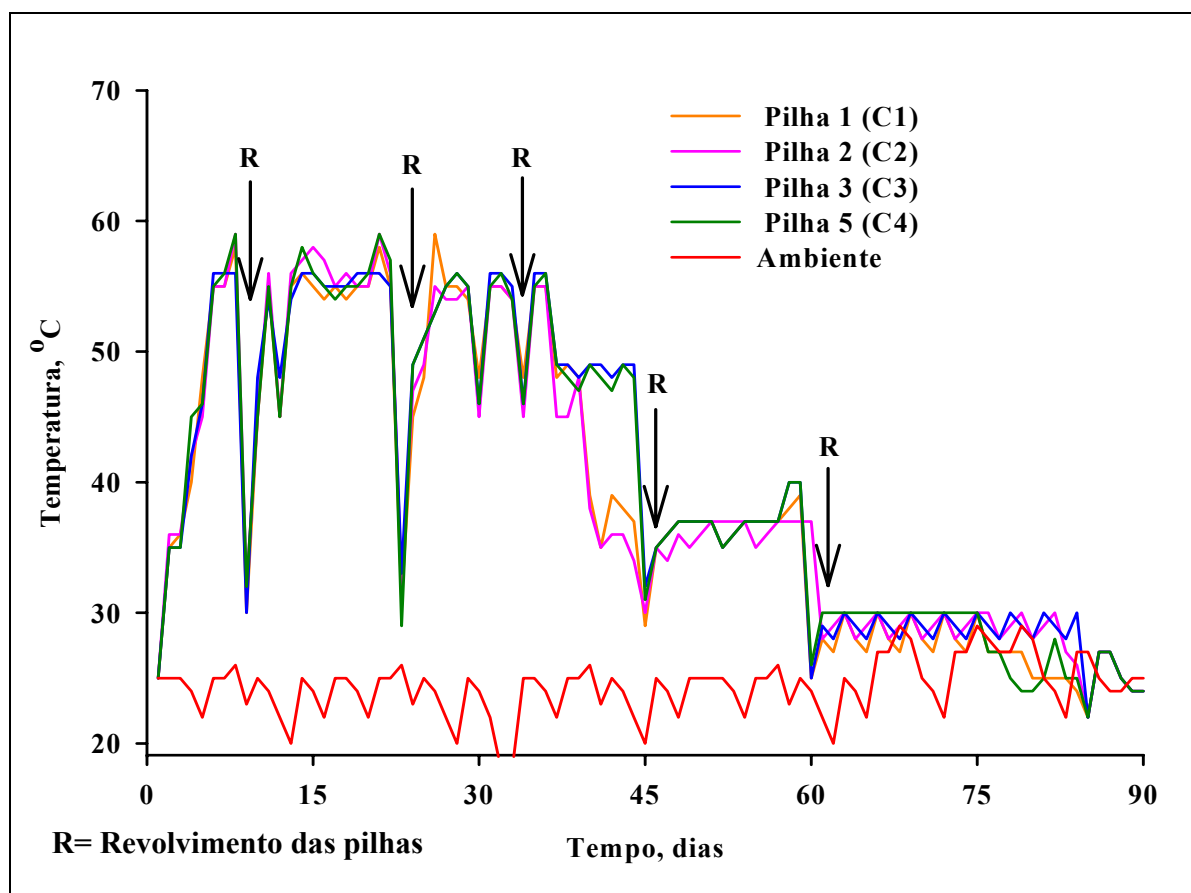


Figura 6. Temperatura para as cinco pilhas de compostagem medida durante 90 dias.

As variações bruscas de temperatura do composto ocorreram apenas quando as leiras foram reviradas para homogeneizar o material e permitir aeração da mistura.

De modo geral observou-se que, durante o processo, a evolução da temperatura seguiu o padrão de comportamento esperado em um processo de compostagem bem conduzido.

6.1.2 Carbono total, nitrogênio total e relação C/N

A Figura 7 mostra as mudanças ocorridas nas concentrações de carbono total e relação C/N durante o período de decomposição ao longo de 120 dias de compostagem. Tendências similares podem ser observadas para os compostos C1, C2 e C3, sendo que o comportamento dos dados foi explicado através de equações quadráticas. Os

dados referentes ao composto C4 não permitiram ajustes de equações. As equações quadráticas indicam tendências de queda de valores no início do processo, seguidas de estabilização ao final. Este comportamento era esperado, uma vez que quando o composto se estabiliza e matura, o conteúdo de carbono e nitrogênio disponível para os microrganismos é utilizado, reduzindo a relação C/N inicial. De acordo com Kiehl (2002), rápidas alterações da matéria prima ocorrem nos primeiros 40 a 60 dias de compostagem. Em relação ao teor inicial, cerca de 50% da matéria orgânica são metabolizados e convertidos, principalmente, em gás carbônico e vapor d'água.

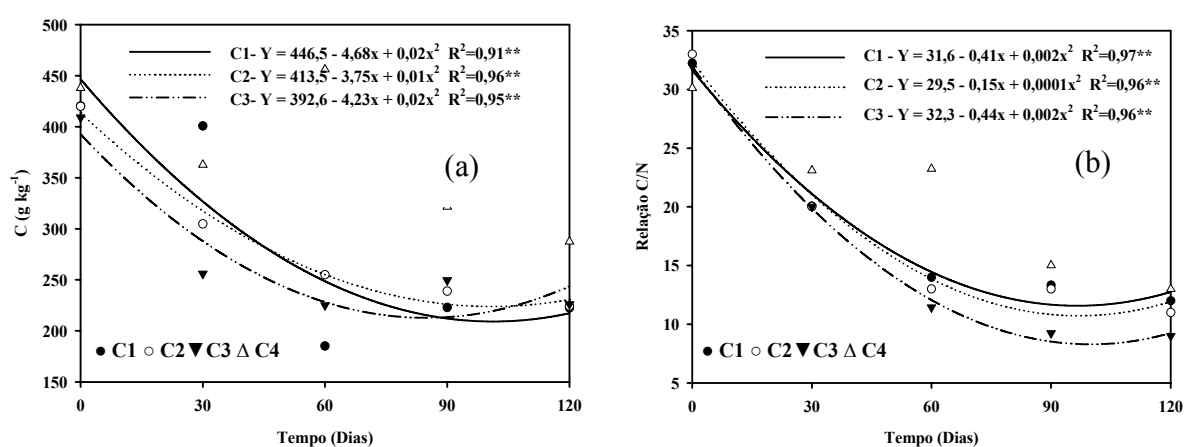


Figura 7. Evolução das concentrações de carbono total (C) (a) e relação C/N (b) para 4 compostos durante 120 dias.

Na Tabela 7 podem ser observados os dados referentes às médias dos valores de carbono total, matéria orgânica e relação C/N. Os valores de C total e matéria orgânica refletem a grande proporção de material decomposto durante a compostagem, o que pode ser verificado pelas reduções significativas nos primeiros 30 dias para os compostos C2, C3 e C4. A exceção foi o C1, que apresentou a menor proporção de redução no carbono e na matéria orgânica até os 30 dias. Tal fato pode ser explicado pela observação da Tabela 1 (caracterização dos materiais), onde se verifica que a unha de gato é o componente que tem maior percentagem de lignina entre os demais. Sabe-se que materiais ricos em lignina tendem a apresentar decomposição mais lenta que aqueles com menor concentração desse componente. As diferenças significativas observadas entre os compostos avaliados nas diferentes fases de amostragem sugerem que a composição dos materiais que constituem uma mistura tem influência marcante na evolução do processo de compostagem. Todos os

compostos apresentaram, no final do processo, valores de matéria orgânica igual ou acima de 40%, recomendados como mínimos para comercialização de acordo com a legislação brasileira.

Tabela 7. Evolução do Carbono total. Matéria orgânica e relação C/N para 4 compostos ao longo de 120 dias.

Trat	Tempo (dias)				
	0	30	60	90	120
	----- C (g kg ⁻¹) -----				
C1	420 a	400 a	185 c	223 c	222 b
C2	419 a	304 c	255 b	239 b	224 b
C3	409 b	256 d	225 b	249 b	226 b
C4	438 a	362 b	456 a	321 a	287 a
	----- MO (g kg ⁻¹) -----				
C1	756 b	721 a	333 d	401 c	400 b
C2	755 b	548 b	459 b	430 b	403 b
C3	736 b	460 c	405 c	449 b	406 b
C4	788 a	652 b	820 a	579 a	517 a
	-----Relação C/N -----				
C1	32/1 a	20/1 a	14/1 b	13/1 a	12/1 a
C2	33/1 a	20/1 a	13/1 c	13/1 a	11/1 a
C3	32/1 a	20/1 a	11/1 c	9/1 b	9/1 b
C4	30/1 a	23/1 a	23/1 a	15/1 a	13/1 a

* Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Ainda na Tabela 7, verifica-se que a relação C/N decresceu durante a chamada fase biooxidativa (fase de maior atividade microbiana), resultando na decomposição da matéria orgânica. Não houve diferença significativa entre os compostos nos tempos 0 e 30 dias. Aos 60 dias, o C4 apresentava a maior relação C/N entre os demais, fato que se seguiu até o final do processo, que pode ser explicado pela diversidade de materiais na composição dessa pilha. Rivera-Rosário (2003) afirma que o tipo e a composição do material compostado influenciam na relação C/N do produto final, podendo mostrar variações de 5:1 a 20:1. Contrariando os autores acima citados, Chanyasak e Kubota (1981) realizaram estudos sobre as mudanças na relação C/N de diferentes resíduos e estes revelaram que a relação C/N de vários compostos maduros mostraram valores constantes entre 5 e 6, sem importar o tipo de material que se utiliza na compostagem.

A relação C/N tem sido usada como parâmetro de maturação por vários autores (KIEHL, 1985; BERNAL et al. 1998; NAMKOONG et al. 1999; RIVERA-ROSARIO, 2003; BENITO et al. 2003; HUANG et al. 2004). É consenso entre esses autores que quando a relação C/N está em torno de 18/1, o composto atingiu a fase de semi-cura ou bioestabilização e a relação C/N em torno de 10/1 configura um composto humificado. De acordo com essa classificação, os compostos avaliados podem ser considerados humificados.

6.1.3 pH

O pH foi medido durante o processo de compostagem em todas as pilhas objetivando avaliar a utilidade de tal parâmetro como ferramenta para medir o grau de maturação do composto produzido.

As mudanças durante a compostagem podem ser observadas na Figura 8, onde está representado um comportamento típico, havendo uma ligeira acidificação no início, seguida de uma elevação no pH, atingindo valores próximos da alcalinidade ao final do processo. Tal variação também foi verificada por outros autores, que avaliaram materiais orgânicos (EPSTEIN, 1997, JIMENEZ e GARCIA, 1989, RIVERA- ROSARIO, 2002). Os dados referentes ao composto C4 não permitiram ajuste de modelo estatístico.

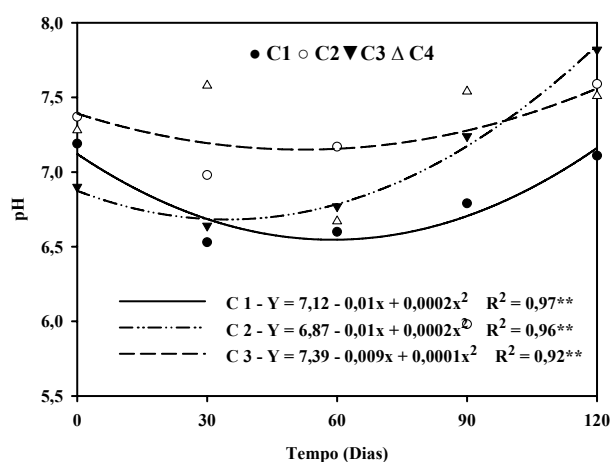


Figura 8. Valores de pH ao longo dos 120 dias de compostagem.

Para Peixoto (1988), o pH dos resíduos orgânicos no início da compostagem é em geral levemente ácido, ou seja, com valores entre 5,0 e 6,0. A produção de ácidos orgânicos nos estádios iniciais da decomposição pode provocar um rápido decréscimo

do pH. Em poucos dias, entretanto, ocorre uma recuperação rápida atingindo valores entre 7,0 e 8,0, aí permanecendo até o final do processo, com possibilidade de pequena queda. A faixa de variação ótima do pH para o desenvolvimento da maioria dos microrganismos está entre 6,5 e 8,0.

Pela Tabela 8 pode-se verificar, através das diferenças significativas entre os valores de pH para as pilhas em cada um dos tempos avaliados, que a composição e as características do material compostado, bem como o pH inicial da mistura têm influência no desenvolvimento do processo de compostagem.

Tabela 8. Valores médios de pH para as 4 pilhas de compostagem ao longo de 120 dias.

Trat	Tempo (dias)				
	0	30	60	90	120
	----- pH -----				
C1	7,1 ab	6,5 c	6,6 b	6,7 b	7,1 b
C2	7,3 a	6,9 b	7,1 a	5,9 c	7,5 a
C3	6,9 b	6,6 bc	6,7 b	7,2 a	7,8 a
C4	7,2 ab	7,5 a	6,6 b	7,5 a	7,5 a

*Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Os valores de pH obtidos ao longo do processo situaram-se dentro da faixa considerada adequada (6,0 e 8,0) para um processo de compostagem bem conduzido. A exceção foi o valor para o C 2, que aos 90 dias apresentou decréscimo (5,9), o que também é considerado normal. Segundo Peixoto (1998), admite-se a possibilidade de pequenas quedas ao final do processo, sem prejuízo da qualidade do material. No presente trabalho, os valores aumentaram no final do período avaliado.

Teixeira et al. (2002), avaliando características químicas de compostos orgânicos produzidos com lixo urbano, cama de frango e esterco bovino, encontraram valores de pH que variaram entre 6,0 e 7,5 ao final da compostagem. Manhães (1993), utilizando bagaço de cana, torta de filtro e cama de curral como mistura, também obteve valores semelhantes.

O comportamento do pH em todos os compostos sugere que este índice poderia ser utilizado como um parâmetro de fácil avaliação para medir o grau de maturação de um composto. Entretanto, a amplitude de valores de um material para outro pode ser um fator limitante para o uso desse parâmetro.

6.1.4 Condutividade Elétrica

As médias encontradas não permitiram ajustes de equações de regressão, razão pela qual os dados são apresentados apenas em tabela.

Para o composto C1, ocorreu aumento dos valores aos 60 dias (Tabela 9). Tal comportamento é contrário ao que preconizam relatos encontrados na literatura sobre o tema, onde os valores tendem a decrescer ao longo do tempo. Kiehl (2002) alerta que a condutividade deve diminuir com a compostagem, estabilizando em um valor próximo a 50% da leitura inicial.

Tabela 9. Valores médios de condutividade elétrica para as 4 pilhas de compostagem ao longo de 120 dias.

Trat	Tempo (dias)				
	0	30	60	90	120
----- d S m ⁻¹ -----					
C1	8,49 a	7,24 b	8,59 a	6,38 ab	6,51 a
C2	7,38 b	9,80 a	6,45 b	6,14 ab	6,55 a
C3	7,84 bc	6,34 c	6,37 b	6,91 a	6,57 a
C4	6,54 c	5,57 c	5,69 b	5,85 b	6,92 a

* Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Para os compostos C3 e C4 a tendência foi inversa, havendo redução nos valores até os 60 dias, seguida por aumento nas avaliações finais. Levi-Minze et al. (1992) determinaram a CE em amostras de composto de 0 aos 120 dias de maturação e descreveram valores que variaram entre 7,5 (início) e 2,4 d Sm⁻¹ (final do processo).

Os testes de médias mostrados na Tabela 9 evidenciaram que houve diferença significativa na CE medida nas diferentes fases da compostagem. De 0 a 90 dias, as amostras apresentaram valores de CE bastante variáveis, sendo que aos 120 dias não foi verificada diferença significativa entre os valores de CE medidos nos compostos C1, C2, C3 e C4. Esses resultados evidenciam uma tendência de estabilização de valores ao final do processo, independente do material utilizado na composição das pilhas.

Os elevados valores de CE foram diferentes dos relatados na literatura. De acordo com Craul e Switzenbaun (1996) e Garcia et al. (1992), a salinidade de um composto orgânico não deve exceder a 4,0 mohms cm⁻¹ (ou dS m⁻¹) ou 2560 ppm de sais, sob pena de causar perdas de produção. No presente trabalho, para os compostos avaliados, a

CE apresentou valores elevados, variando entre 6,92 e 8,49 dSm^{-1} . Esses resultados, contrariando conceitos postulados na literatura, podem ser explicados através da verificação da Tabela 1 (caracterização dos materiais utilizados na composição das pilhas). Os valores de CE do esterco bovino (usado como fonte de N) são altos ($6,5 \text{ dSm}^{-1}$) e foram responsáveis pelos altos valores de CE já no início do processo. Wang et al. (2004) avaliando índices de maturação para compostos orgânicos produzidos a partir de resíduos de confinamentos de vacas leiteiras, criação de suínos e serragem, encontraram valores altos, portanto, discordantes dos demais autores. Nos compostos produzidos a partir de esterco de bovino (puro) e esterco de bovino + serragem, a condutividade elevou-se com o tempo (de 7,0 para 21 dS m^{-1}), enquanto que para o composto produzido com esterco de suínos os valores decresceram com o tempo (de 12,0 para $6,0 \text{ dS m}^{-1}$). Francou et al. (2005), avaliando parâmetros de maturação em compostos produzidos a partir de combinações de lodo de esgoto e resíduos vegetais, também observaram valores de CE crescentes ($0,61$ a $3,6 \text{ dS m}^{-1}$) e explicaram que esse fato ocorre devido ao aumento da concentração de cátions devido a redução da massa do composto. Ainda segundo os mesmos autores, persistindo a dúvida, faz-se necessário o uso de um teste de germinação, que poderá indicar se o substrato apresenta condições de fitotoxicidade.

Baseado no exposto torna-se difícil o uso da CE como teste para avaliação da maturação de um composto, já que seus resultados apresentam variações pouco preditivas.

6.1.5. Amônio e Nitrato

Como pode ser observado na Figura 9, as concentrações de NH_4^+ decresceram ao longo dos 120 dias de compostagem, comportamento contrário ao das concentrações de NO_3^- . Paré et al. (1997), afirmam que o comportamento inverso desses dois parâmetros sugere que um intensivo processo de decomposição biológica foi completado e o composto alcançou um estado de maturidade. Sánchez-Monedero et al. (2001), avaliando mudanças nos teores de nitrato e amônio na compostagem de misturas de materiais como lodo de esgoto, palhada de sorgo e casca de *pinus* em diferentes proporções, encontraram valores

decrecentes de NH_4^+ (0,5 para 0,2%) e crescentes de NO_3^- (0,1 para 1,5%), ao longo de 20 semanas de compostagem.

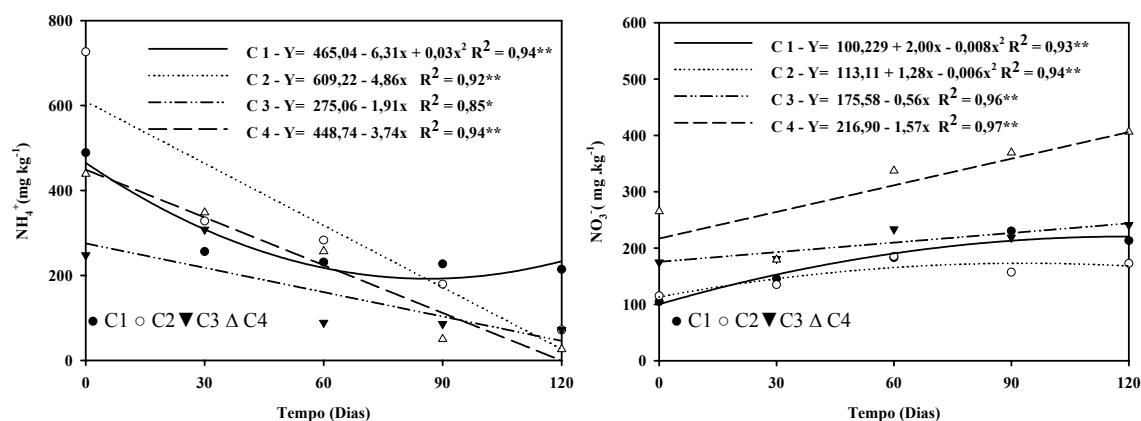


Figura 9. Concentrações de amônio e nitrato analisados em 4 compostos ao longo de 120 dias
*, ** Significativos a 5 e 1% ($P > 0,05$) pelo teste de F.

Na Tabela 10 estão apresentados os valores referentes as concentrações de N total, nitrato e amônio no decorrer do tempo. No início do processo não houve diferença significativa entre os valores de N total para os quatro compostos, mas aos 30 dias, houve aumentos nos teores desse elemento, sobressaindo-se o C1. Ao longo do tempo, foram observadas diferenças significativas entre os compostos avaliados. Ao final, houve aumento nas concentrações para todos os compostos, o que está de acordo com Kiehl, (2002), que afirma que comparando-se o teor de nitrogênio total encontrado em um substrato a ser compostado como o conteúdo no final do processo, verifica-se que o valor é sempre maior no final. Acredita-se que o nitrogênio fixado na estrutura dos microorganismos também possa contribuir nesse aumento.

O composto C2 apresentou as maiores concentrações de NH_4^+ (Tabela 10) no início da compostagem e as diferenças significativas são explicadas pela constituição dos materiais que entraram na composição das pilhas (Tabela 1). Para os Compostos C1 e C2, as concentrações de NH_4^+ apresentaram redução de cerca de 50 % já aos 30 dias. A exceção foi o C3, onde as concentrações aumentaram aos 30 dias, mas decresceram drasticamente aos 60 dias, estabilizando ao longo do tempo. Segundo Sanches-Monedero et al. (2001), o aumento das concentrações de NH_4^+ nos primeiros 30 dias de compostagem indica que houve uma rápida mineralização do N orgânico, resultando na produção de amônio. Zucconi e De

Bertoldi (1987) assumem como limite para compostos imaturos valores acima de 400 mg kg^{-1} de NH_4^+ .

Tabela 10. Concentrações de nitrato e amônio para as 4 pilhas de compostagem ao longo de 120 dias.

Trat	Tempo (dias)				
	0	30	60	90	120
-----N (g kg ⁻¹)-----					
C1	13,0 a	20,2a	13,6 b	16,4 c	11,0 c
C2	12,7a	15,6b	19,2 a	18,2 c	19,2 b
C3	12,9a	12,9c	19,7 a	27,0 a	25,1 a
C4	14,5a	15,7 b	19,6 a	21,4 b	21,5b
----- N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)-----					
C1	489,0 b	256,0 c	251,3 b	227,1 a	214,2 a
C2	726,2 a	329,9 ab	283,1 a	179,1 b	71,4 b
C3	247,5 d	308,0 a	88,7 c	85,7 c	71,9b
C4	439,0 c	348,0 a	256,7 b	50,4 d	26,0c
----- N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)-----					
C1	105,1 c	145,6 ab	183,0 c	230,2 b	213,1 bc
C2	115,0 c	135,1 b	185,0c	157,0 c	172,7 c
C3	174,5 b	181,0 a	233,4 b	218,5 b	241,0 b
C4	265,0a	179,2 a	337,2 a	369,2 a	406,1 a

* Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Os valores mais baixos de NH_4^+ , observados aos 120 dias no C4, associados aos altos valores de NO_3^- no mesmo período, sugerem que para esta mistura o processo de nitrificação foi intenso, o que está de acordo com o proposto por Kiehl (2002). O autor afirma que os resíduos orgânicos têm quase todo o seu nitrogênio na forma orgânica e, no decurso da compostagem, o nitrogênio orgânico da matéria orgânica se transforma em nitrogênio amoniacal que, em seguida, passa para a forma nítrica.

Observando os valores de NO_3^- , nota-se que há diferenças significativas entre os compostos nos diferentes tempos de amostragem. Tal fato permite inferir que a composição dos materiais usados nas misturas influencia diretamente os processos que levam a produção de nitrato na compostagem. Os valores encontrados ora assemelham-se, ora distinguem-se dos encontrados na literatura, o que pode ser explicado pela diversidade de materiais usados nos estudos. Wang et al. (2004) testando índices de maturação para compostos elaborados a base de esterco bovino puro, esterco de bovinos + serragem de madeira e esterco de suínos + cascas de árvores, observaram teores de amônio decrescentes

(238 para 116 mg kg⁻¹, 1980 para 89 mg kg⁻¹ e 8510 para 96 mg kg⁻¹, respectivamente) ao longo de 112 dias. Foi observado comportamento inverso para os teores de nitrato, onde os valores aumentaram ao longo do tempo para os dois primeiros materiais (1,0 para 128 mg kg⁻¹ e 1,0 para 90,6 mg kg⁻¹). Benito et al. (2003) avaliando diferentes parâmetros químicos como indicadores de maturidade na compostagem durante 190 dias, observaram acréscimos significativos nos teores de nitrato (1,90 para 8,27 mg kg⁻¹) e decréscimos nos teores de amônio (70,3 para 16,1 mg kg⁻¹) no final do processo. Comportamento semelhante foi encontrado por Brinton e Evans (2001), avaliando compostos orgânicos em vários estágios de maturação.

De modo geral, observa-se através dos dados encontrados nesse estudo, bem como dos vários trabalhos consultados, que os valores das concentrações de nitrato e amônio são distintos e dependem do tipo de material utilizado, sendo que é consenso que o mais importante a ser observado é a tendência de comportamento inverso para os dois parâmetros.

6.1.6 Índice de Germinação

A maturação de um composto pode ser relacionada ao estágio em que o material compostado esteja livre de substâncias fitotóxicas que possam reduzir a percentagem de germinação de sementes. Os ensaios realizados com sementes de agrião revelaram mudanças na qualidade do composto produzido durante este trabalho. Observou-se pela linearidade dos modelos e seus coeficientes significativos (Figura 10), que os índices de germinação aumentaram ao longo do tempo, atingindo valores que variaram entre 89 e 93% aos 120 dias de compostagem.

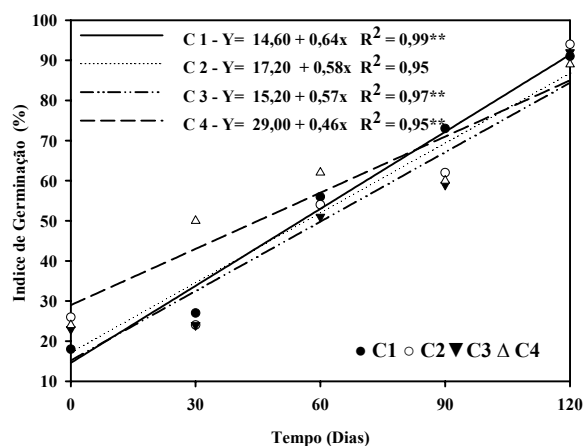


Figura 10. Índices de germinação para 4 compostos ao longo de 120 dias.

*, ** Significativos a 5 e 1% ($P > 0,05$) pelo teste de F.

A análise das médias da Tabela 11 mostra que no tempo 0, independente do material utilizado na composição das pilhas, não houve diferença significativa entre os índices de germinação, considerados baixos. Nos materiais das placas com extratos de amostras retiradas aos 0 e 30 dias, foram observadas injúrias como queima de raízes e cotilédones e que a maioria das sementes sequer germinava. Aos 30 dias de compostagem, o C4 (resultado da mistura de todos os materiais) apresentou índice de germinação de 50%, praticamente o dobro dos demais compostos, o que sugere que para esse material, a degradação de agentes considerados tóxicos foi mais acelerada. Para autores como DeVleeschwer et al. (1981) e Keeling et al. (1994), uma das principais causas dos baixos índices de germinação em compostos imaturos é a presença de ácidos orgânicos de baixo peso molecular produzidos durante a decomposição da matéria orgânica e que vão sendo degradados ao longo de tempo. Verificando-se os valores da Tabela 9, observam-se os menores valores de CE para o C4 aos 30 dias, fator este que também pode ter contribuído para o aumento do índice de germinação.

Aos 90 dias, o índice de germinação foi significativamente diferente para todos os compostos analisados, sendo que o maior valor foi alcançado no C1. Aos 120 dias, os compostos C1, C2 e C3 alcançaram índices de germinação acima dos 90 %, valor que é considerado mínimo para que um composto seja considerado maduro (CCME, 1996). Saviozzi et al. (1992), avaliando a maturação de um composto a base de lixo urbano, encontrou valores acima de 90% já aos 100 dias de compostagem.

Tabela 11. Valores médios do Índice de germinação para as 4 pilhas de compostagem ao longo de 120 dias.

Trat	Tempo (dias)				
	0	30	60	90	120
C1	17 b	27 b	55 b	73 a	90 a
C2	26 a	24 b	54 b	61 b	93 a
C3	22 a	23 b	51 b	58 c	91 a
C4	23 a	50 a	61 a	62 b	89 b

*Médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

As amostras utilizadas nos testes de germinação refletiram as diferentes etapas do processo de compostagem, o que qualifica a confiabilidade deste método para predição do grau de maturação de um composto orgânico.

6.1.7 Humificação

O fracionamento de matéria orgânica foi utilizado neste estudo para avaliar materiais compostados por analogia com a caracterização que se faz com a matéria orgânica nos solos. Os resultados foram mostrados em tabelas por não haver ajuste de equações de regressão.

Na Tabela 12 são mostrados os resultados obtidos para os diferentes resíduos compostados. Observa-se que os valores de carbono orgânico total (COT) decresceram no decorrer do tempo de compostagem em todos os compostos avaliados, o que pode ser explicado pela intensa mineralização do material. Este resultado também foi encontrado por Ciavatta et al. (1989) e Grigatti et al. (2004).

De modo geral, no começo da compostagem (tempo 0), observou-se um predomínio das substâncias fúlvicas sobre as húmicas, que se inverte na maioria dos casos ao final do processo. A redução na fração ácidos fúlvicos (AF) sugere que durante o processo há uma transformação de substâncias, gerando estruturas mais complexas e polimerizadas correspondentes às substâncias húmicas (AH), fenômeno comum em processos de compostagem (GARCIA-GOMEZ et al. 2005).

Os incrementos observados na fração ácidos húmicos (AH) nos diferentes compostos estudados (Tabela 12) implicam em aumentos nas taxas de polimerização e, portanto no aumento no grau de estabilização da matéria orgânica.

Tabela 12. Composição da matéria orgânica (Carbono orgânico total (COT), Carbono nos ácidos húmicos e fúlvicos (AH e AF) e índice de polimerização para 4 materiais compostados ao longo de 120 dias.

TRAT	Tempo				
	0	30	60	90	120
COT (%)					
C1	42 aA	33 bA	25 cC	23 cB	21 cB
C2	37 aB	31 bA	31 bB	15 cC	15 cC
C3	41 aA	26 bB	20 bcC	15 cC	15 cC
C4	42 aA	32 bA	34 bA	30 bA	26 cA
AH (%C)					
C1	2 bB	3 bB	2 bB	3 bB	5 aA
C2	3 bA	4 aA	3 bB	5 aA	4 aA
C3	3 bA	4 aA	3 bB	4 aA	4 aA
C4	2 bB	2 bC	4 aA	2 bB	4 aA
AF(%C)					
C1	2 bB	2 bB	4 aA	2 bB	3 bA
C2	3 aB	3 aA	3 aB	2 aB	2 aA
C3	14 aA	2 bB	2 bB	3 bA	1 bB
C4	2 bB	3 aA	2 bB	3 aA	1 cB
IP					
C1	1 aA	1 aA	0,5 bC	1 aB	1 aB
C2	1 bA	1 bA	1 bB	2 aA	2 aB
C3	0,2 cB	2 bA	1 abB	1 abB	4 aA
C4	1 cA	0,6 cB	2 bA	0,7 cC	4 aA

* Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O grau de polimerização, expresso pela relação $IP=AH/AF$ aumentou no decorrer do tempo de compostagem para as misturas C2, C3 e C4, refletindo em aumento da proporção de ácidos húmicos (um sinal claro da humificação) e o decréscimo de componentes não húmicos, incluindo a fração AF. Contudo, os valores médios são diferentes para cada mistura. Garcia Gómez et al. (2005) estudando a evolução das frações da matéria orgânica na compostagem encontraram valores de IP que variaram entre 0,5 e 2,0, sendo esses valores significativamente diferentes entre os compostos avaliados. Francou et al. (2005), estudando a estabilização da matéria orgânica durante a compostagem, encontraram valores de IP que variaram entre 1,2 e 4,3 em diferentes materiais após 6 meses de compostagem. Bernal et al. (1998) afirmam que as quantidades nas várias frações depende da origem e composição do material compostado. Assim, não pode ser estabelecido um valor universal para descrever e prever o grau de maturação de compostos de composição distinta.

Pesquisas têm demonstrado que a fração AH e o IP geralmente aumentam durante a compostagem, evidenciando a humificação da matéria orgânica (ROLETTO et al. 1985). No entanto, neste estudo, os aumentos foram mais bem observados apenas no final do processo, o que, segundo Adani et al. (1997) e Chefetz et al. (1998), pode ser devido a pouca especificidade da maioria das técnicas de extração de substâncias húmicas, que em geral, podem quantificar outros compostos como proteínas, carboidratos e até lipídeos.

6.1.8. Correlações entre parâmetros químicos

Os coeficientes de correlação entre os parâmetros químicos analisados são mostrados na Tabela 13.

A hipótese que sustenta a necessidade de correlação entre os parâmetros para testar o grau de maturação de um composto baseia-se no conhecimento de fenômenos que ocorrem simultaneamente durante um processo de compostagem.

Para os compostos C1, C2, C3 e C4, as correlações maiores e significativas ocorreram entre relação C/N x IG, NH_4^+ , NO_3^- , e IG x NH_4^+ , NO_3^- e NH_4^+ x NO_3^- . No primeiro caso, observa-se comportamento inverso entre os dois parâmetros, indicando que o decréscimo da relação C/N é acompanhado pela degradação de substâncias fitotóxicas responsáveis pelos baixos índices de germinação no início do processo. O mesmo ocorre quando se compara os valores de correlação C/N e NH_4^+ , NO_3^- , neste caso, infere-se que concomitantemente à decomposição do carbono, há um processo intenso de nitrificação, ocasionado redução nos teores de NH_4^+ e aumentos nos teores de NO_3^- . Namkoong et al., (1999) também encontraram correlações significativas e positivas entre relação C/N e concentrações de NH_4^+ .

As altas correlações entre os valores de NH_4^+ e NO_3^- refletem o processo de transformação pelo qual passa o nitrogênio durante o processo de compostagem. Francou et al. (2005) correlacionando parâmetros de maturação entre diferentes compostos orgânicos não encontraram correlações significativas entre relação C/N e nenhum dos parâmetros avaliados (pH, CE, IP). No trabalho de Inbar et al. (1990), a relação C/N não foi bem correlacionada com nenhum outro parâmetro, o que segundo este autor tornaria difícil estimar o tempo preciso ou ideal que assegure a estabilidade ou maturação de um composto.

Tabela 13. Matriz de correlação entre parâmetros de maturação para quatro compostos orgânicos.

C1							
	pH	CE	C/N	IG	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	IP
pH		0,055	0,089	0,371	0,341	0,148	-0,147
CE			0,577	-0,655	0,641	0,711*	0,898*
C/N				-0,868*	0,960**	-0,925*	-0,207
IG					-0,740*	0,930*	0,321
NH ₄ ⁺						-0,846*	-0,338
NO ₃ ⁻							0,331
C2							
	pH	CE	C/N	IG	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	IP
pH		0,089	0,399	0,279	0,200	-0,355	0,080
CE			0,484	0,677	0,295	0,568	-0,404
C/N				-0,760*	0,938*	-0,924*	-0,571
IG					-0,792*	0,743*	0,633
NH ₄ ⁺						-0,791*	0,681
NO ₃ ⁻							0,272
C3							
	pH	CE	C/N	IG	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	IP
pH		0,033	0,406	0,851*	0,539	0,585	0,771
CE			0,716*	-0,356	0,241	0,528	0,632
C/N				-0,812*	0,803*	0,898*	-0,660
IG					-0,853*	0,900*	0,790*
NH ₄ ⁺						-0,930*	-0,402
NO ₃ ⁻							0,638
C4							
	pH	CE	C/N	IG	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	IP
pH		0,550	-0,461	0,252	-0,588	0,774*	0,387
CE			0,463	-0,550	0,346	0,055	0,023
C/N				-0,890*	0,976**	-0,697	-0,519
IG					-0,861*	0,7684*	0,773*
NH ₄ ⁺						-0,828*	-0,541
NO ₃ ⁻							0,634

*, ** Significativo a nível de 5 e 1%, respectivamente.

Os índices de germinação (IG) e polimerização (IP) correlacionaram-se positivamente nos compostos C3 e C4, o que indica que os processos que levam à formação de substâncias húmicas, também influenciam positivamente na degradação de compostos fitotóxicos, responsáveis pela baixa germinação no início do processo.

No C4 observaram-se ainda, correlações significativas entre pH e NO₃⁻. Esses resultados assemelham-se aos observados por Sanchez-Monedero et al. (2001), os quais sugerem que durante a nitrificação as bactérias baixam o pH do meio pela liberação de íons hidrogênio, tornando os dois fenômenos interligados.

6.1.9 Balanço de massa seca ao final do processo de compostagem

No primeiro dia (formação das pilhas), bem como aos 120 dias de compostagem, a massa seca do composto produzido foi medida através de pesagem. Os valores podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14. Balanço de massa seca dos materiais produzidos em função do uso de diferentes materiais na composição das pilhas.

Tratamentos	Peso Inicial	Peso Final	Balanço de Massa
	----- kg -----	-----	-----%-----
C1	154,0	63,0	60,0
C2	154,0	55,0	64,0
C3	154,0	61,0	60,0
C4	155,0	70,0	54,0

No tratamento C4 (mistura de materiais) foram observadas as maiores percentagens de matéria seca em relação aos demais tratamentos, o que pode ser explicado pela verificação da Tabela 7 onde são mostrados os valores de carbono total e relação C/N durante a compostagem. Os valores finais, tanto de carbono total, quanto de relação C/N, são os mais elevados, indicando que quando se usa uma maior diversidade de materiais pode haver uma maior exigência em diversidade de microrganismos decompositores, ocasionando uma “queda” na eficiência do processo, quando comparada a materiais de composição mais simples.

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

6.2.1. Produção de matéria fresca e matéria seca da parte aérea

Neste estudo, levou-se em consideração, além dos dados referentes à matéria seca da parte aérea (MSPA), também os de matéria fresca da parte aérea (MFPA), por ser este último o parâmetro que melhor define a produção vegetal da alface, que é comercializada “in natura”.

Na Figura 11 são apresentados os comportamentos de MFPA e MSPA em função das quatro doses dos quatro compostos orgânicos em 2 ciclos sucessivos.

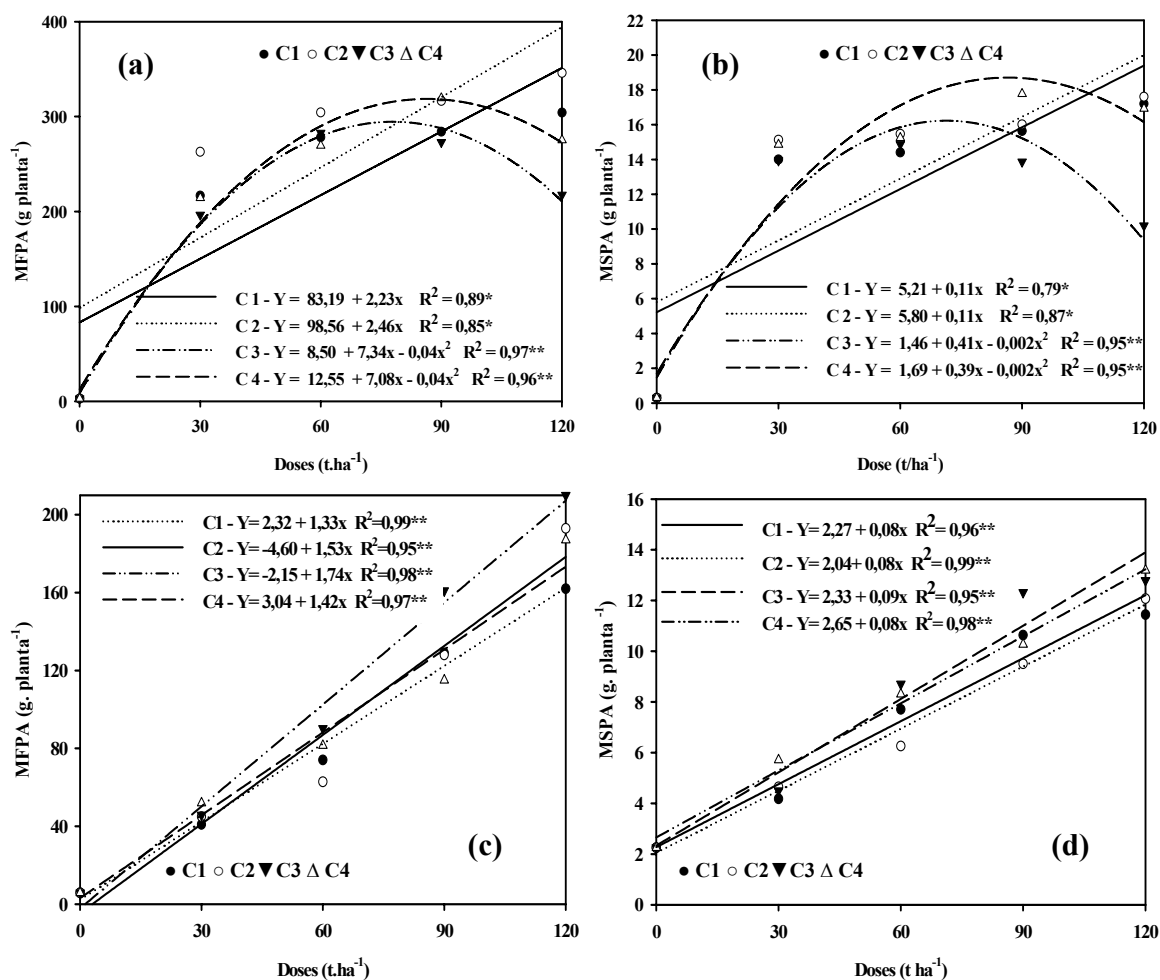


Figura 11. Produções de matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria seca da parte aérea (MSPA) de plantas de alface em função de doses de quatro compostos orgânicos, sendo (a) e (b) primeiro ciclo e (c) e (d) segundo ciclo. *, ** Significativos a 5 e 1% respectivamente pelo teste de F.

As produções de MFPA e MSPA foram alteradas de maneira distinta pela aplicação de doses crescentes dos diferentes compostos orgânicos avaliados. Os compostos C1 e C2 proporcionaram aumentos lineares na produção de MFPA, bem como na MSPA no primeiro ciclo. Efeitos lineares de doses de adubos orgânicos sobre a produção de MFPA e MSPA em cultivos sucessivos de alface também foram observados por Vidigal et al. (1995). Nos compostos C3 e C4 foram verificados comportamentos diferenciados do C1 e C2, sendo que no primeiro ciclo os dados foram ajustados em equações quadráticas. Para o C3, a

dose para produção máxima de MFPA foi de 77,8 t ha⁻¹ de composto, que proporcionou uma produção de 293,9 g planta⁻¹. Ainda para o mesmo material, a dose máxima calculada para MSPA foi de 71,3 t ha⁻¹, com produção de 16,6 g planta⁻¹. Para o C4, a dose máxima calculada para MFPA foi de 86,4 t ha⁻¹, com produção de 318,2 g planta⁻¹, e para MSPA de 86,6 t ha⁻¹, com produção de 18,6 g planta⁻¹. Nota-se que as doses necessárias para produção máxima de MFPA nos compostos C3 e C4 são próximas e que o comportamento dos compostos C3 e C4 como fornecedores de nutrientes pode ser explicado verificando-se as Tabelas 6 (valores de N total maiores nos compostos C3 e C4) e 12 (maiores índices de polimerização, que indica o quão humificado está o material).

A diminuição de produção nas doses mais elevadas pode ter ocorrido devido ao excesso de N, disponibilizado pela composição dos compostos C3 e C4 e por estarem estes dois materiais mais humificados, o que proporciona maior disponibilidade de nutrientes. Santos et al. (1994), aplicando cinco doses de composto orgânico em alface, verificaram que a máxima produção de matéria fresca (321 g planta⁻¹) foi obtida com a dose de 65,69 t ha⁻¹ de composto orgânico (MS), ocorrendo decréscimos com o incremento das doses.

Nas Figuras 12 e 13 podem ser visualizados os efeitos no desenvolvimento das plantas em função da aplicação de doses dos quatro compostos orgânicos avaliados.

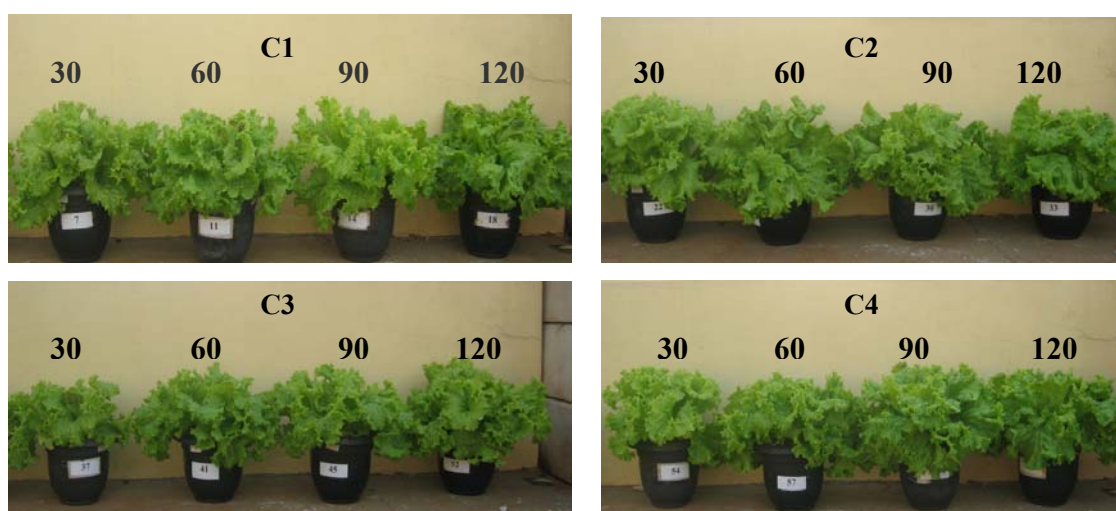


Figura 12. Plantas de alface antes da colheita do primeiro ciclo (doses em t ha⁻¹) para quatro compostos orgânicos.

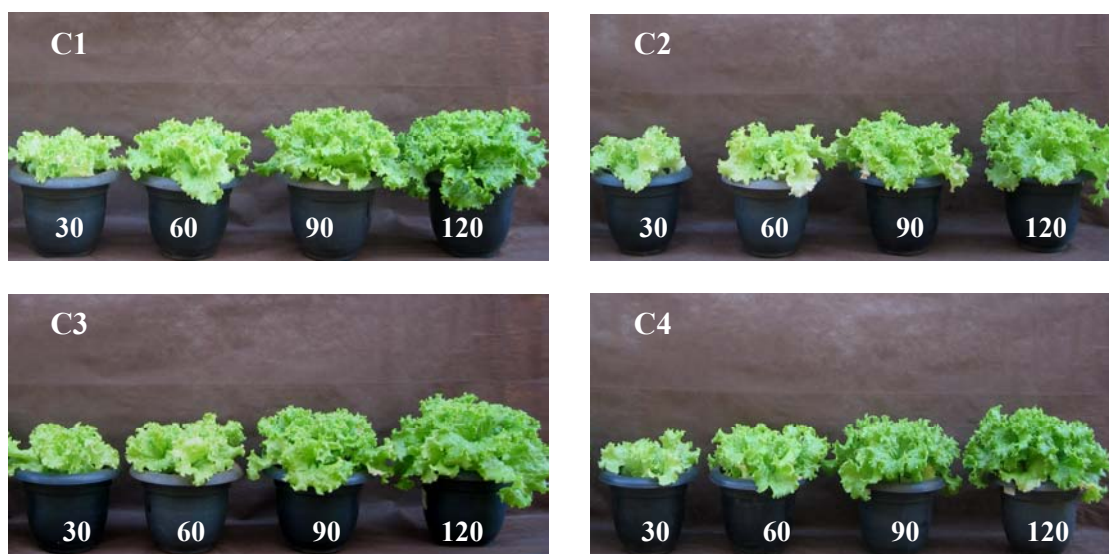


Figura 13. Plantas de alface antes da colheita do segundo ciclo (doses em $t\ ha^{-1}$) para quatro compostos orgânicos.

No segundo ciclo, as produções de MFPA e MSPA aumentaram linearmente com as doses dos compostos, mas com menores produções, o que pode significar que, embora ainda com capacidade de fornecer nutrientes, os compostos avaliados não foram capazes de liberar N (elemento suprido apenas com as doses dos compostos) em quantidade suficiente para manutenção das produções obtidas no primeiro ciclo. De acordo com Garcia et al. (1982), como a produção de alface é composta basicamente por folhas, a cultura responde mais ao fornecimento de N, nutriente que requer manejo especial quanto à adubação. Ainda segundo o mesmo autor, a deficiência de N retarda o crescimento das plantas e as folhas tornam-se totalmente amareladas. No presente estudo observou-se clorose nas folhas principalmente nas menores doses do composto (30, 60 e 90 $t\ ha^{-1}$).

O comportamento diferenciado entre os compostos avaliados no primeiro e segundo ciclo permitem inferir que o uso de compostos orgânicos de composição distinta têm influência determinante na produção. Villas Bôas et al. (2004), avaliando compostos produzidos a partir de diferentes materiais, também encontraram diferenças de produção entre doses para compostos avaliados. Vidigal et al. (1997), avaliando o efeito de diferentes compostos orgânicos, atribuíram as menores produtividades de alface, cv. Carolina, a compostos orgânicos que não haviam mineralizado o suficiente para nutrir as plantas.

Nas Tabelas 15 e 16 são apresentadas respectivamente, as médias referentes às produções de MFPA e MSPA de alface em 2 ciclos sucessivos.

Não foram observadas diferenças significativas na produção entre os quatro compostos para as doses 30, 60 e 90 t ha⁻¹ no primeiro ciclo (Tabela 15). Na dose 120 t ha⁻¹, os compostos C1 e C2 proporcionaram produções significativamente maiores, quando comparados aos compostos C3 e C4. Na comparação das médias gerais (somando valores das doses) entre os compostos, o C2 apresentou valores significativamente superiores. Esse resultado permite inferir que os compostos C1 e C2 liberaram N de forma mais adequada. As produções de MFPA máximas no primeiro ciclo (293 g planta⁻¹ para o C3 e 318 g planta⁻¹ para o C4) foram superiores às encontradas por outros autores. Villas Boas et al. (2004) alcançaram produções de 193 g planta⁻¹ com 240 t ha⁻¹ de composto a base de palhada de feijão. Mogor et al. (2003) obteve como produção máxima de alface crespa 207 g planta⁻¹. Rodrigues e Casali, (1999) obtiveram produção máxima de 157 g planta⁻¹ usando composto orgânico produzido a base de esterco de bovinos e palhada de milho.

Os aumentos de produção de massa em alface obtidos com o uso de adubação orgânica são mostrados por vários autores, mas um fator importante evidenciado é a melhoria das características do produto a ser consumido. Segundo Santos et al. (1994), a adubação orgânica não só incrementa a produtividade, mas também produz plantas com características qualitativas melhores que as cultivadas exclusivamente com adubos minerais podendo, portanto, exercer influência sobre a conservação e pós colheita da alface. Santos et al (2001), avaliando a conservação e pós colheita de alface cultivada com composto orgânico, encontraram valores de produção crescentes acompanhando o aumento das doses de composto orgânico, verificando ainda que o uso desse tipo de material aumentou o teor de água nas plantas e a conseqüente manutenção das características desejáveis no pós-colheita.

Comparando-se as médias de produção de massa fresca entre primeiro e segundo ciclo (Tabela 15), verifica-se que no primeiro, para todos os compostos, as produções foram superiores àquelas obtidas no segundo. Sabendo-se que nos dois ciclos houve fornecimento de P e K via adubo mineral, pode-se inferir que houve deficiência de N (visualizada através da clorose das folhas), fator responsável pelo reduzido crescimento das plantas. Tal fato implica que os compostos orgânicos avaliados não foram capazes de proporcionar aumentos de produção equivalentes em cultivo sucessivo. Deve-se considerar

que mesmo com redução de algo em torno de 50 % na produção, os maiores valores de produção alcançados assemelham-se aos encontrados em primeiro cultivo por outros autores como Villas Bôas et al. (2004) (193 g planta⁻¹). Os resultados obtidos no presente trabalho, onde foram observados efeitos residuais no segundo cultivo, contrariam a afirmativa de Rodrigues e Casali (1999), que relatam que o N liberado por adubos orgânicos é insuficiente para o atendimento da demanda nutricional da alface durante o curto período entre o transplante e a colheita. No caso do presente estudo, pode-se dizer que houve esse efeito no segundo cultivo.

Tabela 15. Matéria fresca da parte aérea (MFPA) da alface em função de doses de quatro compostos orgânicos em 2 ciclos.

Doses (t ha ⁻¹)	MFPA			
	Primeiro Ciclo			
	g planta ⁻¹			
	C1	C2	C3	C4
30	216 a	262 a	196 a	215 a
60	278 a	304 a	282 a	269 a
90	284 ab	316 a	273 b	319 a
120	304 a	345 a	217 b	275 b
Média	270 bA	306 aA	242 bA	269 bA
	Segundo Ciclo			
	g planta ⁻¹			
	C1	C2	C3	C4
30	40 a	44 a	45 a	51 a
60	74 a	62 a	90 a	81 a
90	129 ab	128 ab	161 a	115 b
120	162 b	193 ab	210 a	187 ab
Média	101 bB	107 bB	126 aB	108 bB
	Primeiro ciclo		Segundo ciclo	
T (Sem N)	5,8		6,5	

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula comparam valores (médios) de cada composto entre primeiro e segundo ciclo.

Para MSPA (Tabela 16), no primeiro ciclo, não foram verificadas diferenças significativas entre as produções para as doses 30 e 60 t ha⁻¹. Ao aplicar 90 t ha⁻¹, o composto C4 proporcionou produção de MSPA significativamente superior aos demais.

No C3, a dose de 120 t ha⁻¹ promoveu redução significativa na MSPA para o primeiro ciclo, o que pode ser explicado verificando-se a Tabela 6, onde se observa que o valor de N total nesse composto é em média 1,6 vezes maior que nos demais, podendo, neste

caso em dose mais elevada fornecer N em excesso, tendo como consequência redução na produção.

No segundo ciclo, apesar de produção mais baixa que no primeiro, os compostos orgânicos avaliados proporcionaram aumentos de MSPA acompanhando a dose aplicada. Pelas comparações entre produções de MSPA no primeiro e segundo ciclos (Tabela 16), observou-se que no primeiro, as produções foram estatisticamente superiores às obtidas no segundo, indicando que mesmo com produções crescentes os compostos não foram capazes de proporcionar produções equivalentes às do primeiro ciclo. Vidigal et al. (1997) avaliando a produção de alface cultivada com diferentes compostos orgânicos em 2 ciclos, obtiveram produções semelhantes nos dois cultivos, fato que foi atribuído à melhoria das características físico-químicas do solo, associadas à mineralização da matéria orgânica.

Tabela 16. Matéria seca da parte aérea (MSPA) da alface em função de doses de quatro compostos orgânicos em 2 ciclos.

Doses (t ha ⁻¹)	MSPA			
	Primeiro Ciclo			
	g planta ⁻¹			
	C1	C2	C3	C4
30	13,9 a	15,1 a	13,9 a	14,8 a
60	14,4 a	15,4 a	14,8 a	15,2 a
90	16,6 b	15,5 b	13,8 c	17,7 a
120	16,0 a	16,6 a	10,2 b	16,9 a
Média	15,2 aA	15,6 aA	13,1bA	16,1 aA
	Segundo Ciclo			
	g planta ⁻¹			
	C1	C2	C3	C4
30	4,1 a	4,6 a	4,5 a	5,7 a
60	7,7 b	6,2 b	8,7 a	8,3 a
90	10,6 b	9,5 b	12,3 a	10,2 b
120	11,4 a	12,0 a	12,7 a	13,1 a
Média	8,4 aB	8,0 aB	9,5 aB	9,3 aB
	Primeiro Ciclo		Segundo Ciclo	
T (Sem N)	2,2		2,6	

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula comparam valores (médios) entre primeiro e segundo ciclo.

As produções de MSPA, tanto no primeiro, quanto no segundo ciclo foram superiores às obtidas pela testemunha.

Através dos dados avaliados, pode-se comprovar que a composição dos compostos aplicados exerceu influência significativa na produção de alface no primeiro ciclo, promovendo efeito residual no segundo ciclo, porém em menores proporções.

6.2.2 Teores de macronutrientes na parte aérea da planta de alface

Na Tabela 17 são apresentados os teores de macronutrientes na parte aérea da alface nos dois ciclos avaliados. Em relação aos teores, optou-se por não avaliar os dados estatisticamente, o que foi feito para acúmulo de nutrientes. No entanto, os resultados podem ser comparados com os teores considerados adequados para a cultura de acordo com Raij et al (1997), N (30-50 g kg⁻¹), P (4-7 g kg⁻¹), K (50-80 g kg⁻¹), Ca (15-25 g kg⁻¹), Mg (5-15 g kg⁻¹).

No primeiro ciclo, os teores de N para os compostos C1, C2 e C3 alcançaram níveis considerados adequados (30 g kg⁻¹) a partir da dose 30 t ha⁻¹, chegando até 37 g kg⁻¹ no composto C3. Cabe ressaltar que no primeiro ciclo não foram observados sintomas de clorose nas plantas em nenhum dos tratamentos avaliados. No entanto, no segundo ciclo foi observada clorose nas folhas inferiores nas doses 30 e 60 t ha⁻¹. Nas doses de 90 e 120 t ha⁻¹, apesar de não ser observada clorose tão intensa, os teores ficaram abaixo do valor de 30 g kg⁻¹ (exceto C3). Possivelmente, neste caso, ocorreu a chamada “fome oculta”, uma vez que mesmo nas doses mais elevadas, a produção foi inferior à do primeiro ciclo. Fica evidente, através dos teores foliares, que no segundo ciclo a menor quantidade de N mineral disponível no solo promoveu redução na absorção de N em todos os tratamentos, o que certamente foi um dos fatores da diminuição da produção de matéria fresca e matéria seca.

Os teores de P variaram entre 3,0 e 6,0 g kg⁻¹, nos dois ciclos, sendo que no primeiro ciclo, a partir da dose de 60 t ha⁻¹, todos os compostos aumentaram os teores de P para valores dentro da faixa considerada adequada para a cultura (4,0 a 7,0 g kg⁻¹). No segundo ciclo só foram alcançados valores considerados adequados a partir da dose 90 t ha⁻¹. Nota-se para o fósforo que, apesar de haver redução nos teores do primeiro para o segundo ciclos, este não ocorreu na mesma proporção que para o nitrogênio. Possivelmente essa redução do teor de P esteja diretamente relacionada à redução da absorção de N na planta e os

efeitos decorrentes disso, como por exemplo, a diminuição no segundo ciclo do sistema radicular das plantas.

Tabela 17. Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) em plantas de alface cultivadas com doses de quatro compostos orgânicos em dois ciclos consecutivos.

Doses (t ha ⁻¹)	Compostos orgânicos							
	C1		C2		C3		C4	
	1ºCiclo	2ºCiclo	1ºCiclo	2ºCiclo	1ºCiclo	2ºCiclo	1ºCiclo	2ºCiclo
Nitrogênio								
----- g kg ⁻¹ -----								
30	21	12	20	12	25	13	19	13
60	30	13	30	13	30	15	27	14
90	35	20	30	17	33	21	32	14
120	34	23	32	23	37	33	34	22
Fósforo								
----- g kg ⁻¹ -----								
30	3	3	3	3	3	3	3	3
60	5	3	5	3	4	3	5	3
90	5	4	5	4	5	4	5	4
120	5	4	5	5	6	5	5	4
Potássio								
----- g kg ⁻¹ -----								
30	67	53	67	55	71	55	65	58
60	75	55	80	60	83	61	74	61
90	77	68	80	69	82	71	79	64
120	78	70	81	74	83	76	82	73
Cálcio								
----- g kg ⁻¹ -----								
30	12	13	12	15	14	16	11	12
60	12	13	11	13	12	12	11	13
90	11	13	11	12	11	11	10	10
120	11	11	10	12	11	9	10	9
Magnésio								
----- g kg ⁻¹ -----								
30	4	5	4	5	4	6	3	4
60	5	5	4	5	4	4	4	5
90	4	5	4	5	5	5	4	4
120	5	5	4	5	5	4	4	4
Enxofre								
----- g kg ⁻¹ -----								
30	2	1	1	1	2	1	2	1
60	3	1	2	1	2	1	2	1
90	3	2	2	2	3	2	2	1
120	3	2	2	2	2	2	2	1

As plantas apresentaram teores de potássio (Tabela 17), no primeiro ciclo, dentro da faixa adequada ($50-80 \text{ g kg}^{-1}$) até a dose 90 t ha^{-1} , sendo que se observaram teores superiores apenas na dose de 120 t ha^{-1} . O composto C3, ao contrário dos demais, apresentou valores de K acima do adequado já na dose de 60 t ha^{-1} , o que, mais uma vez reforça a hipótese de que esse material teve efeito diferenciado.

No segundo ciclo, os valores encontrados em todas as plantas foram considerados adequados para a cultura. Souza et al. (2005) avaliando características químicas de folhas de alface cultivada sob efeito residual da adubação com composto orgânico, verificaram aumentos lineares dos teores de K (30 até 60 g kg^{-1}) com o incremento das doses de composto orgânico. Os autores atribuíram tal resultado aos níveis de potássio no solo, que sob influência positiva da aplicação de compostos orgânicos, foram absorvidos pelas plantas em maiores proporções.

Os teores de Ca no primeiro ciclo apresentaram valores abaixo dos adequados para a cultura ($15-25 \text{ g kg}^{-1}$) para todos os compostos utilizados, indicando que algum fator interferiu na absorção desse elemento pelas plantas. A redução na absorção de Ca poderia ser atribuída aos elevados teores de K, que sabidamente, por efeito de competição, interferem na absorção de Ca. No segundo ciclo observou-se redução nos valores acompanhando o aumento das doses aplicadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Rodrigues e Casali (1999) testando doses crescentes de composto orgânico na produção de alface. Esses autores verificaram que doses crescentes do composto aplicado provocaram reduções nos teores de cálcio foliar, havendo, no entanto, aumento nos teores de K. O comportamento inverso dos dois nutrientes foi atribuído à inibição na absorção do Ca, causada por altos teores de K.

Os teores de Mg no primeiro e segundo ciclos situaram-se dentro da faixa considerada adequada ($5-15 \text{ g kg}^{-1}$) para a cultura.

No primeiro ciclo, os teores de enxofre encontrados estão abaixo do recomendado por Malavolta et al (1997) ($2,5 \text{ g kg}^{-1}$). A excessão foi o composto C1. No segundo ciclo, todas as plantas apresentaram teores abaixo da faixa considerada adequada.

6.2.3 Macronutrientes acumulados na parte aérea de alface

As quantidades de N, P, K, Ca, Mg e S acumuladas na parte aérea da alface variaram com as doses e tipos de compostos aplicados, nos dois ciclos sucessivos (Figuras 14 e 15).

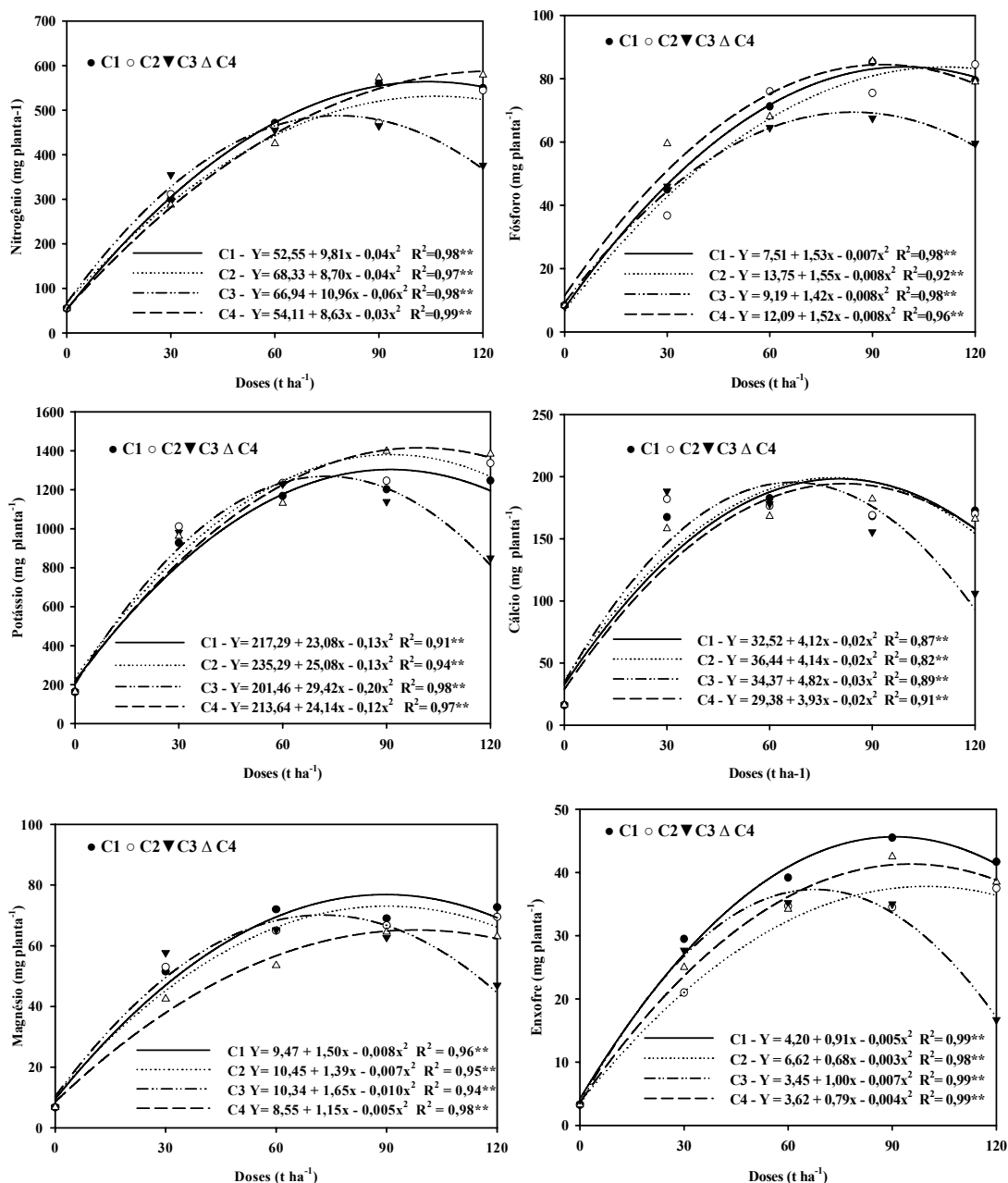


Figura 14. Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da alface em função de doses e tipos de compostos orgânicos no final do primeiro ciclo. *, ** Significativos a 5 e 1% ($P > 0,05$) pelo teste de F.

No primeiro ciclo, as quantidades de todos os nutrientes avaliados para os quatro compostos foram ajustadas de acordo com o modelo quadrático (Figura 14). Para os compostos C3 e C4 esses comportamentos refletem o efeito observado para MSPA. Já para o C1 e C2, onde os dados de MSPA se ajustaram a modelos lineares, o ajuste a modelos quadráticos para os macronutrientes acumulados indica que, mesmo apresentando aumentos de massa seca proporcional às doses aplicadas, as plantas não foram capazes de absorver quantidades proporcionais dos nutrientes.

A redução mais intensa no acúmulo de nutrientes ocorreu principalmente para o C3, onde se observa um teor de N total (Tabela 6) cerca de 2 vezes maior que no composto C1. Este fato indica que a diminuição da quantidade acumulada de nutrientes para doses mais elevadas do composto C3 está ligada ao aumento do teor de sais no solo, possivelmente causando estresse osmótico. Apesar desse efeito poder ser avaliado através da CE, para esse experimento não foi observada variação da CE entre os compostos (Tabela 9). Para Rodrigues e Casali (1999) fontes orgânicas fornecem teores consideráveis de K ao solo, em liberações que não dependem da velocidade de mineralização da matéria orgânica, podendo resultar em aumento da salinidade.

Já no segundo ciclo (Figura 15), as quantidades de N, P, K e S acumulados na parte aérea foram ajustados em modelos lineares, o que indica que esses elementos foram acumulados de forma crescente, acompanhando o aumento das doses dos compostos aplicados.

Para cálcio e magnésio acumulados na planta ajustaram-se modelos quadráticos, o que significa que a diminuição na absorção e acúmulo desses dois nutrientes pode ter sido influenciada pelo excesso de outros, como por exemplo, o potássio (K). De acordo com Malavolta et al. (1997) um dos sintomas do excesso de potássio é a deficiência de cálcio e magnésio induzida por efeito de competição.

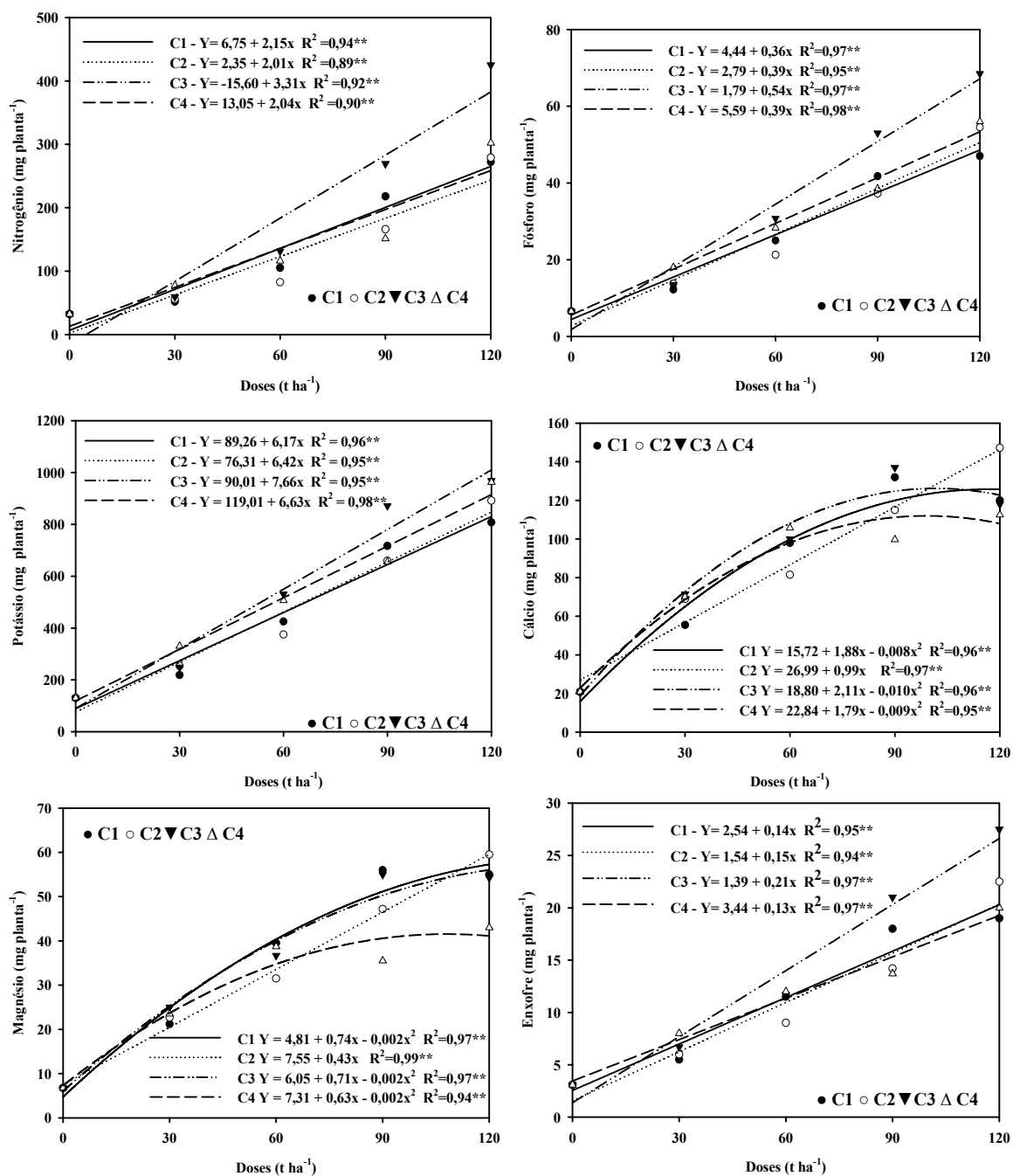


Figura 15. Acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da alface em função de doses e tipos de compostos orgânicos no final do segundo ciclo. *, ** Significativos a 5 e 1% ($P > 0,05$) pelo teste de F.

Nas Tabelas 18 a 23 são apresentadas as quantidades de macronutrientes acumulados nos dois cultivos de alface.

As quantidades de N acumuladas na parte aérea (Tabela 18), tanto no primeiro, quanto no segundo ciclo, não diferiram estatisticamente nas doses 30 e 60 t ha⁻¹. Ao aplicar-se 90 t ha⁻¹, as plantas adubadas com os compostos C1 e C4 apresentaram acúmulo de N estatisticamente superior às demais. Os valores de N acumulado para as plantas adubadas com o C3 foram significativamente inferiores aos demais, o que, como explicado anteriormente, deve-se às maiores quantidades desse nutriente no composto. Na média geral, o composto C3 foi o que apresentou as menores quantidades de N acumulado no primeiro ciclo.

Tabela 18. Nitrogênio acumulado na parte aérea da alfaca em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.

Doses (t ha ⁻¹)	Primeiro Ciclo			
	C1	C2	C3	C4
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	299 a	311 a	355 a	287 a
60	471 a	465 a	454 a	425 a
90	560 a	471 b	464 b	572 a
120	549 a	544 a	376 b	579 a
Média	470 aA	448 Aa	412 bA	465 aA
	Segundo Ciclo			
	C1	C2	C3	C4
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	52 a	55 a	59 a	77 a
60	105 a	82 a	131 a	116 a
90	218 a	166 b	269 a	151 b
120	272 b	279 b	425 a	302 b
Média	161 bB	145 bB	221 aB	161 bB
Testemunha	Primeiro ciclo		Segundo ciclo	
T (Sem N)	32,2		29,2	

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula comparam valores (médios) de cada composto entre primeiro e segundo ciclo.

Pela comparação entre as médias dos dois ciclos, observou-se superioridade estatística ($P < 0,05$) nas quantidades de N acumuladas no primeiro ciclo, o que se justifica pela redução significativa na produção de matéria seca da parte aérea ocorrida no segundo ciclo. Possivelmente houve uma menor capacidade de liberação de nitrogênio no solo pelos compostos orgânicos utilizados, em cultivo sucessivo, causando deficiência na planta com reflexos significativos no crescimento. Entre os sintomas de deficiência de nitrogênio em

plantas estão a diminuição do teor de clorofila e crescimento, devido ao menor número de células (MALAVOLTA et al. 1997).

Os compostos orgânicos avaliados promoveram aumentos do fósforo acumulado na parte aérea até um limite (Tabela 19), a partir do qual houve um decréscimo influenciado pela menor produção de matéria seca. As quantidades encontradas em todas as doses no primeiro ciclo e nas doses 90 e 120 t ha⁻¹, no segundo ciclo foram inferiores às encontradas por Garcia et al. (1982), de 100 mg planta⁻¹.

Tabela 19. Fósforo acumulado na parte aérea da alface em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.

Doses (t ha ⁻¹)	Primeiro Ciclo			
	C1	C2	C3	C4
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	45 b	63 a	46 b	59 a
60	71 a	76 a	64 b	68 a
90	85 a	75 a	67 a	82 a
120	79 a	84a	59 a	79 a
Média	70 aA	74 aA	59 bA	72 aA
	Segundo Ciclo			
	C1	C2	C3	C4
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	12 b	13 c	13 b	18 a
60	25 b	21 c	30 a	28 a
90	41 a	37 b	53 a	38 b
120	47 b	54 b	68 a	56 b
Média	31 bB	31 bB	41 aB	35 bB
Testemunha	Primeiro ciclo		Segundo ciclo	
T (Sem N)	8		6	

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula comparam valores (médios) de cada composto entre primeiro e segundo ciclo.

A exemplo de outros parâmetros, as quantidades de fósforo da parte aérea (Tabela 19) foram estatisticamente superiores no primeiro ciclo, quando comparado ao segundo. Os valores acumulados nos dois ciclos foram muito maiores que a testemunha, reforçando a hipótese de que na falta de um nutriente (N) há redução de matéria seca e absorção de outros nutrientes pode ser prejudicada.

De modo geral, a aplicação dos quatro compostos avaliados aumentou as quantidades de potássio (Tabela 20) na parte aérea das plantas. No segundo ciclo, o C3 proporcionou as maiores quantidades de potássio acumulado em planta.

Tabela 20. Potássio acumulado na parte aérea da alface em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.

Doses (t ha ⁻¹)	Primeiro Ciclo			
	C1	C2	C3	C4
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	928 a	1012 a	981 a	962 a
60	1168 a	1235 a	1229 a	1131a
90	1203 b	1246 ab	1139 ab	1398 a
120	1247 a	1337 a	849 b	1384 a
Média	1137 abA	1207aA	1049bA	1219aA
	Segundo Ciclo			
	C1	C2	C3	C4
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	218 a	253 a	248 a	330 a
60	425 a	375 a	530 a	506 a
90	717 ab	659 b	871 a	655 b
120	807 a	891 a	969 a	962 a
Média	542 bB	544 bB	655 aB	613 abB
Testemunha	Primeiro ciclo		Segundo ciclo	
T (Sem N)	162		150	

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula comparam valores (médios) de cada composto entre primeiro e segundo ciclo.

Não foi verificada diferença estatística entre as doses dos diferentes compostos aplicados para o Ca acumulado na parte aérea das plantas de alface (Tabela 21). As reduções nos valores observadas a partir da dose 60 t ha⁻¹ pode ter ocorrido como já explicado anteriormente, pelos elevados valores de K, dificultando a absorção desse nutriente. No segundo ciclo, foi observado comportamento contrário, com o acréscimo no Ca acumulado acompanhando o aumento das doses aplicadas.

Tabela 21. Cálcio acumulado na parte aérea da alface em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.

Doses (t ha ⁻¹)	Primeiro Ciclo			
	C1	C2	C3	C4
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	167 a	182 a	188 a	158 a
60	182 a	176 a	178 a	162 a
90	168 a	169 a	155 a	182 a
120	162 a	170 a	106 b	166 a
Média	172 aA	174 aA	156 aA	167 aA
	Segundo Ciclo			
	C1	C2	C3	C4
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	55 a	69 a	71 a	70 a
60	97 a	81 a	100 a	105 a
90	132 a	115 ab	137 a	99 b
120	120 ab	147 a	118 b	112 b
Média	101 aB	103 aB	106 aB	97 aB
Testemunha	Primeiro ciclo		Segundo ciclo	
T (Sem N)	116		90	

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula comparam valores (médios) de cada composto entre primeiro e segundo ciclo.

Houve diferença significativa entre as doses para os diferentes compostos aplicados quanto à quantidade de magnésio e enxofre acumulados na parte aérea das plantas de alface no primeiro ciclo (Tabelas 22 e 23), sendo que o C3 na dose 120 t ha⁻¹, a exemplo do verificado para o cálcio, promoveu decréscimo significativo das quantidades desses nutrientes. As diferenças significativas entre as quantidades acumuladas no primeiro e segundo ciclo são reflexos da redução da produção de matéria seca em ciclo sucessivo verificada nesse estudo.

Tabela 22. Magnésio acumulado na parte aérea da alface em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.

Doses (t ha ⁻¹)	Primeiro Ciclo			
	C1	C2	C3	C4
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	51 b	53 ab	57 a	42 b
60	72 a	65 ab	65 ab	53 b
90	69 a	66 a	62 a	64 a
120	72 a	69 a	47 b	63 a
Média	66 aA	63 aA	58 bA	55 cA
	Segundo Ciclo			
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	21 a	22 a	25 a	23 a
60	39 a	31 a	36 a	38 a
90	56 a	47 ab	55 a	35 b
120	55 a	59 a	54 b	43 c
Média	43 aB	40 abB	42 aA	35 bB
Testemunha	Primeiro ciclo		Segundo ciclo	
T (Sem N)	7,0		5,0	

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula comparam valores (médios) de cada composto entre primeiro e segundo ciclo.

Tabela 23. Enxofre acumulado na parte aérea da alface em função de diferentes doses e compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos.

Doses (t ha ⁻¹)	Primeiro Ciclo			
	C1	C2	C3	C4
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	29 a	21 b	27 a	25 b
60	39 a	34 a	35 a	34 a
90	45 a	34 b	35 b	42 a
120	41 a	37 a	16 b	38 a
Média	39 aA	32 bA	28 cA	35 bA
	Segundo Ciclo			
	----- mg planta ⁻¹ -----			
30	5 a	6 a	6 a	8 a
60	11 a	9 a	11 a	12 a
90	18 ab	14 b	21 a	13 b
120	19 b	22 a	27 a	20 b
Média	13 bB	12 bB	16 aB	13 bB
Testemunha	Primeiro ciclo		Segundo ciclo	
T (Sem N)	3		3	

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Médias seguidas da mesma letra maiúscula comparam valores (médios) de cada composto entre primeiro e segundo ciclo.

Pela quantidade de macronutrientes acumulados nas plantas de alface, pode-se afirmar que os compostos aplicados atuaram de forma diferenciada. A adubação com composto orgânico propiciou efeito residual, porém com produções menores no segundo ciclo.

6.2.3. Intensidade da cor verde das folhas

As medidas de ICV (intensidade da cor verde) com o clorofilômetro foram feitas apenas no segundo ciclo, pois no primeiro ciclo as plantas apresentaram coloração verde escura sem maiores variações.

Observou-se que as doses dos quatro compostos orgânicos influenciaram significativamente a ICV das plantas analisadas (Figura 12). Os ajustes em modelos lineares indicam que a ICV aumentou com as doses dos compostos avaliados, o que reflete em maiores concentrações de clorofila, bem como um melhor estado nutricional.

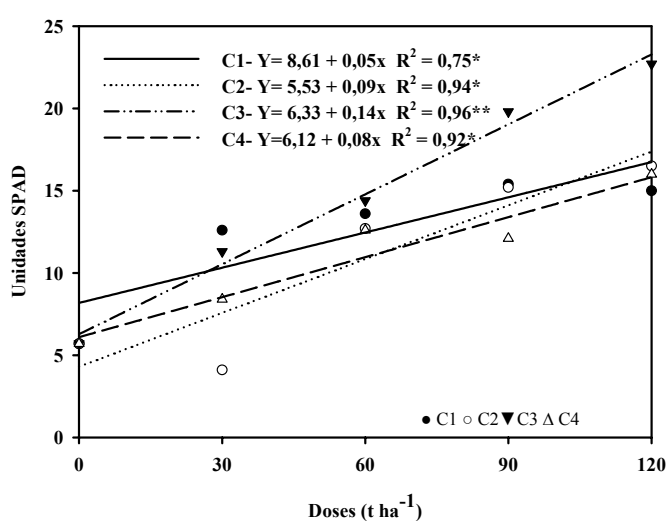


Figura 16. Intensidade da cor verde da alface (ICV) em função de doses de quatro compostos orgânicos. *, ** Significativos a 5 e 1% ($P > 0,05$) pelo teste de F.

Pela medida indireta da clorofila (unidade SPAD), notaram-se diferenças entre as doses dos quatro compostos. As plantas adubadas com composto C3 apresentaram maiores de ICV, quando comparadas às demais. Observando-se os dados da Tabela 17, verifica-se que o composto C3 foi o que proporcionou maiores teores de N na parte aérea da alface.

Tabela 24. Intensidade da cor verde da alface (ICV) em função de doses de quatro compostos orgânicos.

Doses (t ha ⁻¹)	Segundo Ciclo			
	C1	C2	C3	C4
	----- Unidades SPAD -----			
30	12,6 a	4,1 c	11,3 a	8,4 b
60	13,6 a	12,7 b	14,4 a	12,6 b
90	15,4 b	15,2 b	19,8 a	12,1 c
120	15,0 b	16,5 b	22,7 a	16,0 b
Média	14,5 b	12,1 c	17,0 a	13,2 b

Médias seguidas da mesma letra minúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de ICV refletem o que foi visualizado no experimento, ou seja, clorose nas plantas cultivadas com doses de 30 a 90 t ha⁻¹. Esse resultado reforça a hipótese de que no segundo cultivo os compostos não forneceram quantidades adequadas para atender a demanda de N para as plantas.

Na Figura 17 pode ser observada a diferença na coloração de uma folha de alface adubada com a dose de 30 t ha⁻¹ e 120 t ha⁻¹.

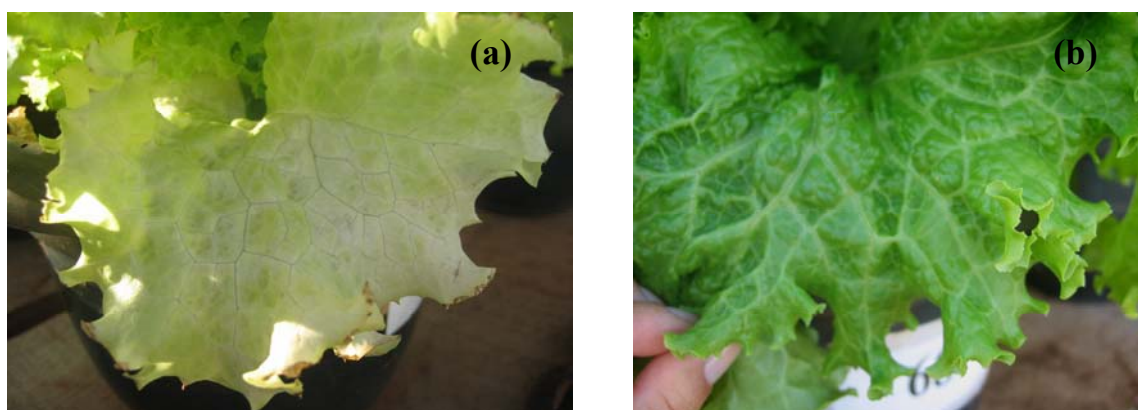


Figura 17. Variação da coloração de folhas no tratamento com 30 t ha⁻¹ (a) e 120 t ha⁻¹ (b).

De acordo com Villas Bôas et al. (2004), o desenvolvimento de coloração verde mais intensa reflete melhor o estado nutricional, principalmente quanto ao nitrogênio. No mesmo trabalho esses autores comparando três compostos orgânicos (palhada de feijão, casca de eucalipto e serragem de madeira) em diferentes doses na produção de alface, encontraram os maiores valores de unidades SPAD para as plantas cultivadas com o composto a base de palhada de feijão (20,4 a 23,0 unidades SPAD). No presente trabalho, o uso do composto C3 (no segundo ciclo) na dose de 120 t ha⁻¹ alcançou valores próximos ao do

trabalho citado anteriormente, o que leva a inferir que a composição dos compostos orgânicos tem forte influência na velocidade de mineralização da matéria orgânica, bem como na liberação de nutrientes.

6.2.4 Características químicas do solo após primeiro e segundo cultivo

Pela Figura 18, observam-se variações nas características químicas do solo, no final do primeiro ciclo, as quais foram ajustadas a equações lineares, o que demonstra que a adição dos compostos orgânicos aumentou os valores de MO, P, K, Ca, Mg e CTC no solo.

Foram verificados aumentos nos valores de matéria orgânica do solo (Figura 18) para os compostos C1, C2, C3 e C4. Os aumentos nos valores de matéria orgânica no solo através da adubação com compostos orgânicos são descritos por vários autores (KIEHL, 1985, SILVA JUNIOR et al. 1987, MARCHESINI et al., 1988, VIDIGAL et al., 1995 CEZAR, 2005). A adição de matéria orgânica no solo promove uma série de benefícios, entre outros: mineralização, aumento da CTC (melhoria da capacidade tampão), melhoria da estrutura do solo, maior capacidade de absorção e armazenamento de água, melhoria da aeração, além de um melhor desenvolvimento do sistema radicular, o que explica as produções crescentes obtidas no primeiro cultivo no presente estudo.

Analisando as equações lineares para o P no solo (Figura 18), observa-se a magnitude do aumento das concentrações desse elemento. O fertilizante mineral gerou aumentos da ordem de 100 mg kg^{-1} , enquanto que para cada 30 t ha^{-1} dos compostos houve aumento de concentração de P no solo variando de 66 a $75 \text{ mg de P kg}^{-1}$. A manutenção desses níveis de P no solo mesmo ao final de um cultivo confirma a capacidade de fornecimento desse nutriente pelos compostos orgânicos avaliados.

Os aumentos verificados para os teores de K no solo seguiram comportamento semelhante aos do P.

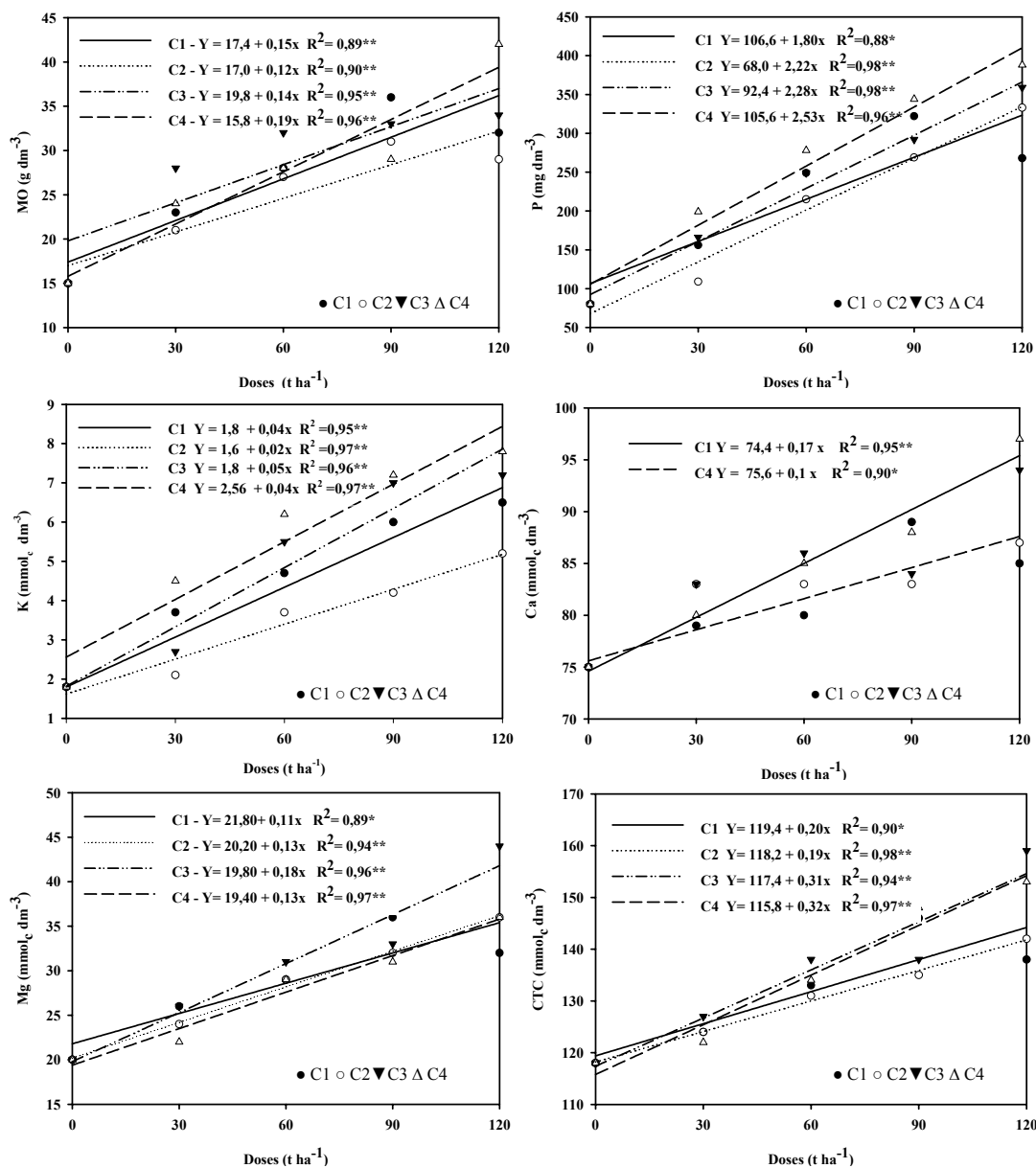


Figura 18. Matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e CTC no solo em função de doses de quatro compostos orgânicos após o primeiro cultivo. *, ** Significativos a 5 e 1% ($P > 0,05$) pelo teste de F.

Para o teor de Ca no solo, somente para os compostos C1 e C4 foram ajustadas equações de regressão. Isto possivelmente se deve à elevada concentração desse nutriente já presente no solo, fornecido através da calagem.

Os aumentos na CTC observados com a aplicação de doses crescentes dos compostos C1, C2, C3 e C4 ao final de um cultivo são reflexo das bases adicionadas

através dos compostos, uma vez que esta CTC é calculada através da soma de Ca + Mg + K. Resultados de aumento da CTC no solo após a aplicação de composto orgânico foram também relatados por Santos et al., (2001), que sugere a possibilidade utilização do efeito residual do composto em ciclos sucessivos.

No final do segundo ciclo, houve efeito de doses apenas para os seguintes parâmetros no solo: MO, P, Mg e CTC (Figura 19). Santos et al (2001) avaliando o efeito residual de doses de composto orgânico na produção de alface obteve aumentos no P e CTC no final do segundo cultivo.

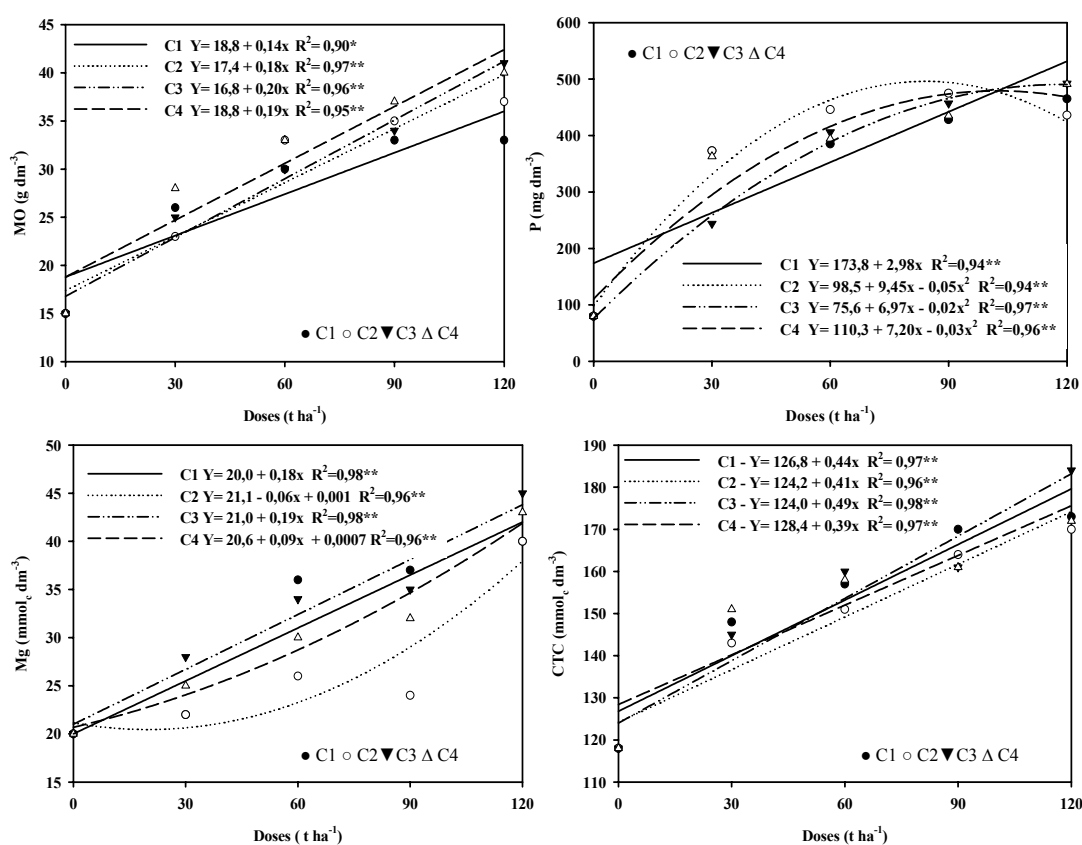


Figura 19. Matéria orgânica (MO), fósforo (P), magnésio (Mg) e CTC no solo em função de doses de quatro compostos orgânicos após o segundo cultivo. *, ** Significativos a 5 e 1% ($P > 0,05$) pelo teste de F.

Para MO, Mg e CTC, de modo geral, ajustaram-se equações lineares, o que significa que os valores encontrados no solo após o segundo cultivo mantiveram as proporções crescentes em função das doses dos compostos aplicados. Pode-se notar também

que para esses três parâmetros não houve grandes alterações do primeiro para o segundo cultivo, sendo que uma explicação para o fato seria o curto espaço de tempo entre as duas amostragens.

Para o fósforo (P), os ajustes foram linear e quadráticos, sendo que variações nos teores principalmente para doses mais elevadas do composto podem estar relacionadas a problemas de amostragem.

Nas Tabelas 25 e 26 são apresentados os parâmetros pH, MO, P (resina), H+ Al, K, Ca, Mg e a CTC do solo após primeiro e segundo cultivo.

Os valores de pH e H + Al não apresentaram variação significativa ao longo dos dois ciclos (Tabela 25). Mello e Vitti (2002) também não observaram variações no pH do solo com a aplicação de composto orgânico, sendo que os autores afirmam que dependendo do tipo de material orgânico aplicado, pode ou não ocorrer mudanças no pH.

Quando se avalia o teor de matéria orgânica médio de doses no segundo ciclo, não se observam diferenças significativas entre os compostos. De modo geral pode-se considerar que na média, após 2 cultivos, compostos mantiveram teores de matéria orgânica no solo 2 vezes maiores que os da testemunha (14 g kg^{-1}).

Os teores de P no solo (Tabela 25) diferiram entre os tratamentos, sendo que no primeiro cultivo, o tratamento C4 apresentou maior concentração desse nutriente (302 mg dm^{-3}), estatisticamente diferente dos demais tratamentos. Para o segundo cultivo, os teores de P no solo foram estatisticamente semelhantes, diferindo apenas para o C1, que apresentou valores mais baixos de P no solo. Pelo valor de P no solo verificado na testemunha ($115 \text{ mg de P dm}^{-3}$) após o segundo cultivo, nota-se a grande contribuição no aumento desse nutriente em função da adição de compostos orgânicos.

Com relação aos teores de K no solo (Tabela 26), nota-se que nos tratamentos C3 e C4 foram verificados os maiores valores em relação aos demais tratamentos, para as maiores doses no final do primeiro cultivo. Para o segundo cultivo não foi verificada uma tendência dos teores de K no solo que torne possível eleger o melhor tratamento para todas as doses aplicadas.

Para os teores de Ca e Mg (Tabela 26), não foram observadas diferenças significativas entre os compostos. Deve-se considerar que através da calagem, os

teores já se encontravam elevados no solo e, portanto, houve menos contribuição do composto nos teores desses nutrientes no solo.

No final do primeiro cultivo (Tabela 26), os maiores valores de CTC foram verificados quando aplicação da dose de 120 t ha⁻¹ dos compostos C3 e C4. Após o segundo cultivo, observaram-se valores crescentes de CTC, aumentando com as doses do composto aplicadas. Comparando-se valores entre primeiro e segundo ciclo, verifica-se que mesmo após 2 cultivos, aumentaram os valores de CTC para todas as doses dos compostos, esses aumentos podem ter sido ocasionados pela contínua mineralização do material orgânico.

De modo geral, as doses dos compostos orgânicos utilizadas aumentaram as concentrações de nutrientes exportados no final do primeiro e segundo cultivo, o que pode ser constatado pelos aumentos nos teores de P, K, Ca, Mg e CTC. Resultados semelhantes foram relatados por Asano (1984) e Marchesini et al. (1988), Santos et al (2001). Vidigal et al. (1995) observaram que efeitos residuais de composto orgânico têm sido verificados em até três cultivos sucessivos.

Os resultados obtidos no presente trabalho permitem reafirmar a importância da aplicação de compostos orgânicos no solo, porém percebe-se a necessidade do conhecimento da composição de cada material para que recomendações adequadas sejam feitas o efeito do uso desses materiais seja potencializado.

Tabela 25. Valores de pH, matéria orgânica, fósforo e hidrogênio + alumínio no solo ao final de dois ciclos sucessivos, em função da aplicação de quatro compostos orgânicos em diferentes doses.

Doses (t ha ⁻¹)	Final do primeiro ciclo															
	pH				MO g dm ⁻³				P mg dm ⁻³				H + Al mmol _c dm ⁻³			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
30	6,8	6,5	6,2	6,5	23ab	21b	28a	24ab	156b	109c	166b	199a	15	15	15	14
60	6,7	6,5	6,3	6,8	28a	27a	32a	28a	249a	215b	249a	278a	15	15	15	14
90	6,8	6,4	6,3	6,7	36a	31ab	31ab	29b	322a	269b	292b	344a	14	14	14	15
120	6,7	6,5	6,1	6,5	33b	29b	34b	42a	268b	333a	359a	388a	14	14	13	14
Média	6,8	6,5	6,2	6,6	30a	27b	31a	30a	248b	231b	266b	302a	14	14	14	14
Test.	6,5				15,0				80,0				14,0			
	Final do segundo ciclo															
	pH				MO g dm ⁻³				P mg dm ⁻³				H + Al mmol _c dm ⁻³			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
30	6,4	6,5	6,3	6,7	26a	23a	25a	28a	373a	373a	244a	363a	16	16	16	16
60	6,6	6,8	6,4	6,1	30a	33a	30a	33a	385a	446a	406a	394a	16	17	16	16
90	6,5	6,6	6,5	6,6	33a	35a	34a	37a	428b	475a	457ab	435ab	16	16	16	15
120	6,4	6,4	6,7	6,4	33b	37b	41a	40a	465ab	436b	492a	491a	16	16	16	16
Média	6,5	6,6	6,5	6,5	31a	32a	33a	35a	411b	433a	400a	421a	16	16	16	16
Test.	6,5				14,0				115,0				14,0			

Médias seguidas da mesma letra, nas linhas, para cada característica, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 26. Valores de CTC, Potássio, Cálcio e Magnésio no solo ao final de dois ciclos sucessivos, em função da aplicação de quatro compostos orgânicos em diferentes doses.

Doses (t ha ⁻¹)	Final do primeiro ciclo															
	CTC				K				Ca				Mg			
	mmol _c dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³			
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
30	124a	124a	127a	122a	2,7b	1,2c	2,7b	4,5a	79	83	83	80	26	24	26	22
60	133a	131a	138a	134a	4,7b	3,7b	5,5a	6,2a	78	83	86	85	29	29	31	29
90	146a	135a	138a	148a	6,0a	4,2b	7,0a	7,2a	89	83	84	88	36	32	33	31
120	138b	142b	159a	153a	6,5a	5,2b	7,2a	7,7a	85	87	94	97	32	36	44	36
Média	135b	133b	141a	139a	5,0b	3,6c	5,6b	6,4a	82	84	86	87	30	30	33	29
Test.	118,0				1,80				75,0				20,0			
	Final do segundo ciclo															
	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
	mmol _c dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³				mmol _c dm ⁻³			
30	148a	143a	145a	151a	7,2ab	6,7b	6,5b	8,0a	91	96	95	103	22	22	28	25
60	157a	151a	160a	158a	7,2a	6,7a	6,5a	7,0a	92	99	105	102	36	26	34	30
90	170a	164b	161b	161b	10,2a	6,7b	6,7b	6,0b	104	106	103	104	37	34	35	32
120	173a	170a	184a	172a	9,0a	6,6b	12,0a	10,0a	109	106	110	108	40	40	45	43
Média	162a	157a	163a	161a	8,4a	6,7b	7,9a	7,8a	99	102	103	104	34	28	36	33
Test.	115,0				1,60				43,0				20,0			

Médias seguidas da mesma letra, nas linhas, para cada característica, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

7 CONCLUSÕES

Os materiais orgânicos Unha de Gato, Cáscara Sagrada, Ipê Roxo e a mistura destes apresentaram condições que favoreceram o processo de compostagem produzindo compostos orgânicos considerados “de boa qualidade” dentro das normas exigidas pela legislação brasileira;

Os compostos produzidos a partir de diferentes materiais apresentaram características distintas no final do processo;

Os parâmetros indicados para predizer o grau de maturação nas condições do presente estudo foram: relação C/N, índices de germinação e teores de nitrato e amônio;

Os compostos C3 e C4, que foram os mais humificados, reduziram a produção de alface na dose de 120 t ha⁻¹ para o primeiro ciclo;

A dose de composto orgânico que produziu maior massa fresca de alface variou com o tipo de composto, sendo de 78 t ha⁻¹ para o C3 e 86 t ha⁻¹. Para o C1 e C2, a maior produção ocorreu com a maior dose dos compostos aplicados (120 t ha⁻¹);

Os compostos orgânicos avaliados não foram capazes de suprir as necessidades de N das plantas no segundo ciclo, ocorrendo redução na produção em relação ao primeiro ciclo;

A aplicação de doses crescentes dos compostos C1, C2, C3 e C4 aumentaram no solo os teores de matéria orgânica, fósforo e potássio, resultados que permaneceram ao final de dois ciclos de cultivo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10 004/1987. **Resíduos sólidos, classificação**. Rio de Janeiro, 1987.

ADANI, F., P.L.; GENEVINI, F.; ZORZI, G.. Organic matter evolution index (OMEI) as a measure of composting efficiency. **Compost Sci. Util.** 5: p. 53–62,1997.

ASANO, J. Effect of organic manures on quality of vegetables. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v. 18, n. 1, p. 31-36, 1984. (Abs.)

AVENIMELECH, Y.; BRUNER, M.; EZRONY, I.; SELA, R.; KOCHBA, M. Stability indexes for municipal solid waste composting. **Compost Science and Utilization**, v.4, p.13-20, 1996.

BLEY, C.J. **Destrução de Patógenos e compostagem de bio sólidos**. 1998. (Texto Técnico). Disponível em <http://www.ecoltec.com.br/pub2.htm>. Acesso em 20 mai. 2005.

BENITO, M.; MASAGUER, A. ; MOLINER, A.; ARRIGO, N.; PALMA., R.M. Chemical and microbiological parameters for the characterisation of the stability and maturity of pruning waste compost. **Biol. Fertil. Soils**, v.37, p.184-189, 2003.

BERNAL. M.P.; NAVARRO, A.F.;ROIG, A. CEGARRA, J.;GARCIA, DE. Carbon and nitrogen transformations during composting of sweet sorghum bagasse. **Biol. Fertil. Soils**. 22, p.141-148, 1996.

BERNAL. M.P., C. PAREDES, M.A. SANCHEZ-MONEDERO AND J, CEGARRA. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. **Bioresource Technology**, 63: 91-99, 1998.

BLACK, C. A. (Ed). **Methods of soils Analysis**. Part II chemical and Microbiological Properties. 1965.

BREWER, L.; SULLIVAN, A.M. A Quick look at quick compost stability tests. **Biocycle**, v.42, p.53-55, 2001.

BRINTON, W.F.; EVANS, E. How compost affects container grow plants. **Biocycle**, v.42, p.56-60, 2001.

CARDOSO, E.J.B.N. **Ecologia microbiana do solo**. In: CARDOSO, E.J.B.N; TSAI, S.M.; NEVES, M.C.P. *Microbiologia do solo*. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992.360p.

CARVALHO, W.A.; ESPÍNDOLA, C.R.; PACCOLA, A.A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado – Estação Experimental “Presidente Médici”. **Boletim Científico – Faculdade de Ciências Agrônômicas**, v.1, p.1-95, 1983.

CARVALHO, G.J. **Compostagem de resíduos agrícolas**. Ed. Ufla.Lavras-MG. 1999.12p

CASTRO, S. R. P. de; FERRAZ JUNIOR, A. S. L. Teores de nitrato nas folhas e produção da alface cultivada com diferentes fontes de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 16, n. 1. p.17-20, 1984.

CCME. **Guidelines for Compost Quality**. CCME 106 E. 1996.

CEZAR, V. R. S. **Efeito do processo de compostagem sobre a solubilização e a eficiência agrônômica de diferentes fontes de fósforo**. Universidade Estadual Paulista-Unesp-Botucatu, 66p. 2005.

CIAVATTA, C. L.; ANTISARI, L.; P. SEQUI. Determination of organic carbon in soils and fertilizers. **Commun.In Soil Sci. Plant. Anal.** 20 (7-8): p. 759-773. 1989.

CHANYASAK, V. & KUBOTA, H. Carbon/organic nitrogen ratio in water extracts as a measure of composting degradation. **Journal of Fermentation Technology**, v.59, p.215-221, 1981.

CHANYASAK, V.; KATAYAMA, A.; HIRAI, M.F.; MORI, S.; KUBOTA, H. Effects of compost maturity on growth of komatsuna (*Brassica ramosissima*) in Neubauer's pot.II. Growth inhibitory factors and assessment of degree of maturity by org-C/org-N ratio of water extracts. **Soil Science and Plant Nutrition**. V.29, p.251-259, 1983a.

CHANYASAK, V.; KATAYAMA, A.; HIRAI, M.F.; MORI, S.; KUBOTA, H. Effects of compost maturity on growth of komatsuna (*Brassica ramosissima*) in Neubauer's pot.I. Comparison of growth in compost treatments with that in inorganic nutrient treatments as controls. **Soil Science and Plant Nutrition**. V.29, p.239-250, 1983b.

CHEFETZ, B.; CHEN, Y.; HADAR, Y.. Water-extractable components released during composting of municipal solid waste. **Acta Hort.** (ISHS) 469:111-118,1998.

CHEN, L., W. A. DICK, J. G. STREETER, AND H. A. J. HOITINK. Ryegrass utilization of nutrients released from composted biosolids. **Compost Science & Utilization**. 4:73-83, 1996.

CRAUL, P.J.; SWITZABAUM, M.S. Developing biosolids compost specifications. **Biocycle**, v.37, p.44-47, 1996.

CRAWFORD, I. H.; Composting of agricultural wastes. **Biotechnology Applications and Research**. Technomic Publishing. P.A. p.68-77, 1985.

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.

DABIN, B. Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. **Cahiers de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer**, Série Pédologie, Paris, v.16, n.3/4, p.197-215, 1971.

DEIANA, S; GESSA, C; MANNUZA, B; RAUSA, R; SEEBER, R. Analytical and spectroscopic characterization of humic acids extracted from sewage sludge, manure and worm compost. **Soil Sci.**, 150.419-424, 1990.

DE VLEESCHAWER, D.O; VERDANCH, P.; VAN ASSCHE, A. Phytotoxicity of refuse compost. **Biocycle**, v.27, p.44-46, 1981.

DELGADO, I. E. **Effect of bulking material and temperature control on the composting process performance**. University of Puerto Rico, Thesis, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.212p.

EPSTEIN, E. **The science of composting**. Technologic Publishing, P.A.1997.

FERREIRA, D. F. **Programa Sisvar. exe**. Sistema de Análise de Variância. Versão 3.04, 2003.

FILGUEIRAS, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura**: Agrotecnologia Moderna na Produção e Comercialização de Hortaliças. Viçosa, MG, UFV, 2000. 402 p.

FRANCOU, C. ; POITRENAUD, M ; HOUOT, S. Stabilization of Organic Matter During Composting: Influence of Process and Feedstocks. **Compost Science & Utilization**; Winter 2005, 72-83.

FROST, D.I; FOTH, B.L.; HOITNK, B. Compost Stability. **Biocycle**, v.33, p.62-66,1992.

GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; COSTA, F. Study on water extract of sewage sludge composts. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.37, p. 399-408, 1991.

GARCIA-GOMEZ, A.; BERNAL. M.P.; ROIG, A. Organic matter fractions involved in degradation and humification processes during composting. **Compost Science e Utilization**, 13,127-135, 2005.

GARCIA, L.L.C.; HAAG, H.P.; MINAMI, K.; DECHEN, A.R. Nutrição mineral de hortaliças. XLIX. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.39, p.455-484, 1992.

GOMES, F.P. **Curso de Estatística experimental**. 14 ed., Piracicaba: ESALQ, 2000, 477p.

GRIGATTI M., CIAVATTA C.; GESSA C. Evolution of organic matter from sewage sludge and yard trimming during composting. **Biores. Technol.**, 91:163-169. 2004.

HAUG, R.T. Compost engineering: principles and practices. **Ann Arbor: Ann Arbor Science**, 1980. 655p.

HUANG, G.F.; A, WONG , J.W.C. B.; WU Q.T.; NAGAR B.B. B. Efect of C/N on composting of pig manure with sawdust. **Waste Management** 24 805–813, 2004.

IMBAR, Y.; CHE, Y.; HADAR, Y. Humic substances formed during the composting of organic matter. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.54, p.1316-1323, 1990.

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

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.

KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A. N. (Coord.) **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 254p.

KEELING, A.A.; PATON, I.K.; MULLET, A.J. Germination and growth of plants in Média containing unstable refuse-derived compost. **Soil Biology & Biochemistry**, v.6, p.767-772, 1994.

KEENEY, D.R. NELSON, D.W. Nitrogen-inorganic forms. In: PAGE, A.L., MILLER, R.H, KEENEY, D.R (eds) Methods of soil analysis, Part 2. **Chemical and microbiological properties**. ASA, SSA, Madison, p.643-698, 1982.

KELLER, P. Methods to evaluate maturity of compost. **Compost Science**, v.2, p.20-26, 1961.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem “Maturação e qualidade do Composto”**. Piracicaba. 2002. 171p.

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

LANARV. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes - métodos oficiais**. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Ministério de Agricultura, 1988. 104p.

LEE, I.B.; KIM, P.J.; CHANG, K.W. Evaluation of stability of compost prepared with Korean food wastes. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.48, p.1-8, 2002.

LEVI-MINZE, R.; SAVIOZZI, A.; RIFFALDI, R;. Evaluating garbage compost. **Biocycle**, v.33, p.66-69, 1992.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MANIOS, V.I.; TSIKALAS, P.E.; SIMINIS, H.I.; VERDONCK, O. Phytotoxicity of olive tree leaf compost in relation to the organic acid concentration. **Biological Wastes**, v. 27, p.307-317, 1989.

MANHÃES. M.S compostagem de resíduos agroindustriais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 28(12),1-5,1993.

MARAMBE, B.; ANDO, T.; KOUNO, K. Effect of inorganic cations in animal waste composts on water and cation absorption of germinating sorghum (*Sorghum bicolor* L.) seeds. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.37, p. 487-495, 1991.

MARCHESINI, A.; ALLIEVI, L.; COMOTTI, E.; FERRARI, A. Long-term effects of quality-compost treatment on soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 106, p. 253-261, 1988.

MELLO, S.C.; VITTI, G.C. Desenvolvimento do tomateiro e modificações nas propriedades químicas do solo em função da aplicação de resíduos orgânicos, sob cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, 20, n. 2, p. 200 – 206, junho 2002.

MOGOR, A.F. **Manejo da cobertura do solo, características fisiológicas e nutricionais da alface em cultivo orgânico no verão**. Universidade Estadual Paulista-UNESP-Botucatu.127p. (Tese de Doutorado).

NAIME, R.; SARTOR, I.; GARCIA, A. Estudo sobre a utilização de Compostagem em Agropecuária, usando carcaças de aves e suínos. **Revista Sul Ambiental**. nº 10, 2004. Disponível em http://www.sulambiental.com.br/edicao_10/artigos_04_estudo.htm (Acesso em 25 de maio de 2005).

NAKAGAWA, J.; BÜLL, L.T.; PROCHNOW, L.I.; VILLAS BOAS, R.L. Efeitos de compostos orgânicos na cultura do alface (*Lactuca sativa* L.). Série I. **Científica**, São Paulo, v.20, n.1, p.173-180, 1992.

NAMKOONG, W., HWANG, E.Y., CHEONG, J.G E CHOI, J.Y. A comparative evaluation of maturity parameters for food waste composting. **Compost Science and utilization**. V.7, 2, p.55-62. 1999.

NEGRO, M.J; VILLA, F.; AIBAR, J.; ALARCON, R.; CIRIA, P. **Produção e gestão de composto**. Informações Técnicas do Departamento de Agricultura de Zaragoza. n.88,32p. 2000.

ORLOY, D.S. Organic substances of Russian soils. **Eurasian Soil Science**, Moscow, v.31, n.9, p.946-953, 1998.

OZORES-HAMPTON, M.; STOFFELA, P.J.; BEWICK T.A, CANTLIFFE, D.J. Effect of age of composted MSW and biosolids on weed seed germination. **Compost Science & Utilization**, v.7, p.51-57,1999.

PARÉ, T.; GREGORICH, F.G.; DINEL, H. Effects of stockpiled and composted manures on germination and initial growth of cress. **Biol. Agric. Hort.** 14, 1-11,1997.

PEIXOTO, R.T.G. dos. **Compostagem**: opção para o manejo orgânico do solo. Londrina. IAPAR: 1988. 48p. (IAPAR. Circular, 57).

POHLMANN, M. **Levantamento de técnicas de manejo de resíduos da bovinocultura leiteira no Estado de São Paulo** /.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

RAIJ, B. V, QUAGGIO, J.A. **Métodos de análises de solo para fins de fertilidade**. Bol. Tec. Inst. Agron. Campinas, n.81, p.1-31, 1983.

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, 1997.285p. (Boletim Técnico, 100).

RIFFALDI R, LEVI-MINZI R, SAVIOZZI A, CAPURRO M. Evaluating garbage compost. **Biocycle** 33, 66-69,1992.

RIVERA-ROSARIO, R.A. **Determinación de indicadores de madurez en la producción de composta**. Universidad de Puerto Rico, 2003,127p. (Dissertação de Mestrado).

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

RODRIGUES, E.T.; CASALI, V.W. Rendimento e concentração de nutrientes em alface, em função das adubações orgânica e mineral. **Horticultura Brasileira**, 17, p.125-128,1999.

ROLETTI, E.;CERRUTI, M.; BARBERIS, R.. Investigation on Humic Substances from Decomposing Spruce Bark. **Agricultural Wastes**. 13:137-148. 1985.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., A. ROIG, C. PAREDES, AND M.P. BERNAL. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. **Bioresour. Technol.** 78:301–308, 2001.

SANTOS, R.H.S.; CASALI, V. W. D.; CONDE, A. R.; MIRANDA, L.C.G. Qualidade de alface cultivada com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 12, n. 1. Brasília, DF, 1994.

SANTOS, R.H.S.; SILVA, F. da; CASALI, V. W. D.; CONDE, A. R. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n. 11. Brasília, DF, p.1395-1398, 2001.

SAVIOZZI, A., LEVI-MINZI, R., RIFFALDI, R., BENETTI, A. Evaluating garbage compost. **BioCycle**. 33, 72-75,1992.

SAVIOZZI, A.; CARDELLI, R.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALDI, R. Evolution of biochemical parameters during composting of urban wastes. **Compost Science & Utilization**, v.12, p.153-160, 2004.

SENESI, N. Composted materials as organic fertilizers. **The science of the total environment**, 81/82,. p.521-542. 1989.

SILVA JÚNIOR, A. A. Adubação mineral e orgânica em repolho: II. Concentração de nutrientes na folha e precocidade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 15-17, 1987.

SMITH, W.H.. Organic waste management in Florida. **BioCycle** 31(4):52-55. 1990.

SONNENBERG, P.E. **Olericultura Especial**. 3 ed. Goiânia: UFG, 1985, v.1, 188 p.

SOUZA, P.A.; 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**, 23, p.754-757, 2005.

STEVENSON, F.J. **Humus Chemistry**. Genesis, Composition, Reactions Wiley, New York. 496 p. 1994.

SWIFT, M.J.; WOOPER, P. Organic matter and the sustainability of agricultural systems: definitions and measurement. In: MULUNGOY, K.; MERCKX, R. (Eds.). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture**. Leuven: Wiley-Sayce co. p.3-18. 1993.

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

VALLINI, G. Il compostaggio in la protezione dell'ambiente in Italia. In: Ed BERTINI, I.; IPOLLINI, R.; TUNDO, P.(Bologna, Italia). **Consiglio Nazionale delle Recherche, Società Chimica Italiana e Consorcio Interuniversitário Chimica per l'Ambiente**. P. 83-134, 1995.

VIDIGAL. S.M.; SEDIYAMA, M.A.N.; GARCIA, N.C.P; MATOS, A. T. Compostos orgânicos contendo dejetos de suíno como fonte de N: Efeito residual da adubação orgânica no estado nutricional de plantas de alface (*Lactuca sativa* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. **Resumos Expandidos...** Viçosa: UFV, 1995, v.2, p.672-674.

VIDIGAL. S.M.; SEDIYAMA, M.A.N.; GARCIA, N.C.P.; MATOS, A.T. Produção de alface cultivada com diferentes compostos orgânicos e dejetos suínos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.15, n.1. p.35-39. 1997.

VITKO, T.G. Expected quality of dairy wastewater based on the characterization of a dairy farm in Chino, *California*. **Technical Articles**, CWEA Bulletin/Spring 1999, p.23-27.

VILLAS BÔAS, R.L.; PASSOS, J.C.; FERNANDES, D.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, 2004.

WANG, P.; CHANG, C.M.; WATSON, M.E.; DICK, W.A.; CHEN, Y. HOITINK, H.A.J. Maturity indices for composted dairy and pig manures. **Soil. Biol. & Biochem.**, v.36, p.767-776, 2004.

WARMANN, P.R. Evaluation of seed germination and growth tests for assessing compost maturity. **Compost Science & Utilization**, v.7.p.33-57, 1999.

WILSON, G.C.S. Analytical analyses and physical properties of horticultural substrates. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 150, p. 19-32, 1984.

ZUCCONI, F., FORTE, M., MONACO, A., BERTOLDI, M. 1981. Evaluating toxicity in immature compost. **BioCycle**, 22, p54-57. 1988.

ZUCCONI, F.; DE BERTOLDI, M. **Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste**. In M. de Bertoldi et al. (Eds.) *Compost: Production, Quality and Use*. pp. 30-50. Elsevier Applied Science: London. 1987.

ZUCCONI, F., A. PERA; M. FORTE; DE BERTOLDI, M. Evaluating toxicity of immature compost. **BioCycle** 22:27–29. 1981.

ANEXOS

Tabela 1A. Resumo da análise de variância para os parâmetros de maturação (C_{total}, N_{total}, C/N, pH, CE, NH₄⁺).

Causa da Variação	G.L	Parâmetros de Maturação					
		C _{total}	N _{total}	C/N	pH	CE	NH ₄ ⁺
		----- Quadrado médio (significância) -----					
Pilhas	3	20602,2*	25697,5*	1060,5**	1,30**	4,6**	3699,0**
Tempo	4	2461,5*	20,56*	7,66*	0,75**	9,3ns	960,1**
Pil x Tempo	12	22,6*	21,3*	11,5**	0,68**	3,6**	372,6**
Erro	40	3,2	5,9	1,8	0,56	0,1	1,98
CV (%)		8,1	9,6	8,3	5,3	6,3	10,2

*,** e ns, Significativo a 5, 1% e não significativo, respectivamente.

Tabela 2A. Resumo da análise de variância para os parâmetros de maturação (NO₃⁻, IG, COT, AH, AF, IP).

Causa da Variação	G.L	Parâmetros de Maturação					
		NO ₃ ⁻	IG	COT	AH	AF	IP
		----- Quadrado médio (significância) -----					
Pilhas	3	3,42**	148,41**	965,1*	5,1ns	2,9ns	1,3ns
Tempo	4	9,19**	9025,9**	1563,9ns	3,2ns	2,4ns	5,4ns
Pil x Tempo	12	0,67**	139,9**	1111,4*	2,0**	1,7**	2,4**
Erro	40	0,05	40,3	226,0	0,8	0,5	0,6
CV (%)		10,7	12,0	10,5	5,47	5,47	5,47

*,** e ns, Significativo a 5, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de F.

Tabela 3A. Resumo da análise de variância para os parâmetros de produção (MFPA e MSPA) em dois ciclos sucessivos.

Causa da Variação	G.L	Produção			
		Primeiro Ciclo		Segundo Ciclo	
		MFPA	MSPA	MFPA	MSPA
		----- Quadrado médio (significância) -----			
Composto	3	9877,7**	22,9**	1506,2**	6,21**
Dose	3	238267,6**	676,9**	83116,0**	276,1**
Comp. x Dose	9	3254,0*	10,5**	559,6*	2,0ns
Erro	48	1583,8	2,3	309,4	1,38
CV (%)		12,4	12,8	11,5	10,2

*,** e ns, Significativo a 5, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de F.

Tabela 4A. Resumo da análise de variância para os macronutrientes acumulados (N, P, K, Ca, Mg e S) no primeiro ciclo.

Causa da Variação	G.L	Macronutrientes Acumulados					
		Primeiro Ciclo					
		N	P	K	Ca	Mg	S
		----- Quadrado médio (significância) -----					
Composto	3	10887,3**	7254,4**	97379,5**	995,8ns	367,8*	309,1**
Doses	3	144148,5**	1910,9**	245355,5**	1528,9*	702,5**	528,7**
Comp. x Dose	9	13773,8*	148,3*	67773,6**	1536,4*	194,7*	136,3**
Erro	48	2194,9	61,0	15952,5	446,0	62,1	10,6
CV (%)		10,4	11,3	10,95	12,5	12,9	9,6

*,** e ns, Significativo a 5, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de F.

Tabela 5A. Resumo da análise de variância para os macronutrientes acumulados (N, P, K, Ca, Mg e S) no segundo ciclo.

Causa da Variação	G.L	Macronutrientes Acumulados					
		Segundo Ciclo					
		N	P	K	Ca	Mg	S
		----- Quadrado médio (significância) -----					
Composto	3	17723,7**	345,0**	48555,8**	271,6ns	212,1**	48,8**
Doses	3	207621,7**	5446,6**	1298961,5*	11601,3**	2267,1**	743,8*
Comp. x Dose	9	5478,9**	90,5*	14986,3ns	848,2**	136,1*	22,5
Erro	48	2199,7	40,5	9287,1	211,1	40,6	7,8
CV (%)		17,1	17,2	16,3	14,2	15,8	12,2

*,** e ns, Significativo a 5, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de F.

Tabela 6A. Resumo da análise de variância para clorofilômetro e características químicas do solo (CTC, H+Al e MO) após o primeiro ciclo.

Causa da Variação	G.L	Primeiro Ciclo			
		Clorofilômetro	CTC	H+Al	MO
		----- Quadrado médio (significância) -----			
Composto	3	-	166,6ns	1,9ns	40,0**
Doses	3	-	1619,5**	6,4ns	279,6**
Comp x Dose	9	-	117,8ns	2,4ns	58,3**
Erro	48	-	89,8	0,6	8,8
CV (%)		-	6,92	5,47	9,90

*,** e ns, Significativo a 5, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de F.

Tabela 7A. Resumo da análise de variância para clorofilômetro e características químicas do solo (CTC, H+Al e MO) após o segundo ciclo.

Causa da Variação	G.L	Segundo Ciclo			
		Clorofilômetro	CTC	H+Al	MO
		----- Quadrado médio (significância) -----			
Composto	3	336,8**	2236,3**	4,5**	382,2**
Dose	3	59,0**	97,6*	9,6ns	45,8*
Comp x Dose	9	19,1**	80,7*	3,4ns	20,4ns
Erro	48	1,5*	166,3	0,9	17,4
CV (%)		10,1	8,03	6,06	12,8

*,** e ns, Significativo a 5, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de F.

Tabela 8A. Resumo da análise de variância para clorofilômetro e características químicas do solo (P, K, Ca e Mg) após o primeiro ciclo.

Causa da Variação	G.L	Primeiro Ciclo			
		P	K	Ca	Mg
		----- Quadrado médio (significância) -----			
Composto	3	14970,1**	19,9**	76,3ns	49,6*
Dose	3	109595,7**	39,7**	284,3*	423,6**
Comp.x Dose	9	4177,3*	0,9ns	51,0ns	37,0**
Erro	48	1533,9	0,6	52,3	11,9
CV (%)		14,7	15,4	8,4	10,8

*,** e ns, Significativo a 5, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de F.

Tabela 9A. Resumo da análise de variância para clorofilômetro e características químicas do solo (P, K, Ca e Mg) após o segundo ciclo.

Causa da Variação	G.L	Segundo Ciclo			
		P	K	Ca	Mg
----- Quadrado médio (significância) -----					
Composto	3	989984,0**	10,1ns	470,2ns	805,1*
Dose	3	1410,97*	3,7ns	78,1ns	64,1*
Comp. x Dose	9	32804,4*	18,5**	53,5ns	45,4ns
Erro	48	11509,7	2,9	77,5	17,5
CV (%)		24,0	20,4	8,6	12,5

*,** e ns, Significativo a 5, 1% e não significativo, respectivamente pelo teste de F.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)