

**LEANDRA BRITO DE OLIVEIRA**

**COMPOSTOS ORGÂNICOS ADICIONADOS A ARGISSOLO  
CULTIVADO COM ALFACE: MINERALIZAÇÃO DE  
NITROGÊNIO E METAIS PESADOS**

**RECIFE  
PERNAMBUCO – BRASIL  
2008**

Leandra Brito de Oliveira

**COMPOSTOS ORGÂNICOS ADICIONADOS A ARGISSOLO  
CULTIVADO COM ALFACE: MINERALIZAÇÃO DE  
NITROGÊNIO E METAIS PESADOS**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo da Universidade  
Federal Rural de Pernambuco,  
como exigência para obtenção do  
título de Mestre.

Recife -PE  
2008

Ao meu filho, Pablo de Oliveira  
Amorim, simplesmente pelo fato de  
você existir em minha vida.

**DEDICO.**

Leandra Brito de Oliveira

Dissertação intitulada: **COMPOSTOS ORGÂNICOS ADICIONADOS A ARGISSOLO CULTIVADO COM ALFACE: MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO E METAIS PESADOS** apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como exigência para obtenção do título de Mestre, e aprovada em 28 de março de 2008.

---

Adriana Maria de Aguiar Accioly, DS.  
**PRESIDENTE DA BANCA EXAMINADORA  
(ORIENTADORA)**

---

Carolina Etiene de Rosália e Silva Santos, DS.  
**EXAMINADOR**

---

Mateus Rosas Ribeiro Filho, DS.  
**EXAMINADOR**

---

Rômulo Cesar Simões Menezes, DS.  
**EXAMINADOR**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que é a fonte de vida e sabedoria, por me iluminar e guiar por todos os caminhos.

A minha família, especialmente a minha mãe, pelo incentivo e apoio nas horas mais difíceis.

A minha orientadora Adriana Maria de Aguiar Accioly.

Ao Professor Rômulo Simões César Menezes pelo apoio, confiança, respeito, humildade e simplicidade na transmissão do conhecimento, o qual foi imprescindível para a conclusão do mestrado.

Ao Professor Clístenes Williams Araújo do Nascimento pelo apoio, confiança e atenção sempre que requerida.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação, em especial as professoras Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, pelos conhecimentos, conselhos e orientações durante o mestrado.

Aos colegas de pós-graduação, Emídio, Eriberto, Leirson, Rogério, Almeida Nilton César, Moacir, Francisco, Carla, Sandra, Fátima, Terezinha, Maria, Josimar e em especial a Romildo pelos conselhos e amizade.

As colegas do curso de Engenharia agrícola, Ligia, Aérica e Jussalvia.

Aos amigos Cleia, Patrícia, Flávia, Elisangela Felizarda e George pelas alegrias ao longo dos inesquecíveis anos de graduação.

A amiga Danielle Braga Tavares, pelo apoio, amizade, carinho, simpatia, conselhos e principalmente pelo incentivo nas horas mais difíceis.

As colegas Priscila e Carol pelo carinho e ótimos momentos proporcionados.

A Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical (Cruz das Almas – BA) pelo apoio financeiro na conclusão do trabalho.

A equipe do laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Energia Nuclear/DEN pelo auxílio na condução deste trabalho.

Finalmente, a todos, em especial a Socorro e ao Seu Noca, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6
CAPÍTULO I - AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS INDICADORES DO POTENCIAL DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS	9
RESUMO	9
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO	11
MATERIAL E MÉTODOS	14
RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
CAPÍTULO II - AVALIAÇÃO NUTRICIONAL E TEORES DE METAIS PESADOS EM PLANTAS DE ALFACE ADUBADAS COM COMPOSTOS ORGÂNICOS	34
RESUMO	34
ABSTRACT	35
INTRODUÇÃO	36
MATERIAL E MÉTODOS	38
RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

## FICHA CATALOGRÁFICA

O48c Oliveira, Leandra Brito de  
Compostos orgânicos adicionados a argissolo cultivado  
com alface: mineralização de nitrogênios e metais pesados /

Leandra Brito de Oliveira. -- 2008.  
58 f. : il.

Orientadora: Adriana Maria de Aguiar Accioly  
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) --  
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de  
Agronomia

Inclui bibliografia.

CDD 631. 87

1. Fertilizante orgânico
  2. Níveis tóxicos
  3. Elementos traços
- I. Accioly, Adriana Maria de Aguiar
  - II. Título

## INTRODUÇÃO GERAL

A demanda por alimentos isentos de resíduos tóxicos e provenientes de sistemas de produção não agressivos ao ambiente é uma tendência mundial que também se observa no Brasil (Agrianual, 2005).

O mercado de produtos orgânicos vem crescendo no mundo a uma taxa de até 50% ao ano (SANTOS et.al, 2001). O cultivo de hortaliças com adubos orgânicos tem aumentado nos últimos anos, devido principalmente aos elevados custos dos adubos minerais e aos efeitos benéficos da matéria orgânica em solos intensamente cultivados com métodos convencionais (COBO et al., 2002).

A produção brasileira de alimentos orgânicos tem crescido cerca de 20% ao ano, gerando U\$20 milhões com comercialização para o mercado interno e U\$120 milhões com exportações (Agricultura orgânica, 2005). A adubação orgânica tem tido grande importância no cultivo de frutas e hortaliças, principalmente em solos de regiões de clima tropical, onde a decomposição da matéria orgânica se realiza intensamente (SILVA et. al, 2001).

A produção de compostos orgânicos no Brasil apresenta origens diversas em diferentes atividades urbanas, agrícolas ou industriais. Nas áreas agrícolas, são produzidos resíduos vegetais com composições químicas variadas, como é o caso dos restos culturais de leguminosas (soja, feijão, etc.) e gramíneas (cana, milho, etc.). A indústria gera subprodutos de processos agroindustriais, como torta de filtro, vinhaça, restos de leveduras; lodo industrial; etc. Além disso, em sistemas de produção animal, são gerados esterco de bovinos, suínos, aves e eqüinos (GOYAL et. al. 2005).

A maioria dos pequenos agricultores da região Nordeste do Brasil tem baixo nível de capitalização e devido à falta de infra-estrutura e à baixa rentabilidade agrícola, o uso de fertilizantes inorgânicos é nulo ou reduzido (Sampaio & Salcedo, 1997). Nessas condições, o manejo integrado de nutrientes centrados no uso de compostos orgânicos, e o cultivo de espécies vegetais capazes de utilizar recursos locais da forma mais eficiente possível, têm sido considerados alternativas viáveis para sustentar a produtividade agrícola em sistemas de agricultura familiar.

O uso de compostos orgânicos como adubo provoca melhoras na fertilidade, além de ser excelente condicionador de solo (ABREU et.al. 2005). Melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo, como retenção de água, agregação, porosidade, aumento na capacidade de troca de cátions, aumento da vida microbiana do solo, aumenta o fluxo dos recursos hídricos, e facilita o desenvolvimento radicular das plantas (MIYASAKA *et al.*, 1997).

Entre os fatores que contribuem para o incremento da produtividade das culturas, a disponibilidade de N é um dos mais importantes, pois se trata de um nutriente absorvido em maiores quantidades pela maioria das culturas e o que exerce efeito mais pronunciado na produção. Apesar disso, o manejo da adubação nitrogenada é difícil, por ser o N um elemento que apresenta dinâmica complexa (AITA et.al. 2001).

A principal reserva de nitrogênio do solo é a matéria orgânica, que quando adicionada ao solo é mineralizada pela ação dos microrganismos, liberando os elementos minerais contidos neste material (MARQUES et .al, 2000). O conhecimento dos atributos dos materiais orgânicos relacionados à degradação microbiológica do N orgânico pode contribuir para a previsão de seu comportamento no solo, permitindo definir parâmetros úteis ao estabelecimento das doses máximas a serem aplicadas aos solos, em função do N disponibilizado às plantas (WEIR, 2000).

O N disponível às plantas é definido como a soma do N na forma de nitrato ( $N-NO_3^-$ ), do N na forma de amônio ( $N-NH_4^+$ ), quando não são perdidos por desnitrificação ou volatilização, respectivamente, e do N orgânico que é mineralizado em determinado tempo (GILMOUR & SKINNER, 1999). A dinâmica da mineralização dos compostos orgânicos adicionados ao solo é importante para predizer os efeitos das possíveis perdas de N para o ambiente (VIEIRA, 2003).

Dentre os fatores que influenciam na mineralização do N dos compostos orgânicos adicionados ao solo, estão o teor de N, o grau de maturação e a biodegradabilidade de C do material, além da textura do solo e a relação C/N (BOEIRA et al., 2002).

A quantidade de N no material orgânico determinará a velocidade da sua decomposição. Muitos estudos têm mostrado que compostos de baixa relação

C/N decompõem-se mais rápido que os de relação C/N alta. A baixa velocidade de decomposição dos compostos de alta relação C/N tem sido atribuída à deficiência de N e à presença de constituintes recalcitrantes (MARQUES et. al., 2000).

Em geral, considera-se que a mineralização e imobilização de N ocorrem se a relação C/N for  $< 20$  e  $> 30$ , respectivamente (MOREIRA & SIGUEIRA, 2002). Entretanto, a relação C/N não tem expressado resultados satisfatórios quanto à decomposição e liberação de nutrientes, por não levar em consideração a qualidade do carbono (HANDAYANTO et. al., 1997). Em razão disso outros parâmetros que controlam a decomposição e liberação de nutrientes têm sido propostos.

Segundo Vanlauwe et. al., (2005) os parâmetros que melhor expressam a liberação de nutrientes são as relações de: Polifenóis:Nitrogênio (PP/N); lignina:Nitrogênio (L/N), polifenóis + lignina:Nitrogênio (PP+L)/N e mais recentemente a digestibilidade da matéria seca *in vitro*. Todos estes índices são aparentemente válidos, porém sua interferência na decomposição depende do tempo, dentro de determinadas condições e tipos de compostos orgânicos.

Além da relação C/N, as proporções dos carboidratos estruturais e lignina também podem alterar a mineralização dos resíduos culturais de diversas espécies quando adicionadas ao solo. Essas mudanças na composição da fitomassa podem provocar alterações na taxa de decomposição dos resíduos culturais, uma vez que esse processo é controlado por diversos atributos intrínsecos aos resíduos (RANGEL, 2004)

A fração mais facilmente mineralizável tem influência sobre a fertilidade do solo por representar um reservatório de nutrientes, sobretudo N, P e S, que podem ser liberados para as plantas em curto prazo. A identificação e a quantificação de um reservatório lábil da matéria orgânica por métodos químicos seriam úteis para prever o suprimento de nutrientes durante o ciclo de crescimento de uma cultura (FRAGA, 2004).

Nesse contexto, valorizou-se uma prática utilizada pelos agricultores há muitos séculos, ou seja, o aproveitamento dos resíduos animais e vegetais encontrados nas propriedades, 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 (ROWEL, et.al., 2001).

Segundo Westerman & Bicudo (2005), as principais limitações do uso de compostos orgânicos na agricultura estariam ligadas aos seguintes aspectos: desequilíbrio no fornecimento de nutrientes oriundos da matéria prima, presença de sementes de ervas daninhas, vetores de pragas, desbalanço regionais na oferta de nutrientes e problemas ambientais relacionados à grande presença de nitrato e metais pesados.

Diante disso uma das maiores preocupações com as questões ambientais está associada, dentre outros fatores, à contaminação do solo por metais pesados, oriundos principalmente de compostos agroindustriais e lixo urbano acarretando sérias conseqüências sobre os componentes funcionais dos ecossistemas. Através da absorção destes pelas plantas, os metais podem entrar na cadeia trófica, contaminando o homem e animais (ACCIOLY e SIGUEIRA, 2000).

A preocupação com a possibilidade de contaminação dos solos com metais pesados levou diversos países a estabelecerem limites máximos de metais no solo. No Brasil esses limites foram determinados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), onde estabeleceu-se que para solos agrícolas o limite máximo (intervenção) para Cu, Zn, Cd e Ni seriam, respectivamente, 100, 500, 10 e 50 mg kg<sup>-1</sup> (CETESB, 2001, 2005). A escolha do critério para avaliação dos teores totais de metais pesados em solo foi baseada no princípio da precaução, ou seja, no critério que estabelece limites mais rígidos para metais pesados em solos.

Esse tipo de preocupação é bastante justificável, uma vez que compostos orgânicos a base de lodo obtido de efluentes industriais pode apresentar teores de metais pesados acima da faixa permitida e, conseqüentemente, serem proibidos para o uso agrícola (ANJOS & MATTIAZO, 2001).

Diversos trabalhos têm demonstrado que a aplicação de lodo de esgoto promove o aumento da concentração de metais no solo. No entanto, resultados obtidos por Anjos e Mattiazzo (2001) em Latossolo Roxo Distrófico que recebeu doses de lodo de esgoto totalizando 387,89 Mg ha<sup>-1</sup> (base seca), revelaram que mesmo com o aumento na concentração de alguns metais pesados no

solo, os limites não ultrapassaram os valores permitidos pela CETESB. Estudos efetuados em condições tropicais mostraram que, mesmo em condições de superdosagem, não houve acréscimo significativo no teor de metais do solo, devido à incorporação do lodo de esgoto, mostrando também que nas doses mais elevadas, os metais permaneciam na superfície do solo.

Costa et. al., (2001), quando aplicou  $90 \text{ Mg ha}^{-1}$  de composto orgânico de lixo urbano no solo, observou redução drástica do crescimento da alface e da cenoura. Esse autor atribuiu tal efeito do composto ao elevado teor de Cu no tecido vegetal, além do elevado pH e condutividade elétrica dos solos.

A simples adoção dos critérios estabelecidos nas legislações não torna segura, por tempo indeterminado, a utilização agrícola de compostos em doses crescentes, sendo imprescindível o monitoramento periódico do solo, das águas e principalmente dos alimentos.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar compostos orgânicos quanto à composição química, mineralização de nitrogênio e fornecimento de nutrientes e metais pesados para cultivo da alface.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU JUNIOR, C. H. et al. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em Ciências do Solo**, v.4 p.345- 390, 2005.

AITA, C.; et al. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.25 p.157-165, 2001.

ACCIOLY, A.M.A. & SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, MG. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 299-52. 2000.

ANJOS, A. R. M. dos; MATTIAZZO, M. E. Extratores para Cd, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolos tratados com biossólido e cultivado com milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 337-344, 2001.

AGRICULTURA ORGÂNICA: produção cresce 20% no país. **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, v. 25, p. 19-20, 2005.

RIGOR, I ET AL. Anuário Brasileiro da fruticultura 2005. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta, 2005. 136p.

BOEIRA R. C.; LIGO M. A. V.; DYNIA J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p.1639-1647, 2002.

CETESB. **Aplicações de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas**: critérios para projetos e operações. São Paulo, 1999. 32p. (Norma P 4. 230)

COBO, J. G.; et al. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. **Soil and Plant**, v. 240, p. 331-342, 2002.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB.  
**Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e água subterrâneas do Estado de São Paulo.** São Paulo, 2001. 232 p.

COSTA, C.A. et al. Teor de metais pesados e produção de alface adubada com composto de lixo urbano. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 10-16, mar. 2001.

FRAGA, E. S., Interactivity and automated process design, *Chemical Engineering Technology*. v.26 p.823-827, 2004.

GILMOUR, J. T.; SKINNER, V. Predicting plant available nitrogen in land-applied biosolids. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 28, p. 1122-1126, 1999.

GOYAL. S.; DHULL, S. K.; KAPOOR, K.K. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. **Bioresource Technology**, Essex, v. 96, p. 1584- 1591, 2005.

HANDAYANTO, E; GUILLER K.E. & CADISCH, G. Regulating N release from legume tree pruning by mixing residues of different quality. **Soil Biology Biochemistry**, Elmsford, v.29, p.417-426, 1997.

MARQUES, T. C. L. L. S. M., et al. Evolvimento de dióxido de carbono e mineralização de nitrogênio em latossolo vermelho-escuro com diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p.581-589, 2000.

MIYASAKA, S.; NAKAMURA, Y.; OKAMOTO, H. **Agricultura natural**. 2. ed. Cuiabá: SEBRAE/MT. 73p, 1997.

RANGEL, O. J. P. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolo vermelho adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência. Agrotecnologia**, v.28, p. 15-23, jan/fev., 2004.

ROWELL, D. M.; PRESCOTT, C. E.; PRESTON, C. M. Decomposition and nitrogen mineralization from biosolids and other organic materials: relationship with initial chemistry. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 30, p. 1401-1410, 2001.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I. H. **Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida. Sustentável dos Solos Brasileiros. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: (s.n), 1997. 1 CD-ROM.

SANTOS, R.H.S.; et al. Efeito residual de adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p.1395-1398, 2001.

SILVA, F. C. et al. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho - Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p. 831-840, 2001.

VIEIRA, F.R.; CARDOSO, A.A. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p.867-874, 2003.

VALAUWE, B., Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p.1135-1145, 2005.

WEIR, C.C.; ALLEN, J.R. Effects of using organic wastes as soil amendments in urban horticultural practices in the district of Columbia. **Journal Environmental Science Health**. v. 32, p. 323-332, 2000.

WESTERMAN, P. W., BICUDO, J. R. Management considerations for organic waste use in agriculture. **Bioresource Technology**, Essex, v. 96, p 215 -221, 2005.

## **Capítulo I AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS INDICADORES DO POTENCIAL DE MINERALIZAÇÃO DE NITROGÊNIO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS**

### **Resumo**

O objetivo deste trabalho foi avaliar as relações entre as características químicas de compostos orgânicos com diferentes composições e o fornecimento de nutrientes disponíveis para as plantas, com ênfase no nitrogênio, após incubações de solo em curto prazo. Amostras de quinze compostos orgânicos oriundos de resíduos industriais, urbanos e agrícolas foram coletadas e analisadas quanto aos teores de carbono, nutrientes, lignina, polifenóis e cinzas. Os experimentos de incubação foram montados em laboratório, utilizando-se recipientes plásticos contendo 50 g de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, no qual foram incorporados 0,374 g de massa seca de cada composto, equivalente a uma dose de 15 Mg ha<sup>-1</sup>. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 15 tratamentos (15 compostos) e 4 tempos de incubação (3, 7, 14 e 28 dias), com três repetições, compondo um fatorial 15x4, mais um solo controle sem aplicação de composto. Em cada data de coleta, o solo dos recipientes foi analisado quanto aos teores de N inorgânico. O segundo experimento foi montado da mesma forma do primeiro, no entanto, o solo só foi amostrado aos 28 dias. Nesta data extraiu o P e K com Mehlich -1, o Ca e Mg com KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Os efeitos dos compostos sobre o N inorgânico do solo foram altamente variáveis, causando mineralização, imobilização de N ou nenhum efeito, dependendo do tipo de composto. Entretanto, não foram observadas correlações significativas entre as características químicas dos compostos e a mineralização de N, com exceção da relação C/N, que apresentou correlação significativa, porém fraca, aos 7 e 14 dias de incubação. Foram também observadas diferenças entre os compostos no fornecimento de P e K ao solo, mas não houve diferenças quanto ao Ca e Mg. Conclui-se que características químicas dos compostos, como os teores de C, N, lignina, polifenóis e cinzas, e as relações entre essas variáveis, não se mostraram úteis como indicadores do potencial de mineralização de N em curto prazo nas condições do presente estudo.

Palavras chaves: Avaliação de nitrogênio, incubação, fertilizantes orgânicos

## Abstract

The objective of this study was to evaluate the relationships between the chemical characteristics of different organic composts and the supply of nutrients readily available to plants, with emphasis on nitrogen, after short term soil incubations. Samples of fifteen organic composts prepared with industrial, urban or agricultural residues were collected and analyzed to determine the contents of carbon, nutrients, lignin, polyphenols, and ashes. A laboratory soil incubation experiment was established using plastic recipients, where 50 g of an Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico were mixed with a 0.374 g of dry mass of each compost, equivalent to a rate of 15 Mg ha<sup>-1</sup> of compost application. The experimental design was in randomized blocks with 15 treatments (15 composts) and four incubation times (3, 7, 14 e 28 days), with three replications for each of, composing um fatorial 15x4, more um earth, ground, soil, land controls without application as of composite. In each of the four sampling dates, the soil in the recipients was analyzed to determine the concentration of inorganic N and, at day 28, the concentration of available P, K, Ca and Mg were also determined. Both the chemical characteristics and the effects of the composts on soil inorganic N were highly variable, causing immobilization, mineralization or no effect, depending on the type of compost. Despite this variability, there were no significant correlations between the chemical characteristics of the composts and the release of N to the soil, with the exception of the C to N ratio, which presented significant, but weak, correlations at days 7 and 14. There were also significant differences regarding the effects of the composts on the supply of P and K to the soil, but no differences were observed for Ca and Mg. In conclusion, the contents of C, N, lignin, polyphenols and ashes, and the relationships between these parameters, did not prove to be useful as indicators of the short-term N mineralization potential of the composts under the conditions of the present study.

Palavras chaves: Incubation , fertilizer organic , availability of nitrogênio.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, grandes quantidades de resíduos orgânicos são geradas como resultado de atividades agrícolas, industriais e urbanas (Gabrielle et al., 2004, Bernal et al., 1998a., Atallah et al., 1995). O destino desses resíduos inclui desde a incineração, o descarte em aterros sanitários até a geração de diversos sub-produtos, incluindo os adubos orgânicos. Entretanto, dada a extrema variabilidade na composição dos resíduos orgânicos, seu uso como adubo requer um conhecimento detalhado dos seus efeitos sobre os ecossistemas (Gabrielle et. al. 2004.; Benito et.al. 2005a.). É importante garantir não só a melhoria da produção vegetal nos sistemas agrícolas, através das melhorias nas características do solo, mas também a proteção do meio ambiente, evitando-se a contaminação dos solos e recursos hídricos com nitrato ou metais pesados, por exemplo (Bernal et al., 1998b).

Por esses motivos, antes de sua utilização como adubo, a maioria dos resíduos orgânicos requer algum tipo de processamento como a compostagem, vermicompostagem, secagem, peletização, biodigestão, entre outros (Flavel e Murphy, 2006). Dentre esses a compostagem, que consiste na decomposição controlada do resíduos orgânicos, é uma prática comumente utilizada para diversos tipos de resíduos, com o intuito de melhorar suas qualidades físicas, químicas e/ou biológicas, através da fragmentação das partículas, da degradação bioquímica de substâncias menos lábeis, como a lignina, e da eliminação de microorganismos patogênicos, entre outros processos.

A aplicação de compostos orgânicos ao solo promove melhorias não só devido aos efeitos benéficos da matéria orgânica sobre as características físicas e biológicas do solo, mas também devido ao fornecimento de nutrientes essenciais às plantas. Dentre esses nutrientes, o N merece especial atenção, desde que é o elemento que mais comumente limita o crescimento e desenvolvimento vegetal nos mais diversos ecossistemas terrestres ao redor do mundo (Nadelhoffer et al.,1999, Aber et al.,1989), inclusive na região NE do Brasil (Sampaio et al., 1995). Além disso, o N possui um ciclo complexo na natureza, que envolve diversas transformações relativamente rápidas e que podem causar perdas dos ecossistemas e alterar significativamente a

disponibilidade desse elemento no solo. Logo, devido ao seu ciclo, o manejo da disponibilidade de N com o uso de adubos orgânicos não é uma prática simples (Rowell et.al. 2001).

A compostagem pode contribuir para aumentar a disponibilidade de N dos adubos orgânicos, pois pode reduzir a relação C/N, ou seja a relação entre os teores de C e de N dos resíduos. A relação C/N tem sido apontada como um importante indicador do potencial de disponibilização do N presente em resíduos orgânicos (incluindo os compostos). Relações C/N por volta de 17:1, para compostos orgânicos, são citadas como favoráveis para disponibilização do N após a incorporação ao solo (Kiehl, 1985). Por outro lado, diversos estudos têm demonstrado que a relação C/N pode não expressar de forma satisfatória o potencial de mineralização do N de compostos orgânicos, dada a variabilidade nas formas em que o C se encontra nos compostos, podendo ser em formas mais lábeis ou recalcitrantes.

Vários autores propuseram incubações de solo em laboratório após adição de compostos como forma de avaliar a labilidade do C adicionado (Flavel & Murphy, 2006). Entretanto, esses métodos, além de exigirem um tempo relativamente longo para a análise, demandam recursos de infraestrutura e mão-de-obra não comumente encontrados, principalmente em países em desenvolvimento. Alguns estudos mais recentes propuseram outros indicadores que seriam mais úteis, ou seja menos laboriosos ou custosos, para expressar a qualidade de resíduos orgânicos no que diz respeito ao potencial para mineralizar N após a incorporação ao solo (Mafongoya et al. 1998; Cabrera et al. 2005). Vale ressaltar que esses trabalhos têm focado principalmente em adubos verdes e esterco (Constantinides & Fownes, 1994; Palm et al. 2001; Cobo et al. 2002; Valauwe et al. 2005), mas poucos estudos com compostos têm sido realizados com esse objetivo, principalmente no Brasil.

Entre os parâmetros mais estudados nos últimos anos, a fim de prever a decomposição dos resíduos orgânicos, têm se destacado a concentração total de N, os teores de lignina e polifenóis (Palm et al. 2001), e suas relações como lignina/N (Constantinides e Fownes, 1994; Cobo et al., 2002), polifenóis/N (Handayanto et al., 1994) e (lignina+polifenóis)/N (Fox et al., 1990; Constantinides e Fownes, 1994; Cobo et al., 2002). O uso de um parâmetro

como indicador da mineralização do N presente no composto pode ser de grande valia, uma vez que o composto orgânico geralmente é um adubo de boa qualidade, além de permitir ao agricultor o aproveitamento dos resíduos gerados em sua propriedade.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo identificar quais parâmetros de qualidade dos compostos podem ser úteis como indicadores do potencial de mineralização de nutrientes, em curto prazo, com ênfase no N, após a incorporação dos compostos ao solo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Coleta e caracterização do solo

Coletou-se solo da camada de 0 a 20 cm de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Este foi colocado para secar ao ar e em seguida passado em peneira 2 mm, para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). A caracterização química e física encontra-se no Quadro 1.

**Quadro 1.** Características químicas e físicas do solo.

Características	Valor
pH em água (1:2,5) <sup>1</sup>	5,2
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,91
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	2,2
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	0,5
P (mg/Kg) <sup>3</sup>	5,85
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	0,45
Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	0,14
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	5,5
Cu (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>5</sup>	<LD*
Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>5</sup>	1,45
Cd (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>5</sup>	<LD*
Pb (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>5</sup>	<LD*
N (g Kg <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup>	1,7
C.O. (g Kg <sup>-1</sup> ) <sup>7</sup>	26,5
Relação C/N	15,59
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	8,8
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>4</sup>	3,3
V (%) <sup>4</sup>	60
Densidade da TFSA (Kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>8</sup>	1,33
Areia (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>9</sup>	71
Silte (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>9</sup>	7
Argila (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>9</sup>	22

<sup>1</sup> (Embrapa 1997). <sup>2</sup> KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. <sup>3,5</sup> Mehlich – 1 (Embrapa, 1997). <sup>4</sup> Acetato de Cálcio a pH 7,0 (Embrapa, 1997). <sup>6</sup> Bremmer e Mulvaney (1982). <sup>7</sup> Kiehl (1985). <sup>8</sup> Método da proveta (Embrapa, 1997). <sup>9</sup> (Embrapa, 1997). <LD, limite de detecção.

### 2.2. Caracterização dos compostos orgânicos utilizados no estudo

Os compostos orgânicos utilizados no presente estudo tipos comerciais, produzidos a partir de resíduos industriais e urbanos e disponíveis para venda

no mercado, como também artesanais, produzidos em propriedades rurais a partir de resíduos encontrados nas propriedades. A composição e o local de coleta encontram-se no Quadro 2. Após as coletas, os compostos foram homogeneizados, colocados para secar ao ar e passados em peneira de 2 mm. Para cada composto, foi determinado o pH em água (1:2,5). Além disso, sub-amostras de 0,25 g de cada composto foram digeridas utilizando-se uma mistura nitro-perclórica (Embrapa 1999). No extrato de digestão, foi analisado o P total por colorimetria (Thomas et. al.,1967); K por fotometria de chama; e Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica. Para determinação do N total, os compostos foram digeridos em uma mistura de água oxigenada e ácido sulfúrico e, após isso, o N foi determinado por destilação segundo a metodologia descrita em Bremmer & Mulvaney (1982). A análise dos polifenóis totais solúveis dos compostos foi feita utilizando-se o reagente Folin-Denis (Anderson e Ingram, 1993). A lignina foi determinada através da fibra de detergente ácido (Van Soest and Wine, 1968). Os resultados estas análises

Compostos Orgânicos	Local de coleta
1-Grama, casca de mandioca, bagaço de cana e urina de vaca	Cruz da Almas/BA
2-Grama, esterco, bagaço de dendê e rocha potássica	Cruz da Almas/BA
3-Fumo triturado, fumo cortado, casca de eucalipto triturado e esterco	Cruz da Almas/BA
4-Esterco, grama	Cruz da Almas/BA
5-Grama e Lodo de esgoto	Cruz da Almas/BA
6-Casca de eucalipto, torta de cacau e esterco	Cruz da Almas/BA
7-Grama, casca de mandioca e bagaço de dendê.	Cruz da Almas/BA
8-Composto comercial	Juazeiro/BA
9-Composto comercial	Petrolina/PE
10-Resíduo domestico, urbano e industrial	Recife/PE
11-Composto comercial	Recife/PE
12- Adubo da independência :húmus de minhoca, esterco bovino, Calcário, farinha de ossos, cana de açúcar, batata doce, grama de fermento de pão	Esperança/PB
13-Adubo Enriquecido :húmus de minhoca esterco bovino, MB-4, calcário, farinha de ossos, cana de açúcar, batata doce, grama de fermento de pão, fosfato natural, potássio	Esperança/PB
14-Bagaço de Cana	Maceió/AL
15-Bagaço de Coco	Maceió/AL

**Quadro 2.** Descrição dos compostos utilizado

### **2.3. Mineralização do N e disponibilidade de P, K Ca e Mg no solo após a incubação dos compostos**

Dois experimentos foram conduzidos no Laboratório de Fertilidade de Solos/Radioagronomia do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco. No primeiro experimento, os tratamentos foram constituídos pelos compostos orgânicos, os quais foram misturados com o solo em uma dose equivalente a 15 Mg ha<sup>-1</sup> com base na matéria seca (374 mg de composto para 50 g de solo). Em seguida o solo foi umedecido para preencher 40% do volume de poros, sendo essa umidade mantida, durante o período do experimento, através de pesagens diárias. Os tratamentos foram amostrados aos 3, 7 14 e 28 dias, onde, em cada data, três repetições de cada tratamento foram amostrados de forma destrutiva. Foi inserido no experimento um tratamento onde se incubou somente o solo, para a mineralização do N da matéria orgânica do solo. Para quantificação do N mineral (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>+N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) do solo em cada data de amostragem, amostras de 3 g de solo foram retiradas de cada pote e colocadas para agitar com 30 mL de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> por 30 minutos. Paralelamente, uma outra massa de solo foi retirada e levada para estufa para determinação da umidade e posterior correção dos teores de N do solo. Após a agitação as amostras foram deixadas descansar por uma noite e, no dia seguinte, o sobrenadante foi retirado e congelado em freezer. Neste sobrenadante, tanto o N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> quanto o N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> foram determinados por calorimetria segundo método descrito por Mendonça e Matos (2005). O segundo experimento foi montado da mesma forma do primeiro, no entanto, só foi amostrado aos 28 dias. Nesta data extraíu-se o P e K com Mehlich -1, o Ca e Mg com KCl 1mol L<sup>-1</sup>. O P foi determinado por colorimetria (Thomas et al.,1967), o K por fotometria de chama, o Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica. O método apresentado acima, de incubação de curta duração sob condições controladas foi o mesmo utilizado por Vanlauwe et al. (2005).

### **2.4. Delineamento experimental e análises dos dados**

Para o estudo da mineralização do N presente nos compostos orgânicos, montou-se um experimento em blocos ao acaso com os tratamentos

arranjados em um fatorial 15 x 4, sendo quinze compostos orgânicos e quatro datas de amostragem. Em cada data de amostragem o tratamento foi repetido três vezes. Correlações de Pearson foram feitas para cada data de amostragem entre o N mineralizado e características químicas dos compostos como teor de N total, lignina, relação C/N, polifenóis, lignina/N e polifenóis+lignina/N. O N mineralizado foi calculado da seguinte forma: N mineralizado ( $\mu\text{g/g}$ ) = N mineral no solo tratado – N mineral no solo controle. A análise dos resultados da percentagem de N mineralizado dos compostos aplicados foi realizada através de Anova a 5 % de probabilidade, com o uso do programa Origin versão 5.0.

O segundo experimento conteve os mesmos tratamentos do primeiro distribuídos em um delineamento blocos ao acaso. Cada tratamento foi repetido três vezes. Com os dados do segundo experimento foi feita análise de variância e as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Scote Knotte a 5% de probabilidade. Para análise dos dados utilizou-se o Sistema de Análise Estatística e Genética (SAEG) versão 9.1.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1- Caracterização química dos compostos

Os resultados da caracterização química dos compostos utilizados encontram-se no Quadro 3. Observou-se uma grande variação entre as características químicas dos compostos utilizados no estudo. Por exemplo, o pH dos compostos apresentou valores desde muito alcalinos, como o composto 3 com pH 9,6, até muito ácidos, como o composto 11 com pH 2,5. O pH pode ter implicações significativas sobre a dinâmica do N durante o processo de compostagem, pois compostos com pH alcalino podem apresentar perdas de N, dado que, em ambiente alcalino, o N que se encontra na forma orgânica pode se transformar rapidamente para N amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), perdendo-se para atmosfera através de volatilização (Schlesinger, 1997; Kiehl, 1985). Vale ressaltar que os compostos 12 e 13 foram elaborados com materiais que possuem influência direta na elevação do pH, como calcários e fosfatos naturais. O composto 12 apresentou pH 8,9, enquanto o composto 13 não apresentou pH alcalino. Sendo assim, a adição desses insumos durante a elaboração das pilhas de compostos deve, portanto, ser limitada a doses que não elevem o pH a níveis que possam causar perdas de N.

O conteúdo de C orgânico nos compostos variou de 5,5 a 30,2 %, apresentando um teor médio de 15,0 % (Quadro 3). Os teores de C relativamente baixos de alguns dos compostos podem ser atribuídos à quantidade elevada de cinzas (Quadro 3), resultantes da adição de solo ou esterco misturado a solo durante a preparação dos compostos. Os compostos com os teores mais baixos de C dão um indicativo inicial de que sua composição é baseada mais fortemente em insumos minerais, como solo, pó de rocha e outros, do que em resíduos orgânicos, o que pode influenciar negativamente no aporte de N ao solo e mineralização deste elemento para as culturas agrícolas.

Com base em Cavalcanti et al. (1998), que listam as recomendações de adubação para o estado de Pernambuco, observa-se que as concentrações de N na maioria dos compostos avaliados no presente estudo foram baixa, pois aqueles autores recomendam que os compostos devem conter no mínimo 1,0 % de N. No entanto, apenas dois dos compostos avaliados (4 e 5) apresentaram teores de N

acima desse valor (Quadro 3). Os compostos 8, 10, 11 e 13 foram os que apresentaram os menores valores entre os compostos coletados, variando de 3,8 a 2,4 % (Quadro 3). Considerando-se o valor médio de N nesses quatro últimos compostos citados (2,7 %), seria necessário a aplicação de aproximadamente 26 MG de composto para obter-se uma dose de 70 Kg ha<sup>-1</sup> de N, para suprir a necessidade da cultura do alface, por exemplo. No caso de sistemas agrícolas familiares, onde a disponibilidade de recursos, como mão-de-obra e matéria orgânica, é geralmente reduzida, a utilização de compostos com essas características pode não ser viável.

Para a região Nordeste, encontram-se na literatura dados sobre os teores de N de compostos orgânicos produzidos a partir de lixo urbano e lodo de esgoto (Simonete et. al., 2003, Mantovani et. al, 2003), mas há pouca informação a respeito de compostos produzidos a partir de resíduos vegetais. Os resultados observados no presente estudo, entretanto, são compatíveis com outros compostos produzidos na região semi-árida nordestina. Em um estudo conduzido no sertão da Paraíba, compostos orgânicos produzidos com base em esterco bovino, galhos e folhas de jurema e manga, rocha fosfática, pó de rocha MB4, soro de leite e cinza, apresentaram concentrações de N entre 4,8 e 9,6 % (Dutra, 2008 informação pessoal, Fazenda Tamanduá, Patos, PB.)

Quanto à relação C/N, compostos como os 3, 7, 8, 9, 10, 11, 13 e 15 apresentaram relações que podem ser consideradas altas quando comparadas com as relações 17:1 (Kiehl, 1985) ou 15:1 (Nahm, 2005a) citadas como ideais para a mineralização de N dos resíduos orgânicos. A relação C/N é citada em vários trabalhos como o parâmetro que melhor explica o processo de mineralização do N de resíduos orgânicos quando utilizados como adubo (Kiehl, 1985, Cavalcanti, 1998). Entretanto, como citado anteriormente, estudos mais recentes têm sugerido que outros parâmetros, como os teores de lignina, de polifenóis, e as relações desses compostos com o N, podem ser melhores indicadores do potencial de mineralização de N de resíduos orgânicos (Vanlauwe et al. 2005, Palm et al., 2001).

Os teores de lignina nos compostos variaram entre 2,87 e 26,87%. Comparando esses valores com os de materiais vegetais usados como adubos verdes, e considerando-se o conteúdo acima de 150 % como um valor elevado (Palm et al., 2001), observa-se que os compostos 1, 2, 3, 5, 6, 7, 11 e 15

apresentaram teores altos de lignina. É de se esperar que esses compostos com altos teores de lignina, apresentem baixa mineralização de N, devido à baixa labilidade da lignina. Por sua vez, cruzando-se os dados dos teores de N e de lignina, observou-se um intervalo ainda mais amplo de qualidade dos compostos, com valores para a relação lignina/N que variaram de 3,4 até 102,2, com um valor médio de 31. Seria esperado que os compostos com valores mais elevados de relação lignina/N causem imobilização de N do solo após sua incorporação, o que não é desejável quando os compostos são utilizados como adubo orgânico.

Embora tenha-se observado uma grande diversidade de teores de lignina nos compostos avaliados, os teores de polifenóis totais solúveis em todos os compostos situaram-se abaixo do limite de detecção (Quadro 3). Os polifenóis têm sido citados como moléculas que influenciam diretamente no processo de mineralização do N, de materiais vegetais; ou seja, materiais que possuem elevados teores de polifenóis tendem a imobilizar N em um curto período, através de reações de ligações dessas moléculas e o N (Palm & Sanchez, 1991). No caso dos compostos orgânicos, observa-se que essas moléculas provavelmente foram decompostas durante o período de compostagem, resultando na não detecção pelo método. A ausência de polifenóis, conseqüentemente, inviabiliza o uso desse parâmetro como indicador do potencial de mineralização de N de compostos orgânicos com características semelhantes aos utilizados no presente estudo.

As concentrações de P, K, Ca e Mg nos compostos variou de 1,6 a 5,0; 1,2 a 12,9; 2,5 a 19,8 e 0,02 a 6,9 g Kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Quadro 3). Essa alta variação nos teores de nutrientes deve também ser considerada na avaliação da qualidade dos compostos orgânicos, dado que parte dos solos da região Nordeste apresenta valores baixos de nutrientes, como o P, K, Ca e Mg, portanto o fornecimento destes através da adubação com compostos pode ser importante para a manutenção da fertilidade e do potencial produtivo dos solos.

Os teores de cinzas dos compostos variou de 27 a 90% (Quadro 3), mas a maioria apresentou teores altos, acima de 50% de cinzas. O uso do esterco como insumo na preparação dos compostos pode elevar os teores de cinzas dos compostos, uma vez que o esterco de curral normalmente contém altos teores de cinzas (Silva et al., 2007; Marin et al., 2007). Além disso, o uso de pó de rocha ou outros insumos minerais também contribui para elevar os teores de cinzas dos

compostos. Entretanto, em alguns casos a composição declarada dos ingredientes utilizados para preparar os compostos não é coerente com os teores de cinzas observados. Teores elevados de cinzas podem indicar a adição de quantidades significativas de solo ou de outros materiais com baixo teor de matéria orgânica, o que pode comprometer a capacidade de fornecimento de N pelos compostos.

**Quadro 3.** Caracterização química dos compostos orgânicos.

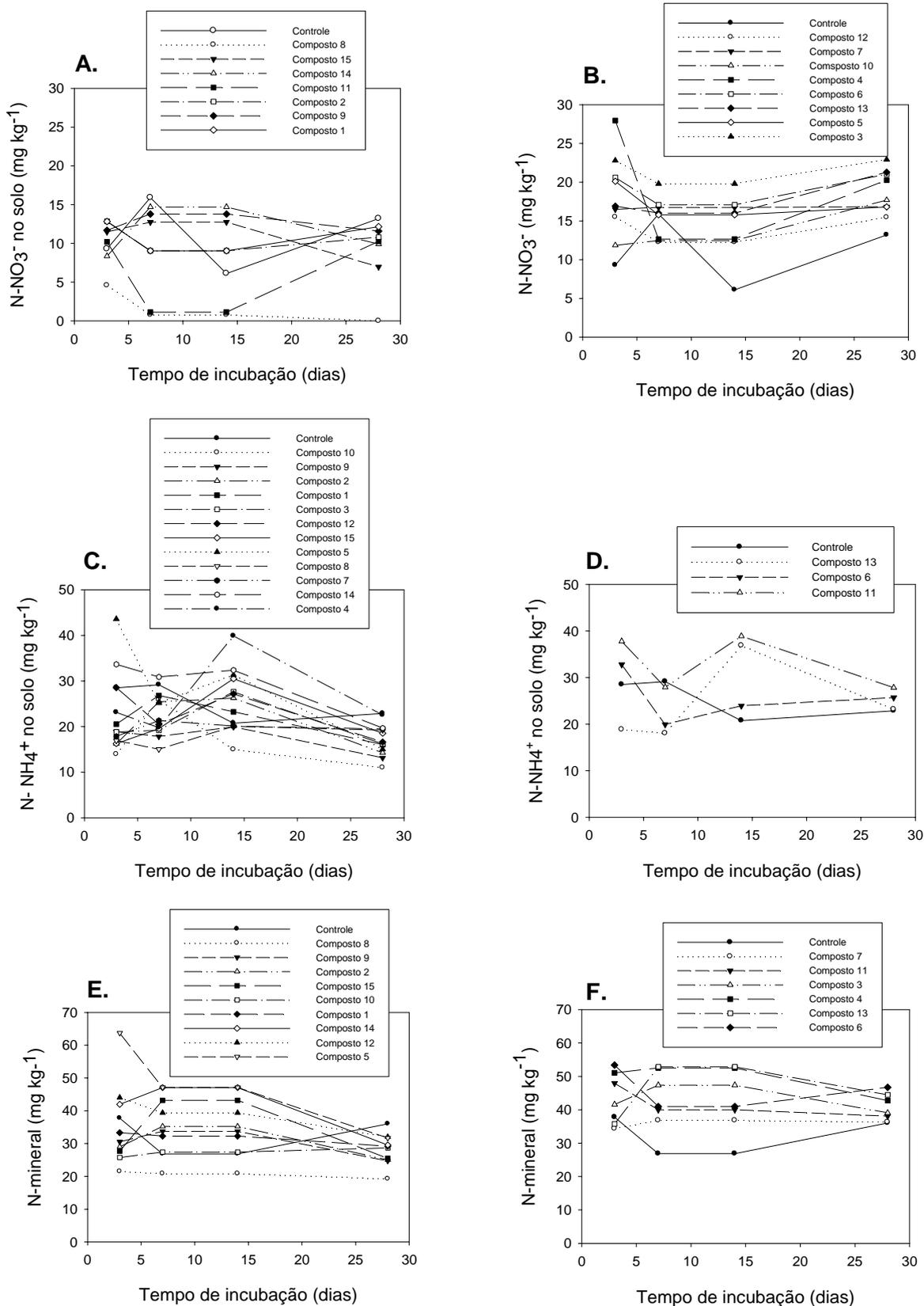
Compostos Orgânicos	pH	C	N	Lignina	L/N	C/N	P	K	Ca	Mg	PP	Cinzas %
1	5,71	16,20	0,94	20,14	21,42	17,20	2,90	6,70	4,28	0,76	ND*	61
2	7,30	15,00	0,81	22,48	27,75	18,67	3,10	10,73	5,75	0,66	ND*	60
3	9,60	18,40	0,75	18,23	24,31	24,50	1,60	12,89	9,61	1,94	ND*	68
4	7,44	16,10	1,04	14,86	14,29	15,50	3,40	9,87	6,83	0,02	ND*	61
5	5,02	18,70	1,23	26,87	21,85	15,21	4,60	1,60	6,09	0,46	ND*	49
6	5,57	13,20	0,69	17,73	25,70	19,17	2,80	9,62	6,36	0,38	ND*	57
7	5,75	15,00	0,61	26,78	43,90	24,64	1,90	4,07	19,86	0,10	ND*	65
8	5,70	30,20	0,38	9,09	23,92	80,45	3,30	3,09	8,60	0,70	ND*	90
9	7,50	23,50	0,66	12,90	19,55	35,57	5,00	9,75	8,53	0,43	ND*	72
10	7,75	7,40	0,26	13,10	50,38	28,41	3,00	1,23	13,69	0,28	ND*	38
11	2,50	5,90	0,23	23,28	101,22	25,45	4,10	3,95	8,06	1,18	ND*	29
12	8,90	5,50	0,84	2,87	3,42	6,48	4,30	6,42	15,24	0,50	ND*	27
13	7,02	16,00	0,24	9,20	38,33	65,73	5,10	3,33	14,24	6,90	ND*	62
14	6,63	10,40	0,89	14,79	16,62	11,69	4,20	9,30	2,5	0,8	ND*	45
15	7,25	16,20	0,77	25,71	33,39	21,16	8,70	10,24	4,5	2,0	ND*	63

PP = Polifenóis, \* ND = Não Detectado

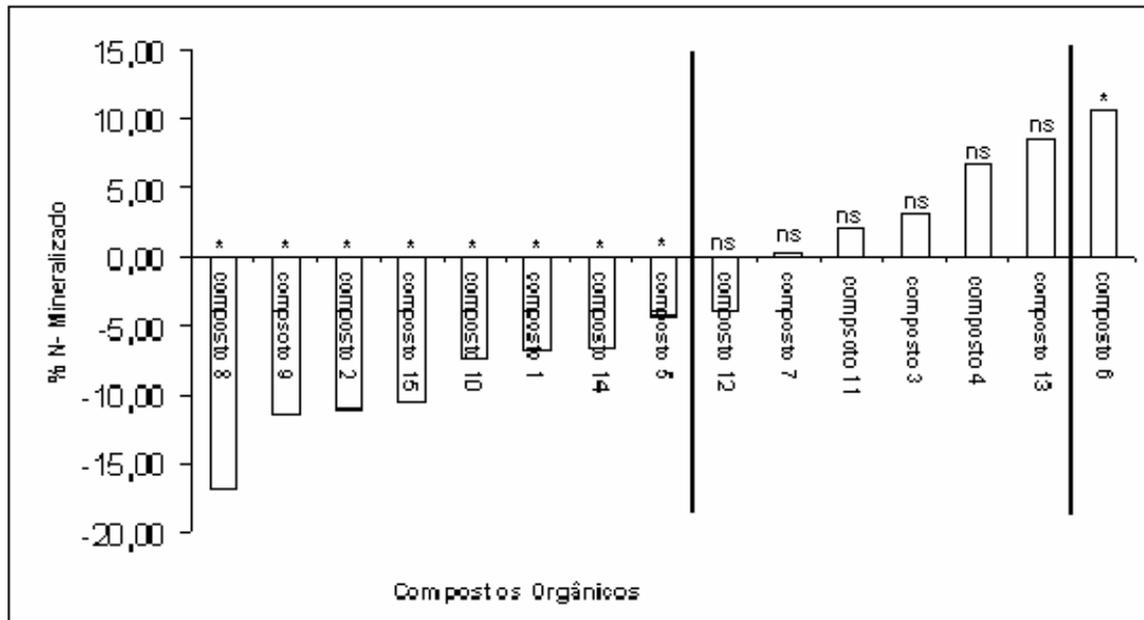
### 3.2 - Relações entre as características químicas e a mineralização de N dos compostos

Os compostos orgânicos apresentaram uma alta variabilidade quanto aos efeitos sobre os níveis de  $\text{N-NO}_3^-$  e  $\text{N-NH}_4^+$  do solo após 28 dias de incubação (Figura 1). Sete dos compostos avaliados causaram imobilização líquida de  $\text{N-NO}_3^-$  após a incubação, enquanto oito dos compostos causaram mineralização líquida de  $\text{N-NO}_3^-$  (Figuras 1a e 1b). No caso do  $\text{N-NH}_4^+$ , a grande maioria dos compostos causou imobilização líquida e somente os compostos 6, 11 e 13 causaram mineralização líquida de  $\text{N-NH}_4^+$  no solo aos 28 dias de incubação (Figuras 1c e 1d). Como resultado, observou-se que mais da metade dos compostos avaliados causou imobilização líquida de N mineral do solo, em relação ao solo controle, após 28 dias de incubação. Essa é uma importante observação, dado que esses compostos são utilizados como adubos orgânicos, parte deles são inclusive produtos comercializados como insumos para a melhoria de fertilidade do solo, mas vários deles podem prejudicar o crescimento e desenvolvimento de certas culturas agrícolas, principalmente aquelas de ciclo curto, como as hortaliças, pois podem diminuir a disponibilidade de N no solo.

Além dos efeitos dos compostos sobre os teores de N mineral do solo, também quantificou-se a proporção do N contido nos compostos que foi mineralizada ao longo dos 28 dias de incubação (Figura 2). Essa variável é útil como um indicador da qualidade do N orgânico em cada um dos compostos avaliados. De forma semelhante aos teores de N no solo, a percentagem do N dos compostos que foi mineralizada variou fortemente, apresentando desde valores negativos (-16,82, composto 8) o que indica ter havido imobilização de N do solo, até valores de 10,66 (composto 6), demonstrando ter havido mineralização líquida do N (Figura 2). Com base nessa variável, foi possível testar quais dos compostos diferiram significativamente do tratamento controle, ou seja, o solo que não recebeu aplicação de compostos. Observou-se então que apenas o composto 6 causou mineralização líquida significativa em relação ao solo controle, enquanto 6 dos compostos avaliados não diferiram do controle e outros 8 compostos causaram imobilização líquida significativa de N.



**Figura 1.** Teores médios (n=3) de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N mineral (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) no solo aos 3, 7, 14 e 28 dias de incubação após a incorporação de compostos orgânicos de distintas qualidades. Gráficos mostram compostos que, em relação ao controle, causaram: (A) imobilização de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; (B) mineralização de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; (C) imobilização de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; (D) mineralização de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; (E) imobilização de N mineral; e (F) mineralização de N mineral.



**Figura 2.** Percentagem do N orgânico adicionado ao solo com a aplicação dos compostos que foi mineralizada após 28 dias de incubação. ns não significativo, \* nível de probabilidade (0.05).

Contrário ao esperado, não foram observadas correlações significativas entre os teores de lignina, N, C ou a relação lignina/N dos compostos e o N mineralizado durante o período do experimento (Quadro 4). Entretanto, Flavel & Murphy, (2006) trabalhando com composto orgânico a base de esterco de aves domésticas observou correlações significativas para a lignina, C, N e uma correlação negativa porém significativa com os teores de cinza. Dentre as variáveis de qualidade dos compostos analisadas, a relação C/N foi a única que correlacionou-se significativamente com o N mineralizado após 7 e 14 dias de incubação, apesar de terem sido observados coeficientes de correlação relativamente baixos. Os resultados do presente estudo demonstram que, para compostos orgânicos, onde o produto final são compostos orgânicos estáveis, a relação C/N foi o único parâmetro que demonstrou alguma utilidade, apesar de limitada, como indicador do potencial de mineralização do N a curto prazo. Nahm, (2003) trabalhando com esterco de aves observou resultados similares de mineralização do N com a relação C/N.

**Quadro 4.** Coeficientes de correlação entre algumas características químicas dos compostos e o N mineral do solo ( $N-NO_3^- + N-NH_4^+$ ) e a percentagem do N adicionado que foi mineralizado e o aos 3, 7, 14 e 28 dias de incubação.

Tempo de incubação (dias)	Lignina	Lignina/N	% N	C/N	% C
N-Mineral no solo					
3	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,45*	0,50*	-0,50*	-0,29 <sup>ns</sup>
7	-0,12 <sup>ns</sup>	-0,37 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	-0,33 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>
14	-0,12 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	-0,33 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>
28	-0,17 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	0,10*	-0,21 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>
N-mineralizado					
3	0,11 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	-0,42 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>
7	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	-0,61*	-0,55 <sup>ns</sup>
14	0,24 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	-0,65*	-0,25 <sup>ns</sup>
28	0,07 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>	-0,37 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup> não significativo, \* nível de probabilidade (0.05).

### 3.3 - Efeitos dos compostos sobre os teores de P, K, Ca e Mg do solo

De forma semelhante aos efeitos dos compostos sobre a mineralização de N, observou-se uma grande variabilidade na disponibilidade de P após a incorporação dos compostos estudados (Quadro 5). Por exemplo, após a aplicação dos compostos 12, 14 e 15 os teores de P disponíveis no solo passaram para faixa considerada alta ( $> 30 \text{ mg dm}^{-3}$ ) segundo Cavalcanti (1998), diferindo significativamente do controle. Esses resultados indicam diferenças nas formas em que o P se encontra nos compostos, dado que os compostos 5, 9 e 13 apresentaram teores totais de P semelhantes aos dos compostos 12, 14 e 15 mas, no entanto, disponibilizaram significativamente menos P que estes (Quadros 2 e 4). Em contraste, Loudes (1983) relaciona como uma das principais vantagens da compostagem a forma facilmente disponível dos nutrientes, mas os resultados do presente estudo não corroboram essa afirmação.

Em relação ao  $K^+$ , observa-se que o solo utilizado no estudo já apresenta um valor considerado alto (Cavalcanti et al. 1998). Sendo assim, em geral, a aplicação dos compostos causou apenas uma moderada elevação nos teores de  $K^+$  do solo, exceto no caso dos compostos 3 e 8, que elevaram fortemente os teores de  $K^+$  (Quadro 5). Por outro lado, os teores de  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$ , após aplicação dos compostos, não diferiram significativamente do solo controle, com exceção apenas do composto 5 que elevou o teor de  $Mg^{+2}$  do solo em aproximadamente 400% comparado ao controle. Dados sobre o efeito da aplicação de compostos de composições variadas sobre a fertilidade do solo (Benito et. al., 2003b) mostram que em geral a fertilidade é melhorada devido a elevação da soma de bases, saturação por bases e redução da acidez potencial. Simonete, (2003), aplicando 50 Mg de lodo de esgoto observou a elevação dos teores de MO, P,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  do solo.

**Quadro 5.** Teores de P,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  em um Argissolo após incubação com diferentes compostos orgânicos durante 28 dias.

Compostos	P mg/kg	$K^+$	$Ca^{+2}$	$Mg^{+2}$ cmol <sub>c</sub> Kg
1	14,14 c	0,59 c	0,97 a	0,56 b
2	15,37 c	0,53 c	1,96 a	0,65 b
3	9,22 d	1,12 a	1,53 a	0,70 b
4	14,66 c	0,94 b	1,86 a	0,75 b
5	6,84 d	0,55 c	1,99 a	2,11 a
6	16,00 c	0,89 b	1,79 a	0,50 b
7	11,62 d	0,54 c	1,78 a	0,68 b
8	16,51 c	1,17 a	1,09 a	0,55 b
9	6,33 d	0,46 c	2,27 a	0,67 b
10	11,44 d	0,26 d	1,63 a	0,44 b
11	20,56 c	0,4 d	1,77 a	0,46 b
12	38,89 a	0,35 d	2,05 a	0,66 b
13	13,54 c	0,62 c	1,90 a	0,69 b
14	30,20 b	0,3 d	2,40 a	0,38 b
15	34,95 a	0,42 d	1,63 a	0,56 b
Controle	5,85 d	0,45 c	2,16 a	0,53 b
CV (%)	19,32	20,38	26,91	21,60

\*Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knote a 5% de probabilidade.

#### 4. CONCLUSÕES

Os compostos orgânicos apresentaram elevada variabilidade tanto quanto às suas características químicas e, conseqüentemente, tiveram efeitos variados sobre a disponibilidade de N no solo após incubações de curto prazo, causando desde imobilização até mineralização líquida de N após sua aplicação;

Os teores de lignina, polifenóis e N, além da relação lignina/N dos compostos orgânicos não mostraram-se úteis como indicadores do potencial de mineralização de N dos compostos para os períodos estudados;

A relação C/N dos compostos foi o único parâmetro que apresentou correlação significativa com a mineralização de N, mas a fraca correlação observada ainda não permite o uso dessa relação como um indicador útil do potencial de mineralização de N dos compostos orgânicos avaliados e curto prazo;

Os compostos também apresentaram alta variabilidade quanto aos efeitos sobre a disponibilidade de P do solo. O teor total de P dos compostos não foi um indicador útil do potencial de disponibilização desse elemento após a aplicação dos compostos ao solo.

## REFERÊNCIAS

- ABER, J.D. Nadelhoffer KJ, Studler P, Melillo JM. Nitrogen saturation in northern forest ecosystems. **Bioscience**, v. 39, 378-385, 1989.
- ANDERSON, J.D. & INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. 2.ed. Wallingford, UK CAB International; 1996. 171p.
- ATALLAH, T., ANDREUX.F., CHONE.T., GRAS. F. Effect of storage and composting on the properties and degradability of cattle manure. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 2, p. 26-35, 1995.
- BENITO, M.; MASAGUER, A.; MOLINER, A.; ARRIGO, N.; PALMA, R. M.; EFFRON, D. Evaluation of maturity and stability of pruning waste compost and their effect on carbon and nitrogen mineralization in soil. Source. **Soil Science Society of America Journal**, v. 170, p.360-370, 2005a
- 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. **Biology Fertility of Soils**, v.37, p.184-189, 2003b.
- 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**, v. 63, p. 91-99, 1998a.
- BERNAL, M.P., C. Sanchez-Monedero, C. Paredes, and A. Roig. mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. **Agriculture Ecosystems Environment**, v. 69, p.175-189. 1998b
- BREMNER, J.M. & MULVANEY, C.S. Nitrogen-total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R. **Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1982. 595p.
- CABRERA, M.L., KISSEL, D.E. & VIGIL, M.F. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. **Journal of Environmental Quality**, v.34, p.75–79, 2005.
- CALVANTI, F. J. A.; SANTOS, J. C. P.; PEREIRA, J. R.; LEITE, J. P.; SILVA, M. C. L.; FREIRE, F. J.; SILVA, D. J.; SOUZA, A. R.; MESSIAS, A. S.; FARIA, C. M. B.; BURGOS, N.; JÚNIOR, M. A. L.; GOMES, R. V.; CALVALCANTI, A. C.; LIMA, J. F. W. F. **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2<sup>o</sup> Aproximação**, IPA, 1998. 198p.
- COBO, J. G.; BARRIOS, E.; KASS, D. C. L.; THOMAS, R. J. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. **Plant and Soil**, v. 240, p. 331-342, 2002.

CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J. H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biology Biochemistry**, v. 26, p. 49-55, 1994.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de pesquisa de Solos. 1997. 212p.

FOX, R. H.; MYERS, R. J. K.; VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. **Plant and Soil**, v. 129, p. 251-259, 1990.

FLAVEL, T.C.; D.V. MURPHY. Carbon and Nitrogen Mineralization Rates after Application of Organic Amendments to Soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, p.183-193, 2006.

GABRIELLE, B.; SILVEIRA, J. D.; S. H.;FRANCOU.C. Simulating urban waste compost effects on carbon and nitrogen dynamics using a biochemical index. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 2333-2342, 2004.

GIGLIOTTI, G.; K. KAISER, G. GUGGENBERGER, AND L. HAUMAIER. Differences in the chemical composition of dissolved organic matter from waste material of different sources. **Biol Fertil Soils**, v.36, p. 321-329, 2002.

HANDAYANTO, E.; CADISCH, G.; GILLER, K. E. Nitrogen release from prunings of legume hergerow trees in relation to quality of the prunings and incubation method. **Plant and Soil**, v. 160 p. 237-248, 1994.

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

LOUDES, E. G. Produção de composto no meio rural. 3<sup>o</sup> edição. Informe Técnico, N<sup>o</sup> 17, Viçosa. 1983.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; CHIBA, M.K.; BRAZ, L.T. Calagem e adubação com vermicomposto de lixo urbano na produção e nos teores de metais pesados em alface. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 494-500, 2003.

MARIN, A. M. P.; MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubado com duas fontes orgânicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p. 669-677, 2007.

MAFONGOYA, P.L.; GILLER, K.E.; PALM, C.A. Decomposition and nitrogen release release patterns of tree pruning and litter. **Agroforestry Systems**, v. 38 p. 77-97, 1998.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S.; **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. UFV, Viçosa. 2005. 107p.

NADELHOFFER KJ, EMMETT BA, GUNDERSEN P, KJONAAS OJ, KOOPMANS CJ, SCHELEPPI P, TIETEMA A, WRIGHT RF. Nitrogen

deposition makes a minor contribution to carbon sequestration in temperate forests. **Soil Biology**, v. 398, p.145-148, 1999.

NAHM, K.H. Current pollution and odour control technologies for poultry production. **World's Poultry Science Journal**, v. 14, p. 131-155, 2005a

NAHM, K.H. Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. **World's Poultry Science Journal**, v. 59 p.77-88, 2003b.

PALM, C.A; CATHERINE, N; GACHENGO, DELVE, R.J; CADISCH, G & GILLER, K.E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. **Agriculture Ecosystems and Environment**. v. 83 p. 27-42, 2001.

PALM, C.A.; SANCHES, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, v.23, p.83-88, 1991.

ROWELL, D.M.; C.E. PRESCOTT.; C.M. PRESTON. Decomposition and nitrogen mineralization from biosolids and other organic materials: Relationship with initial chemistry. **Journal of Environmental Quality**, v. 30 p. 1401-1410, 2001.

SAMPAIO, A.A.M.; EZEQUIEL, J.M.B., CAMPOS, F.P. et al. Utilização da cama de frangos e da soja em grão na alimentação de bovinos confinados. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.24, p.252-260, 1995.

SCHLESINGER, W.H. **Biogeochemistry: An analysis of global change**. Academic Press, San Diego. USA. 1997. 588p.

SILVA, T. O.; MENEZES, R. S. C.; TIESSEN, H.; SAMPAIO E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SILVEIRA, L. M. Adubação orgânica da batata com esterco e, ou, *crotalaria juncea*. I - produtividade vegetal e Estoque de nutrientes no solo em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p. 39-49, 2007.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE C. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1187-1195, 2003

THOMAS, R.L.; SHEARRD, R.W.; MOYER, J.R. Comparasion of conventional and automated procedures for N, P and K analysis of plant material using a single digestion. **Agronomy Journal**, Madison, 1967. p.240.

VALAUWE, B; GACHENGO, K; SHEPHERD, E; BARRIOS, G; CADISCH, G; PALM, C.A. Laboratory validation of a resource quality-based conceptual framework for organic matter management. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, p. 1135-1145, 2005.

VAN SOEST, P.J. & WINE. R.H. **Determination of lignin and celulose in acid detergent fiber with permanganate**. J. Assoc. Official Agr. Chem. 1968. 780p.

## Capítulo II AVALIAÇÃO NUTRICIONAL E TEORES DE METAIS PESADOS EM PLANTAS DE ALFACE ADUBADAS COM COMPOSTOS ORGÂNICOS

### Resumo

A utilização de compostos orgânicos tem sido uma boa opção para reduzir os gastos com fertilizantes minerais, e obter aumento de produtividade no cultivo de alface. Entretanto, dada a grande diversidade de matérias primas utilizadas na preparação de compostos orgânicos, são necessários estudos para avaliar seus efeitos tanto sobre a liberação de nutrientes essenciais às plantas quanto sobre a liberação de substâncias contaminantes, como os metais pesados. O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos da adubação com diferentes doses e tipos de compostos orgânicos sobre a produção, fornecimento de nutrientes e contaminação por metais pesados da alface cultivar crespa. O experimento foi conduzido em vasos plásticos contendo 2,5 Kg de solo, onde adicionaram-se os compostos em doses equivalentes a 0, 0,5, 1 e 2 vezes a necessidade de N para a cultura da alface. A acidez do solo foi corrigida para atingir pH igual a 6,0. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x4, sendo cinco diferentes compostos e quatro doses, com quatro repetições. A adição dos compostos orgânicos aumentou a CTC e os teores de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , P,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  do solo. De maneira geral, as doses dos compostos estudados não foram suficientes para fornecer a quantidade necessária de nutrientes para a alface. Além disso, a aplicação de doses crescentes de compostos a base de esterco de grama, e um comercial causaram aumentos nos teores de Zn nas plantas, a níveis acima do recomendado para alimentos *in natura*.

Palavras chaves: Fertilizantes orgânicos, elementos traços, Níveis tóxicos

## Abstract

The amendment of soils with organic composts is a good option to reduce the costs with chemical fertilizers and to achieve increases in lettuce productivity. However, given the extreme diversity of organic residues used to prepare composts, there is need for studies to evaluate the effects of composts not only on the release of nutrients essential for plant growth but also on the release of soil contaminants, such as heavy metals. The objective of this study was to evaluate the effects of different types and application rates of organic composts on lettuce productivity and nutrient and heavy metal accumulation. The experiment was established in plastic pots containing 2,5 kg of soil, and the different composts were applied at rates equivalent to 0, 0.5, 1 and 2 times the N need of a lettuce crop. The acidity of the soil was corrected to reach pH 6.0. The experimental design was in randomized blocks, with a 5 x 4 factorial with five types of compost and four rates of application, and four replications. The application of the composts increase the soil CEC and contents of  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , P,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Na}^{+}$ . In general, the rates applied were not sufficient to supply the amount of nutrients needed by the lettuce crop. In addition, increasing rates of the compost prepared with manure and lawn clippings and also a commercialized compost led to significant increases in lettuce Zn concentration, reaching levels above to the recommended for safe consumption in natura.

Palavras chaves: Fertilizer organic, elements traces, levels toxic

## 1. INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa de maior valor comercial cultivada no Brasil, com cerca de setenta e cinco cultivares comerciais, das quais, aproximadamente dezoito são nacionais. É consumida, com maior frequência, em saladas cruas e sanduíches, sendo que as regiões Sul e Sudeste são as maiores consumidoras. É considerada planta de propriedades tranqüilizantes, com alto conteúdo de vitaminas A, B e C, além de cálcio, fósforo, potássio e outros minerais (Ribeiro, et.al., 2000). Por ser uma hortaliça de ciclo curto cujas partes consumidas são as folhas, responde bem ao fornecimento de nitrogênio. O solo ideal para o seu cultivo é o areno-argiloso, rico em matéria orgânica e nutrientes (Villar, 2002).

A adubação orgânica com esterco de animais e compostos orgânicos tem sido amplamente utilizada na produção de alface, com o objetivo de reduzir as quantidades de fertilizantes químicos e melhorar as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo (Silva et. al., 2001). Por exemplo, Ferraz Junior et al. (2003) verificaram que a aplicação de lodo de cervejaria na cultura da alface proporcionou aumento nos teores de fósforo e no de pH do solo, com efeitos similares àqueles obtidos com esterco de galinha.

Vários estudos com aplicação de compostos têm mostrado que sua utilização proporciona aumentos na produção e no teor de nutrientes em plantas de alface. (Zotelli, 2001). Koga e Seno (2000) observaram que composto orgânico de casca de eucalipto + esterco de galinha proporcionou maior produção total e comercial de plantas de alface e pepino em relação ao de bagaço de cana e de casca de amendoim misturada a esterco de galinha. Boas et al. (2004) avaliando o efeito de três doses (30, 60 e 120 t ha<sup>-1</sup>) 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.

Porém, nem todos os tipos de compostos provocam aumentos de produtividade da alface. Jeevan e Shantaram (2000), 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. De modo semelhante Nakagawa et al. (1999), 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.

A grande maioria dos trabalhos encontrados na literatura diz respeito ao uso de estercos, resíduos líquidos e restos vegetais, reportando seu efeito como melhoradores do solo e fornecedores de nutrientes (Peixoto, 2000). No entanto, mesmo diante dos benefícios trazidos pelos compostos orgânicos, estudos comprovam que a partir de determinados níveis o adubo orgânico pode limitar a produção por provocar salinização do solo e contaminá-lo com metais pesados a depender da matéria prima (Santos et. al., 1998b). Algumas características químicas do solo também influenciam na absorção de metais pesados pelas plantas, entre as quais, o pH desempenha papel fundamental.

Jordão & Cecon (2001) observaram que a elevação do pH, pela calagem, em solos de diferentes texturas, proporcionou decréscimo na concentração de cádmio, cobre, níquel, chumbo e zinco em cenoura e em espinafre.

A mobilidade e retenção de metais pesados no solo dependem das complexas interações com a fase sólida, tanto orgânica quanto inorgânica que envolvem reações de adsorção/dessorção, precipitação/dissolução, complexação e oxirredução. Os metais pesados mais perigosos pela toxicidade e potencial de bioacumulação são: Cd, Cu, Zn e Pb (Santos et. al. 1999a). A toxicidade por metais pesados em plantas tem sido demonstrada somente quando os elementos são incorporados ao solo em formas solúveis ou quando resíduos orgânicos contaminados são incorporados em doses elevadas. Cerca de 1% do total de metais pesados são absorvidos pelas plantas (Cobo et. al., 2002).

O acúmulo de metais pesados em plantas depende de fatores como espécie, cultivar, órgão ou parte estudada. Segundo Lopes et al. (2005), cereais, gramíneas, legumes e olerícolas tuberosas tendem a acumular menos metais do que plantas folhosas de crescimento rápido, como a alface.

Neste sentido o objetivo do trabalho foi avaliar a produção, fornecimento de nutrientes e contaminação por metais pesados da alface crespa em solos tratados com diferentes doses e tipos de composto orgânico.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Coleta e caracterização do solo

O solo utilizado no experimento, classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, foi coletado na camada superficial (0 a 20 cm), no Campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Amostras do solo (TFSA) foram utilizadas para a caracterização química e física (Quadro 1), conforme Embrapa (1997).

O solo seco ao ar, destorroado e homogeneizado foi passado em peneira de malha de 4 mm. A acidez foi corrigida para pH 6,0, utilizando-se carbonato de cálcio e magnésio (na proporção molar de 3:1), em quantidades previamente definidas em ensaio de incubação. O solo foi mantido em sacos plásticos, com umidade em torno de 80% da capacidade de campo durante 20 dias.

**Quadro 1.** Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.

Características	Valor
pH (água 1:2,5)	5,2
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,91
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,2
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,5
P (mg/Kg)	5,85
K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,45
Na (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,14
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,5
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )	LD*
Zn (mg dm <sup>-3</sup> )	1,45
Cd (mg dm <sup>-3</sup> )	LD*
Pb (mg dm <sup>-3</sup> )	LD*
N (%)	0,17
C.O. (%)	2,65
C/N	15,59
Ds (g cm <sup>-3</sup> )	1,33
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	71
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	7
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	22

\*Abaixo do limite de detecção do equipamento utilizado

## 2.1. Caracterização dos compostos

Os compostos orgânicos utilizados no experimento se subdividem em comerciais (composto 4) e produzidos em propriedades rurais (compostos 1, 2, 3 e 5). Tais compostos são provenientes de Cruz das Almas-BA (compostos 1 e 2), Recife-PE (compostos 3 e 4) e Esperança-PB (composto 5) cujas composições encontram-se no Quadro 2.

Os compostos foram secos ao ar, homogeneizados e passados em peneira de 2 mm, e posteriormente determinou-se pH em água (1:2,5). Em seguida efetuou-se digestão nitroperclórica, na proporção 3:1, para determinação de P por colorimetria (Thomas et. al., 1967), K por fotometria de chama e Ca, Mg, Cu e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica. O nitrogênio total foi analisado a partir de digestão sulfúrica e determinado de acordo com o método de Kjeldahl, descrito por Bremmer & Mulvaney (1982). Esses resultados estão apresentados no Quadro 3.

**Quadro 2.** Composição dos compostos orgânicos

Composto orgânico	Composição
1	Gramma, casca de mandioca, bagaço de cana
2	Esterco, grama
3	Resíduo doméstico, urbano, industrial
4	Comercial
5	Adubo Enriquecido: esterco de gado, folha de caju, de manga, rama de gliricídia, capim seco, pó de telha, calcário dolomítico, fósforo natural, farinha de rocha, farinha de osso, grão de feijão.

**Quadro 3.** Características químicas dos compostos utilizados no experimento

Compostos orgânicos	pH	MO	C/N	N	P	K	Ca	Mg	Pb	Ni	Cu	Zn	Cd
		%											
				g/Kg <sup>-1</sup>						mg/Kg <sup>-1</sup>			
1	5,71	39	17,2	9,4	2,9	6,7	4,3	0,8	6,13	11,9	11,84	17,25	*ND
2	7,44	37	15,5	10,4	3,4	9,87	6,8	0,02	8	19,05	36,76	40,28	6,07
3	7,75	62	28,46	2,6	3	1,23	13,7	1,2	56,78	59,5	5,78	132,78	46,82
4	2,5	90	25,65	2,3	4,1	3,95	8,1	1,2	13,08	15,25	5,78	38,35	23,67
5	8,9	73	13,75	8,4	4,3	6,42	15,2	0,5	<0,002	99,94	10	60	1,74

\*Abaixo do limite de detecção do equipamento utilizado

## 2.2. Condução do experimento em casa de vegetação

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE. Após a correção da acidez, o solo foi colocado em vasos com contendo 2,5 kg de solo, mantido com 80% da capacidade de retenção de água do solo no vaso. Esta capacidade foi obtida por meio de ajustes, no qual o solo foi colocado no vaso que seria utilizado e saturado durante 24 hs. Após este período, permitiu-se o escoamento de água por gravidade durante 2 hs. O teor de água encontrado após este intervalo de tempo é equivalente à capacidade de campo no vaso.

As mudas de alface, cultivar crespa, foram cultivadas em bandejas de isopor utilizando o substrato Plantmax, sendo umedecida com água destilada durante 30 dias.

Após o período de incubação para correção da acidez, os solos foram homogeneizados com as doses dos compostos apresentadas no quadro 4 e depois de 15 dias transferiu-se uma muda de alface para cada um dos vasos.

Os tratamentos utilizados no experimento constituíram-se de cinco compostos orgânicos, onde a matéria orgânica destes já se encontrava estabilizada. As doses dos compostos foram baseadas na necessidade de nitrogênio para a alface, calculadas de acordo com as recomendações para o Estado de Pernambuco (Cavalcanti, 1998), sendo 0,5; 1 e 2 vezes a recomendação, que corresponderam a 35, 70 e 140 kg N ha<sup>-1</sup>, mais a testemunha sem aplicação de compostos.

Quadro 4. Doses de compostos utilizadas no experimento

Compostos	Doses de compostos (g/vaso)		
	½ x recomendação de N	1 x recomendação de N	2 x recomendação de N
1	22,29	44,59	89,17
2	20,20	40,40	80,81
3	81,08	162,16	324,32
4	90,91	181,82	363,64
5	37,50	75,00	150,00

Durante os 35 dias de cultivo, as plantas de alface foram mantidas com 80% da capacidade de retenção de água com irrigações diárias, mediante pesagem dos vasos para aferição de água perdida por evapotranspiração.

### **2.3. Coleta das plantas e análises químicas**

Após 35 dias de transplântio, as plantas de alface foram coletadas, cortadas rente ao solo, e logo pesadas para obtenção da massa fresca (MF). Em seguida os tecidos vegetais de parte aérea e raízes foram levados à estufa com circulação forçada de ar a 65° C durante 48 h para obtenção da massa seca (MS) da parte aérea. A MS foi triturada em moinho tipo Willey e submetida à digestão nitro-perclórica para análises de Ca, Mg, Cu, e Zn por espectrofotometria de absorção atômica, K por fotometria de chama (Embrapa 1999), P total por colorimetria (Thomas et al.,1967), e digestão sulfúrica para a determinação do N de acordo com o método de Kjeldahl, descrito por Bremner & Mulvaney (1982).

Depois da colheita da alface, foram retiradas amostras de solo dos vasos para determinação do pH,  $H^+ + Al^{+3}$ , Matéria Orgânica, e os macronutrientes (P,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$ ) conforme Embrapa (1997). Também foram determinados os metais pesados (Cd, Cu, Ni e Zn) por extração em DTPA quantificados por espectrometria de emissão atômica com plasma induzido de argônio (ICP/OES).

### **2.5. Delineamento experimental e análises estatísticas**

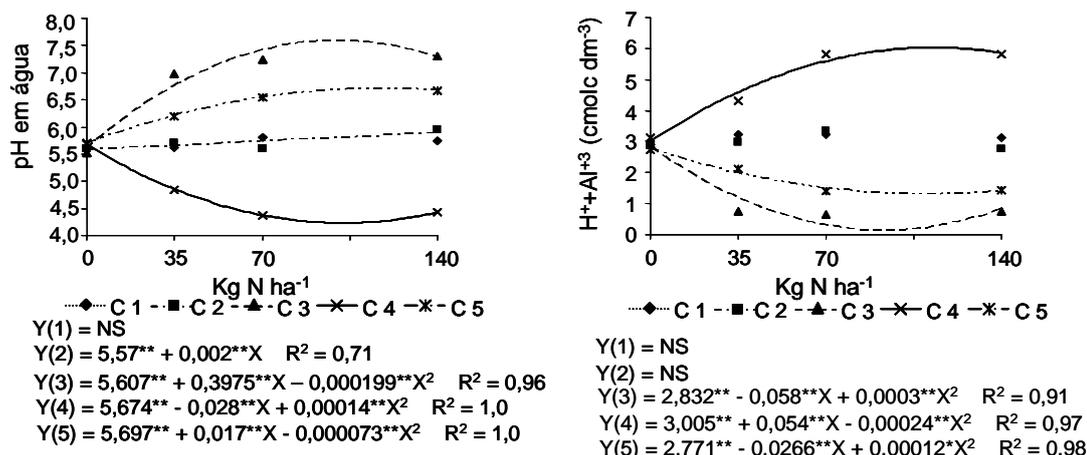
O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x4, utilizando-se cinco compostos orgânicos e quatro doses, com quatro repetições, totalizando 80 unidades experimentais. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, teste de Tukey e análises de regressões utilizando o software SISVAR (Ferreira, 2000).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Modificações nas características químicas do solo após aplicação dos compostos

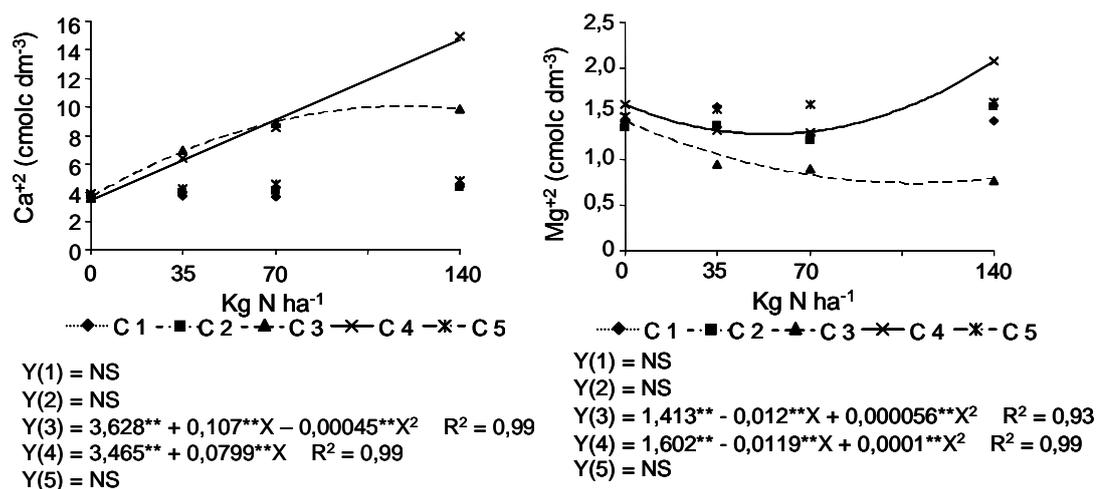
Diante da diversidade na composição dos compostos observou-se uma variabilidade muito grande nos resultados. Mesmo considerando que foi efetuada aplicação de carbonato de cálcio e magnésio para elevar o pH a 6,0, a adição do composto 4 provocou a redução do mesmo com o aumento das doses aplicadas (Figura 1). O pH deste composto é muito ácido (Quadro 3), e junto com a mineralização desencadeada pela microbiota do solo, que provoca a nitrificação, pode ter ocasionado decréscimo do pH. O composto 1, apesar de ter pH ácido, não provocou alteração de pH do solo. Os demais compostos tenderam a elevar o pH do solo, notadamente o composto 3, que na última dose aplicada elevou o pH a neutralidade. Logan (1997) após aplicação de 15 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto observou redução do pH e ainda neste mesmo trabalho observou que doses acima desta elevaram o pH. Santos (1999) aplicando 30 Mg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> de composto orgânico de lixo verificou que o pH do solo foi elevado em 0,5 unidade. Costa (1994) cultivando alface em Latossolo vermelho-amarelo, também constatou aumentos significativos no pH (4,48; 7,05; 7,95 e 8,53) com a elevação das doses de composto orgânico de lixo (0, 30, 60 e 90 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Sabe-se que, pelo menos temporariamente, a tendência é de que o pH se eleve com a adição de composto orgânico ao solo, principalmente por causa das bases trocáveis como Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> (Kiehl, 1985). A remoção dessas bases pelas plantas ou pela lixiviação é que provoca a acidificação do solo.

Os teores de H<sup>+</sup>+Al<sup>3+</sup> no solo (Figura 1) aumentaram com a adição do composto 4, de pH ácido, e diminuíram com a adição dos compostos 3 e 5, que tinham o pH mais elevado, corroborando os resultados de pH do solo.



**Figura 1.** Valores de pH e teores de  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  no solo após aplicação de compostos orgânicos e cultivo por 35 dias com alface.

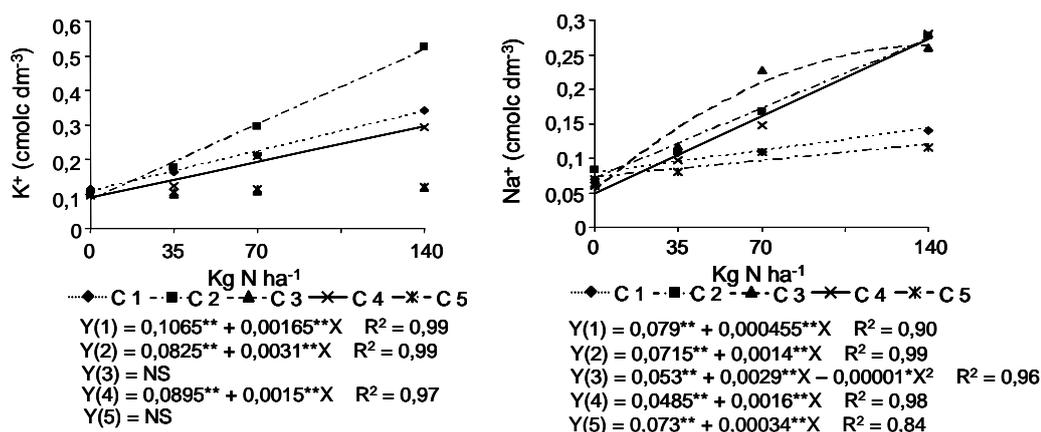
Tanto para o  $\text{Ca}^{+2}$  como para o  $\text{Mg}^{+2}$  ocorreu interação significativa entre compostos e doses. Para o  $\text{Ca}^{+2}$  o composto 3 apresentou comportamento linear e o 4 um comportamento quadrático, enquanto para  $\text{Mg}^{+2}$  em ambos os compostos (3 e 4) o comportamento foi quadrático (Figura 2). Os teores de cálcio, após a aplicação desses compostos foram elevados no solo, enquanto que os de  $\text{Mg}^{+2}$  tenderam a diminuir com a aplicação do composto 3, resultado que não era esperado, já que este composto tinha teor de magnésio semelhante ao do 4, e superior aos demais compostos estudados.



**Figura 2.** Teores de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  no solo após aplicação de compostos orgânicos e cultivo por 35 dias com alface.

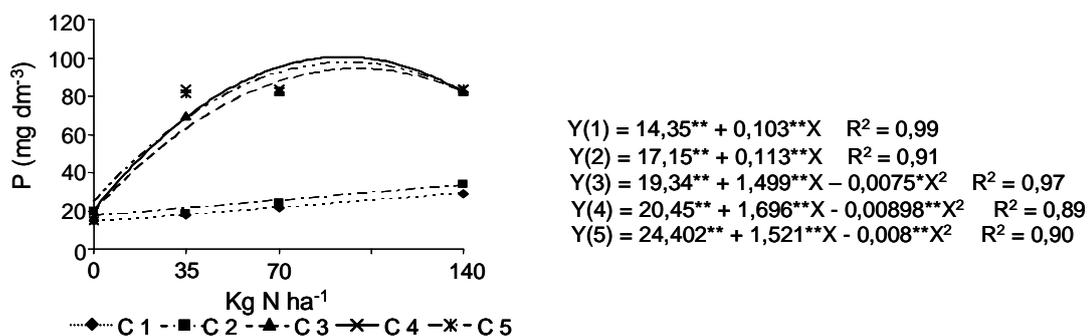
O potássio apresentou interação significativa entre compostos e doses, sendo verificado efeito nos tratamentos 1, 2 e 4, onde os mesmos apresentaram comportamento linear (Figura 3). Correia et.al. (2003) constataram aumento no teor de  $K^+$  com o aumento das doses, após 90 dias de incubação no solo com composto orgânico de lixo. O composto 2, que apresentou o maior teor de  $K^+$  dentre os compostos estudados elevou em cinco vezes o  $K^+$  do solo com a maior dose aplicada.

Todos os compostos estudados causaram aumento de sódio trocável no solo, e da mesma maneira que observado para o  $K^+$ , alguns compostos ocasionaram aumentos de até cinco vezes dos teores desse elemento no solo nas doses mais elevados, como o 2, 3 e 4 (Figura 3). O uso continuado destes compostos pode ocasionar acúmulo de sódio trocável no solo e eventualmente ocasionar toxidez às plantas.



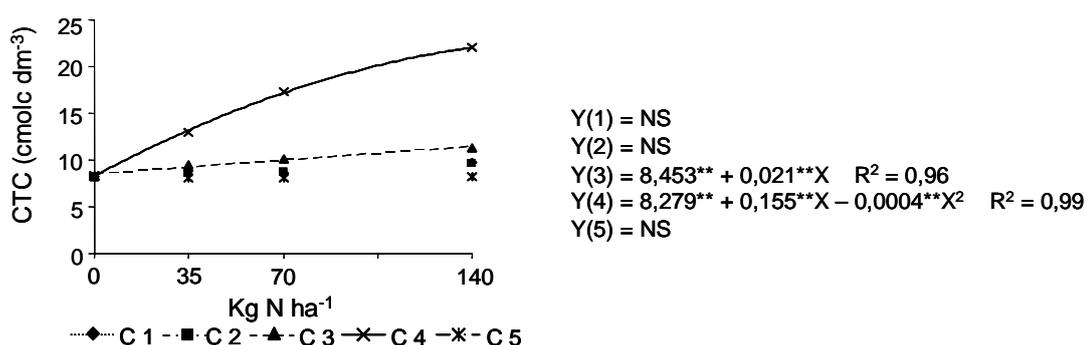
**Figura 3.** Teores de  $K^+$  e  $Na^+$  no solo após aplicação de compostos orgânicos e cultivo por 35 dias com alface.

Em relação ao fósforo houve interação significativa entre os dois fatores estudados (composto e doses). Todos os compostos provocaram aumento no teor de P em função das doses, ou seja, todos tenderam a aumentar os teores desse nutriente no solo. Segundo os limites de interpretação de teores de P disponível no solo, estabelecidos para a cultura da alface no estado de Pernambuco, o teor de P no solo passou da classe baixo ( $5,85 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para médio nos tratamentos 1 ( $20,68 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e 2 ( $24,06 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e nos demais tratamentos estão acima de  $30 \text{ mg kg}^{-1}$ , teores considerados altos (Figura 4).



**Figura 4.** Teores de P no solo após aplicação de compostos orgânicos e cultivo por 35 dias com alface.

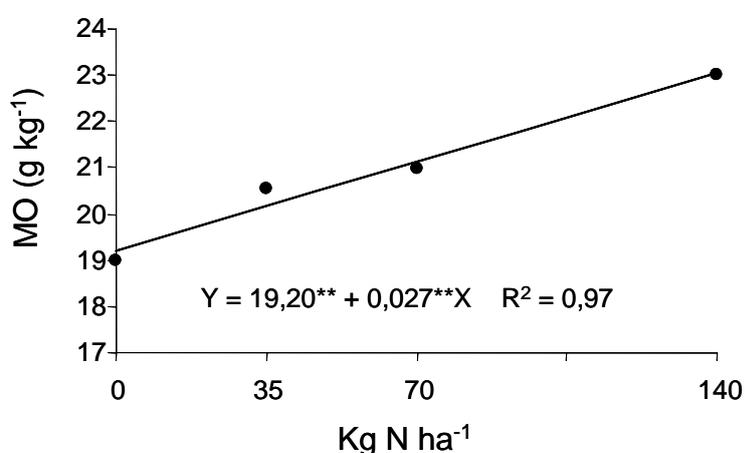
Observou-se efeito significativo da interação entre os fatores estudados sobre a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo (Figura 5). O aumento da CTC em função das doses foi significativo para o composto 3, apresentando comportamento linear, e para o composto 4, apresentando efeito quadrático. Vários estudos têm constatado aumentos da CTC em função da aplicação de lodos e compostos de lixo urbano ao solo. Oliveira et. al., (2002) e Abreu et. al., (2002), observaram um aumento crescente da CTC em função da aplicação de lodo de esgoto, e lixo urbano respectivamente em doses que variaram de 0 a 240 Mg ha<sup>-1</sup> em base seca. De modo semelhante, Santos et. al., (2001) observaram que doses crescentes de composto orgânico elevaram entre outras características a capacidade de troca catiônica do solo, promovendo aumento de produção da cultura da alface.



**Figura 5.** Capacidade de troca de cátions (CTC) no solo após aplicação de compostos orgânicos e cultivo por 35 dias com alface.

Os teores de matéria orgânica (MO) dos compostos (Quadro 3) estão acima do valor mínimo de 30%, indicado por Kiehl (1985) para compostos orgânicos.

A MO do solo foi influenciada pelos fatores em estudo isoladamente. De maneira geral, as doses de composto aumentam a MO do solo, independente do tipo de composto (Figura 6). Cabrera (2003) afirma que a alteração mais significativa que os compostos orgânicos provocam no solo é o aumento no conteúdo de matéria orgânica. Paino et al. (2000) verificaram o acréscimo no conteúdo de matéria orgânica do solo com aplicação de composto orgânico de lixo urbano. Fontanetti et al. (2002) constataram também aumento de matéria orgânica no solo, após 90 dias de incubação do solo com composto orgânico de lixo, aumento da porcentagem de agregados estáveis e da capacidade de retenção de água, ao aplicarem doses superiores a 30 Mg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 6.** Teores médios de matéria orgânica do solo após aplicação de compostos orgânicos e cultivo por 35 dias com alface.

Segundo a legislação para fertilizantes orgânicos estabelecida pelo Ministério da Agricultura, os metais pesados devem apresentar os seguintes teores máximos: Cd = 8 mg kg<sup>-1</sup>, Cu = 200 mg kg<sup>-1</sup>, Ni = 175 mg kg<sup>-1</sup>, Pb = 375 mg kg<sup>-1</sup>, Zn = 700 mg kg<sup>-1</sup>. A caracterização química dos compostos orgânicos trabalhados mostrou que os teores de metais pesados (Quadro 3) com exceção dos tratamento 3 e 4 para Cd, estão abaixo dos níveis críticos permitidos pela legislação.

Os teores de cobre no solo só foram influenciados pelos compostos estudados, não ocorrendo efeito significativo das doses nem da interação entre estes fatores (Quadro 5). O composto 2 foi o que apresentou maior teor (36,76 mg kg<sup>-1</sup>, Quadro 3), no entanto, o composto 5 com três vezes menos Cu na composição (10 mg kg<sup>-1</sup>) proporcionou maior disponibilidade desse elemento no solo (Quadro 5).

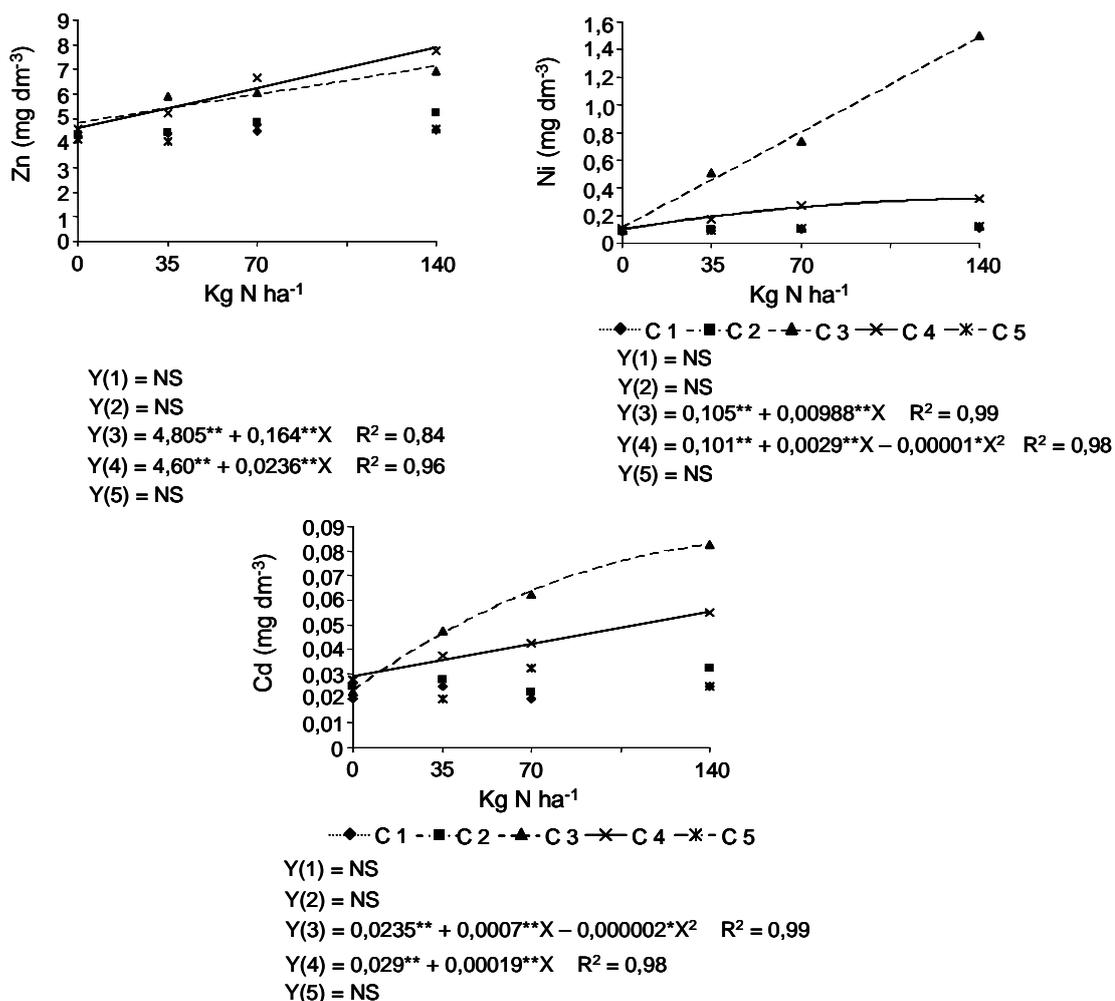
A força de ligação do cobre aumenta com o aumento do grau de humificação (Logan 1997), e com o pH (Mattiazzo-Prezzotto, 1998). O cobre, em alguns solos está associado a materiais orgânicos insolúveis e, nessa forma, apresenta pequena mobilidade.

Contudo, nem todo o cobre orgânico do solo está na forma insolúvel (Hooda e Alloway, 1996). O cobre da solução do solo disponível para as plantas é reabastecido pelas formas fracamente associadas à matéria orgânica. Em condições de campo, após quinze anos de aplicação de lodo, McBride (1997) verificaram que parte do cobre solúvel aparecia na forma organicamente complexada.

**Quadro 5.** Teores de cobre extraíveis por DTPA e matéria orgânica em solo após aplicação de compostos orgânicos e cultivo por 35 dias com alface

Composto	Cu mg dm <sup>-3</sup>	MO g kg <sup>-1</sup>
1	1,29 b	20,93 ab
2	1,34 b	20,72 ab
3	1,34 b	21,13 ab
4	1,44 b	22,19 a
5	2,22 a	19,46 b

Os teores de Zn, Ni e Cd do solo foram significativamente afetados pela interação entre os dois fatores estudados (compostos x doses). Foram observadas elevações dos teores destes elementos no solo com a aplicação dos compostos 3 e 4 (Figura 7).



**Figura 7.** Teores de Zn, Ni e Cd no solo após aplicação de compostos orgânicos e cultivo por 35 dias com alface.

A elevação da concentração desses metais com a aplicação do composto 3 pode ser atribuída aos valores iniciais desses elementos nos compostos. Já para o composto 4, o aumento dos metais do solo parece estar mais relacionado com o pH do composto, que ocasionou redução do pH do solo (Figura 1), consequentemente aumentando a disponibilidade destes metais no solo. Apesar do incremento de metais observado no solo, com a aplicação das crescentes doses de compostos, nenhum dos teores observados atingiu valores de alerta (Cetesb, 2001, 2005) ou valores críticos no solo para crescimento de plantas (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).

Oliveira (2000) verificou que a aplicação de compostos a base de lodo de esgoto em solos cultivados com cana-de-açúcar ocasionou um acréscimo nos teores de Zn, resultados corroborados por Pigozzo (2004), quando

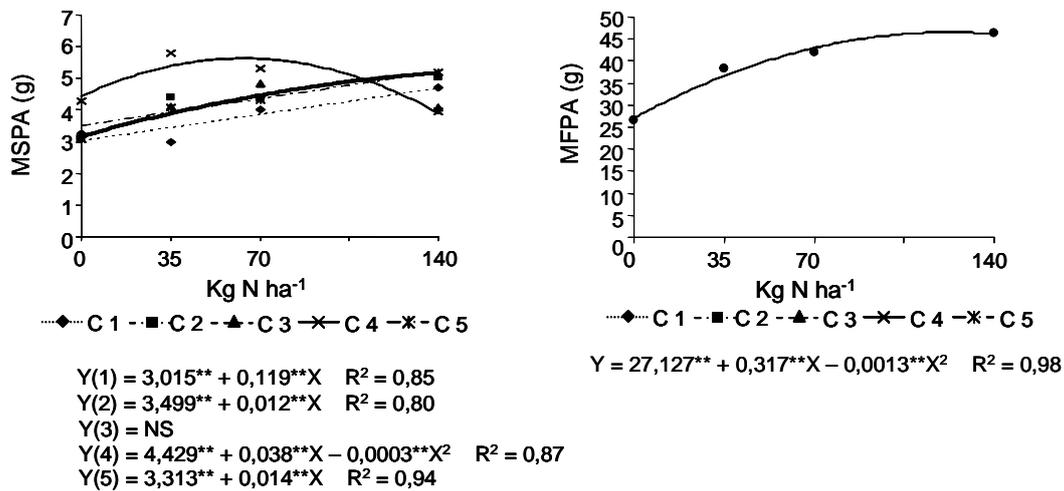
trabalhou com metais de transição em Latossolo após aplicação de lodo. Silva et. al. (2001) aplicando  $40 \text{ Mg ha}^{-1}$  de lodo de esgoto na cultura da cana de açúcar após 468 dias de cultivo observaram aumento dos teores de Cd no solo, no entanto, os valores obtidos continuaram dentro dos limites estabelecidos pela legislação.

Para a matéria seca da parte aérea (MSPA), com exceção do composto 3, todos os demais proporcionaram efeitos significativos em função das doses aplicadas (Figura 8). Para matéria fresca da parte aérea (MFPA) só foi observado efeito das doses isoladamente, não sendo observado efeito significativo da interação, nem dos compostos (Figura 8).

De maneira geral foi observado aumento da MSPA em função da aplicação das doses dos compostos. No tratamento que recebeu o composto 4 foi observado um declínio da MSPA após seu ponto máximo de crescimento ( $63,3 \text{ kg de N}$ ).

Mantovani et al. (2003b), em experimento em casa de vegetação, constataram que a aplicação de lixo urbano, em doses acima de  $50 \text{ Mg ha}^{-1}$ , limitou a produção de matéria seca de alface, tanto em solo arenoso quanto em solo argiloso. Santos et. al. (1998, 2001) trabalhando com alface cultivada com compostos orgânicos verificaram que aplicações de doses crescentes de compostos proporcionaram menor teor de matéria seca em plantas de alface. Bôas et.al. (2004) trabalhando com compostos orgânicos a base de palha de feijão, casca de eucalipto e serragem de madeira em aplicações de  $240\text{g/vaso}$  de cada composto também observou, aos 56 dias de cultivo, redução da biomassa seca na cultura de alface. Entretanto efeitos lineares de doses de adubos orgânicos sobre a produção de MSPA em cultivos sucessivos de alface foram observados por Vidigal et al. (1995) e Silva et. al. (2005).

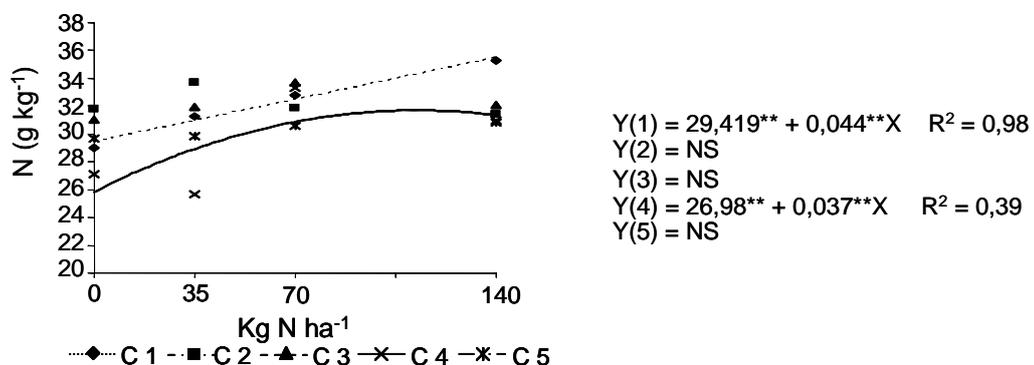
A produção da matéria fresca apresentou comportamento quadrático com a aplicação de doses dos compostos (Figura 8). Costa et al. (2001a), em experimento de campo, observaram que a aplicação de composto de lixo urbano propiciou aumentos lineares na produção de matéria fresca de alface em dois cultivos sucessivos.



**Figura 8.** Matéria seca (MSPA) e fresca (MFPA) da parte aérea de plantas de alface cultivadas durante 35 dias em solo adubado com diferentes compostos orgânicos.

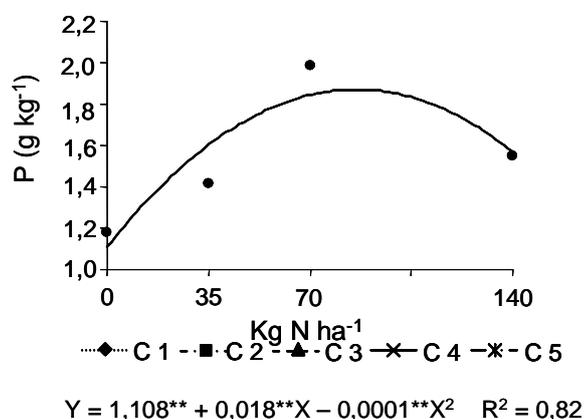
### 3.3 - Teores de macro e micronutrientes na planta

Os teores de nitrogênio sofreram efeito significativo da interação entre os dois fatores estudados (composto e doses). Apenas para os compostos 1 e 4 foram ajustadas equações significativas para doses, onde ambos apresentaram comportamento linear (Figura 9). Teores de N entre 35 e 50 g kg<sup>-1</sup> são considerados adequados para alface (Trani & Raij, 2001). Nenhum dos compostos estudados proporcionou teores adequados de N nas folhas da alface. Entretanto, Mantovani et. al. (2005a) trabalhando com diversas variedades de alface aplicando 30 Mg ha<sup>-1</sup> de composto de lixo urbano obtiveram ganho máximo do nitrogênio na matéria seca da parte aérea de 37,5 g kg<sup>-1</sup>, colhida aos 45 dias de cultivo.



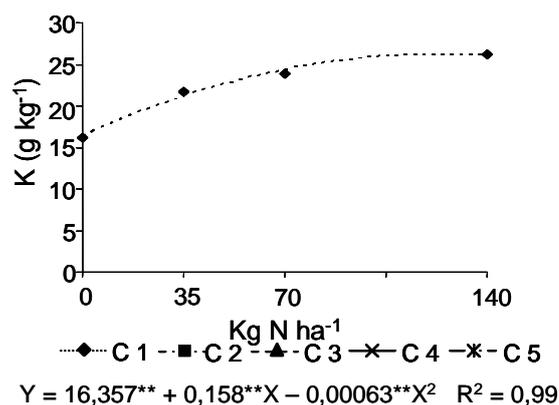
**Figura 9.** Teores de N na parte aérea de plantas de alface cultivadas durante 35 dias em solo adubado com diferentes compostos orgânicos.

Os teores de P não apresentaram significância para a interação entre compostos e doses, sendo significativo apenas em função das doses aplicadas. (Figura 10). Mesmo diante da máxima absorção de fósforo (90 kg de N) e das maiores doses aplicadas a planta de alface não obteve a quantidade recomendada (4-6 g kg<sup>-1</sup>) (Reuter & Robinson, 1986) no tecido vegetal, apesar da quantidade do nutriente fornecida pelos compostos, o que pode ter sido ocasionado por uma competição com a biomassa microbiana. Lopes et. al. (2005), trabalhando com doses crescentes de lodo de esgoto observaram acréscimo de P nas folhas de alface. Resultados similares foram encontrados por Asiegbu & Oikeh (2001) no fornecimento de P para as plantas trabalhando com compostos orgânicos.



**Figura 10.** Teores de P na parte aérea de plantas de alface cultivadas durante 35 dias em solo adubado com diferentes compostos orgânico.

Para o K não ocorreu interação significativa entre os compostos e as doses. O aumento crescente das doses elevaram os teores de potássio nas folhas (Figura 11). No entanto, esses valores estiveram abaixo do recomendado (50-80 g kg<sup>-1</sup>) segundo Reuter e Robinson (1986). Entretanto, Boas et. al. (2004) trabalhando com compostos orgânicos a base de casca de eucalipto, serragem de madeira e palha de feijão obtiveram com aplicação de 240 g vaso<sup>-1</sup> teores de K dentro do recomendado.



**Figura 11.** Teores de K na matéria seca da parte aérea da alface após aplicação de compostos orgânicos e cultivo por 35 dias com alface.

Para o Ca e o Mg não ocorreu significância na interação entre compostos e doses. Os teores desses elementos (Quadro 6) na folha, de acordo com Reuter e Robinson (1986), estão baixo dos limites mínimos recomendados para alface (14-20; 3,0-7,0 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Ferraz Junior et. al. (2003), trabalhando com esterco de galinha e lodo de cervejaria em aplicação de 40 Mg ha<sup>-1</sup> obtiveram baixos teores de Ca e Mg nas folhas da alface. Segundo Asiegbu e Oikeh (2001) a absorção de Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>, que são bases trocáveis responsáveis juntamente com o Na<sup>+</sup> pelas modificações de pH do solo, pode ser reduzida por alta disponibilidade de K<sup>+</sup>. A utilização de matéria orgânica nas culturas pode alterar a composição mineral das plantas, isso, dependendo entre outros fatores, da fertilidade do solo.

**Quadro 6.** Teores de Cu, Ca e Mg em plantas de alface cultivadas durante 35 dias em solo adubado com diferentes compostos orgânicos

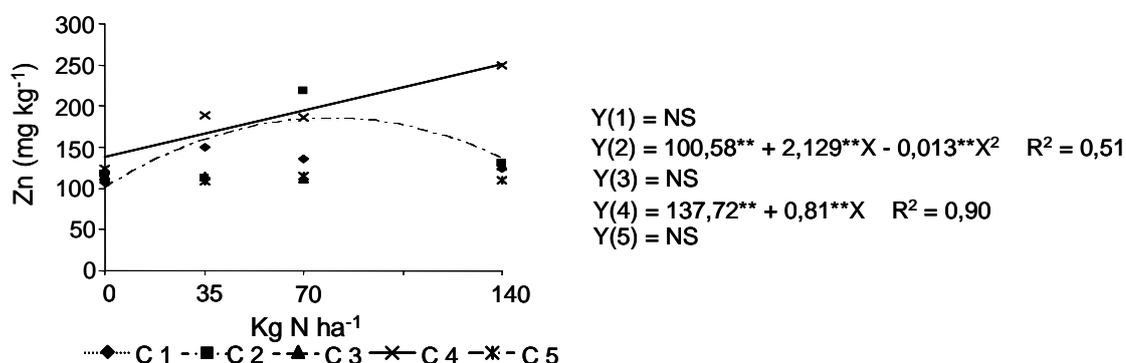
Compostos Orgânicos	Cu	Ca	Mg
	mg/Kg	-----g/Kg-----	
1	28,05 ab	6,71 a	1,48 a
2	28,94 a	7,17 a	1,48 a
3	28,47 ab	7,64 a	1,47 a
4	28,17 ab	7,32 a	1,50 a
5	26,95 b	6,41 a	1,53 a

No que se refere ao Cu na planta não foi observada interação significativa entre os compostos e doses. A diferença ocorreu apenas entre os compostos, onde o tratamento 2 proporcionou o maior teor na planta (Quadro 6), coerente com o teor deste nutriente no composto. No entanto, todos os

compostos avaliados neste trabalho não apresentaram valores acima do permitido pela legislação brasileira (ABIA, 1985). Mantovani et. al. (2003) aplicando doses crescentes de vermicomposto de lixo urbano que chegaram até a 100 Mg ha<sup>-1</sup> observaram aumentos significativos nos teores de Cu na parte aérea de plantas de alface cv. Mesa 659. Costa et al. (1994c, 1997b) também observaram aumentos na concentração de cobre e zinco, em alface e em cenoura, com a adição de composto de lixo.

A interação entre os fatores estudados (composto e doses) interferiu significativamente nos teores de Zn na parte aérea das plantas de alface (Figura 12). No entanto, o aumento das doses só foi significativo para o tratamento 2, proporcionando efeito quadrático (Figura 12) e provocando um efeito linear para o tratamento 4 (Figura 12). A adição dos compostos orgânicos ao solo proporcionou aumento nos teores de Zn na parte aérea das plantas, atingindo teores superiores aos recomendados (30-100 mg kg<sup>-1</sup>) para alimentos *in natura* impostos pela legislação brasileira de alimentos (ABIA, 1985).

Os teores de Zn na parte aérea podem ser influenciados pelo pH, teores de argila do solo e doses de compostos orgânicos. Mesquita filho et. al. (2002) aplicando 80 Mg ha<sup>-1</sup> de composto de lixo ao solo, verificaram que os compostos proporcionaram os teores máximos de Zn detectados tanto no solo quanto na matéria seca da parte aérea em cenoura. No entanto, Ferraz Junior (2003), não observou aumentos significativos deste nutriente na matéria seca da parte aérea quando trabalhou com esterco de galinha e lodo de cervejaria aplicando 40 Mg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 12.** Teores de Zn em alface após aplicação de doses crescentes de compostos orgânicos, e cultivo por 35 dias.

#### 4. CONCLUSÕES

De maneira geral os compostos estudados proporcionaram aumento de produção de matéria seca e fresca da alface;

A adição dos compostos orgânicos ao solo favoreceu o aumento de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , P,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Na}^{+}$ , além de melhorar a CTC;

De maneira geral, as doses dos compostos estudados não foram suficientes para fornecer nutrientes nas doses necessárias para a alface;

A aplicação de doses crescentes do compostos a base de esterco de grama, e do composto comercial proporcionou aumento nos teores de Zn nas plantas, a níveis acima do recomendado para alimentos *in natura*.

## REFERÊNCIAS

ABIA (São Paulo, SP). **Compêndio da legislação de alimentos**. São Paulo, v. 1, 1985. 185 p.

ABREU Jr., C.H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F.C. Carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre em solos tratados com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Campinas, v. 26 p.769-780, 2002.

BREMNER, J.M. & MULVANEY, C.S. Nitrogen-total. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H. & KEENEY, D.R. (Ed.). *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. Par.2. Madison, ASA-SSSA, **American Society of Agronomy**, 1982. p. 595-624 (Agronomy Monograph, 9).

ASIEGBU, J.E.; OIKEH, S. Evaluation of chemical composition of manures from different organic wastes and their potential for supply of nutrients to tomato in a tropical Ultisol. **Biological Agriculture Horticulture**, v.12, p.47-60, 2001.

BOAS, R. L. V, et al. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, p. 29-3, 2004.

CABRERA, F., DIAZ, E., MADRID, L. Effect of using urban compost as manure on soil contents of some nutrients and heavy metals. **Journal Food Agricultural**, v. 47, p. 159- 169, 2003.

CAVALCANTI, F. J. A. **Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco**. 2. ed., Recife: IPA, 1998. p. 198.

COBO, J.G, et al. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. **Plant and Soil** , The Haque, v. 240, p.331-342, 2002.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB.  
**Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e água subterrâneas do Estado de São Paulo.** São Paulo, 2001. 232 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB,  
**DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E**, de 23 de novembro de 2005.

CORREIA, D. et al. Uso do pó da casca de coco na formulação de substratos para formação de mudas enxertadas de cajueiro anão precoce (comunicação científica). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 03, p. 557-558, dez. 2003.

COSTA, C.A. et al. Teor de metais pesados e produção de alface adubada com composto de lixo urbano. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.19, p.10- 16, 2001a.

COSTA, C.A. et al. Teor de zinco, cobre e cádmio em cenoura em função de doses crescentes de composto de lixo urbano. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 15, p. 10-14, 1997b.

COSTA, C.A. et al. Teor de metais pesados em alface (*Lactuca sativa* L) adubada com composto de lixo urbano. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 41, p. 629-640, 1994c.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 212p.

FERRAZ, JUNIOR, L. S. A.; SOUZA, R. S.; CASTRO, P. R. S.; PERREIRA. B. R. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 1, jan/mar. p 26 -29, 2003.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Resumos**. São Carlos: Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, 200, p. 255-258.

FONTANETTI, A. et al. Adubação orgânica e química com e sem aplicação de resíduo siderúrgico, na produção de alface americana. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20 p. 253-260, 2002, Suplemento.

HOODA, P.S.; ALLOWAY, B.J. The effect of liming on heavy metal concentrations in wheat, carrots and spinach grown on previously applied soils. **Journal of Agricultural Sciences**, v.127, p.289-294, 1996.

JEEVAN RAO, K.; SHANTARAM, M.V. Effect of urban solid wastes on dry matter yield, uptake of micronutrients and heavy metals by maize plants. **Journal of Environmental Biology**, Muzaffarnagar, v.17, p.25-32, 2000.

JORDÃO, C.P.; CECON, P.R. Teor de metais pesados e produção de alface adubada com composto de lixo urbano. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 19, p. 10-16, 2001.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3<sup>rd</sup> ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 413p.

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

KOGA, P.S.; SENO, S. Efeitos de diferentes materiais orgânicos em cultivos consecutivos de alface e pepino, sob condições de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 37 p.145-153, 2000.

LOPES, J.C. et al. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, p.143-147, jan/mar. 2005.

LOGAN, T.J. Field Assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.26, n.2, p.534-550, 1997.

MESQUITA FILHO, M.V. et al. Produção comercializável e teores de Cu e Zn em cenoura em decorrência da ação residual de fósforo e composto de lixo em solo sob cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF. v. 20, n.2, p. 153-157, jun. 2002.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, Brasília,DF, v.23, n.3, p.758-762, jul/set, 2005a.

MANTOVANI, J.R. et al. Calagem e adubação com vermicomposto de lixo urbano na produção e nos teores de metais pesados em alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 3, p. 494-500, ju/set. 2003b.

MCBRIDE. M.B. *et al.* Mobility and solubility of toxic metals and nutrients in soil fifteen years after sludge application. **Soil Science**, v.162, n.7, p. 487-500, 1997.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M.E. **Comportamento do cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH.** 1998. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

NAKAGAWA, W. et al. comparative evaluation of maturity parameters for food waste composting. **Compost Science Land Utilization**, Emmaus, v. 7, p. 55-62. 1999.

OLIVEIRA, F. C. et al. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agricola**, v. 52, p. 360-367, 2000.

OLIVEIRA, M.W. et al. Leaching of nitrogen, potassium, calcium and magnesium in sandy soil cultivated with sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p.861-868, 2002.

PAINO, V.; PEILLEX, J.; MONTLAHUC, O. Municipal tropical compost: effects on crops and soil properties. **Compost Science Land Utilization**, Emmaus, v. 4, p. 67-69, 2000.

PIGOZZO, A. T. J. et al. Disponibilidade de metais de transição no solo tratado com lodo de esgoto. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 443-451, 2004.

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

REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. **Plant analysis: na interpretation manual**. Melbourne: Inkata Press, 1986. 218 p.

RIBEIRO, L.G. et al. Adubação orgânica na produção de pimentão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.18, n.2, p.134-137, 2000.

SANTOS. I. C. et al. Teores de metais pesados, K e Na, no substrato, em função de doses de composto orgânico de lixo urbano e de cultivares de alface. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, p. 66-71, 1999a.

SANTOS, I. C. dos; VICENTE, V. W. D.; MIRANDA, G. V. Comportamento de dez cultivares de alface adubadas com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 33, n. 2, p.157-161, fev. 1998b.

SANTOS, R. H. S. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 11, p. 1395-1398, nov 2001.

SANTOS, M.A. dos; NICOLAS, M. F. HUNGRIA, M. Identificação de QTL associados à simbiose entre *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii* e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, p. 67 - 75, 2006.

SILVA, F. C. et al. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho- Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.36, p. 831-840, 2001.

SILVA, A. M. de.; BOAS, R. L. V; PASSOS, J. C. Qualidade de compostos orgânicos produzidos com resíduos do processamento de plantas medicinais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, p. 22-24 2005.

THOMAS, R.L.; SHEARRD, R.W.; MOYER, J.R. **Comparasion of conventional and automated procedures for N, P and K analysis of plant material using a single digestion**. Agronomy Journal, Madison, 1967. 240 p.

TRANI, P.E.; RAIJ, B. Hortaliças. In: RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, Campinas: 2001.157 p.

VIDIGAL, S.M.; RIBEIRO, A.C.; CASALI, V.W.D.; FONTES, L.E.F. Resposta da alface (*Lactuca sativa* L.) ao efeito residual da adubação orgânica I. **Revista Ceres**, v.42, p.80-88, 1995.

VILLAR, M.L.P.; CARLOS.G.; Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 4, p.539-546, 2002.

ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; BERNARDES, H.M. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.36, v.5, p.831-840, 2001.