

**AVALIAÇÃO DO COMPOSTO DE LIXO URBANO PARA USO
AGRÍCOLA: ÍNDICE DE PRODUÇÃO DE CO₂ E MATURIDADE**

*Serafim Daniel Ballestero
Paulo Fortes Neto
Fábio Cesar da Silva
Nara Lúcia Perondi Fortes
Antônio Mário Carnielli
Vicente Rodolfo Cesar Santos*

Embrapa

Informática Agropecuária

República Federativa do Brasil

Fernando Henrique Cardoso
Presidente

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Marcus Vinicius Pratini de Moraes
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Márcio Fortes de Almeida
Presidente

Alberto Duque Portugal
Vice-Presidente

Dietrich Gerhard Quast
José Honório Accarini
Sérgio Fausto

Urbano Campos Ribeiral
Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Alberto Duque Portugal
Diretor-Presidente

Dante Daniel Giacomelli Scolari
Elza Angela Battaglia Brito da Cunha
José Roberto Rodrigues Peres
Diretores

Embrapa Informática Agropecuária

José Gilberto Jardine
Chefe-Geral

Kleber Xavier Sampaio de Souza
Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Tércia Zavaglia Torres
Chefe Adjunto de Administração

Álvaro Seixas Neto
Supervisor da Área de Comunicação e Negócios

ISSN 1517-0330



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Informática Agropecuária
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

AVALIAÇÃO DO COMPOSTO DE LIXO URBANO PARA USO AGRÍCOLA: ÍNDICE DE PRODUÇÃO DE CO₂ E MATURIDADE

*Serafim Daniel Ballesterio
Paulo Fortes Neto
Fábio Cesar da Silva
Nara Lúcia Perondi Fortes
Antônio Mário Carnielli
Vicente Rodolfo Cesar Santos*

*Campinas, SP
2000*

Embrapa Informática Agropecuária. Relatório Técnico, 9.

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Informática Agropecuária
Área de Comunicação e Negócios
Av. Dr. André Tosello s/nº.
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" - Barão Geraldo
Caixa Postal 6041
13083-970 - Campinas, SP
Telefone: (19) 3289-9800 ramal 143
Fax: (19) 3289-9594
E-mail: sac@cnptia.embrapa.br
URL: <http://www.cnptia.embrapa.br>

Comitê de Publicações: Adriana Farah (Secretária)
Carlos Alberto Alves Meira
Leila Maria Lenk
Marcelo Gonçalves Narciso (Presidente)
Maurício Noronha Festa

Suplentes:

Carla Geovana do N. Macário
Evandro Bacarin
Paulo César de Oliveira

Editoração: Ivanilde Dispatto

Tiragem: 150 exemplares

Avaliação do composto de lixo urbano para uso agrícola: índice de produção de CO₂ e maturidade / Serafim Daniel Ballesteros... [et al.]. -- Campinas : Embrapa Informática Agropecuária, 2000.

22p. - (Relatório Técnico / Embrapa Informática Agropecuária.
ISSN 1517-0330; 9).

1. Adubo orgânico. 2. Composto orgânico. 3. Compostagem. 4. Lixo urbano. 5. Biologia do solo. I. Ballesteros, Serafim Daniel. II. Série.

CDD-631.875

© Embrapa Informática Agropecuária, 2000

SUMÁRIO

Resumo.....	1
Abstract.....	2
1. Introdução.....	3
2. Materiais e métodos.....	5
3. Resultados e discussão.....	8
4. Conclusões.....	20
5. Referências bibliográficas.....	21

LISTA DE FIGURAS

FIG. 1. Efeito dos diferentes estágios de maturação (30, 60, 90 e 120 dias) do composto de lixo e de proporções de sua mistura ao solo LV (razão CL/solo: 0, 1 e 2) na produção de CO ₂ (respirometria). Gráfico representativo da produção de CO ₂ . A coloração cinza vai clareando na medida em que aumenta a razão de mistura de solo com o composto de lixo.....	10
FIG. 2. Efeito da aplicação de composto de lixo com diferentes tempo de maturação em várias proporções de solo LV, sobre a produção de CO ₂ no tempo (média de todos os tratamentos). A linha tracejada representa o período entre revolvimento das leiras.....	11
FIG. 3. Produção de CO ₂ do composto de lixo urbano durante 45 dias de compostagem.....	12
FIG. 4. Efeito das diferentes proporções de composto de lixo e solo no tempo sobre a variação da quantidade de CO ₂ produzido.....	13
FIG. 5. Efeitos dos tratamentos na variação do peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), do sistema radicular (MSR) e da relação parte aérea/sistema radicular (MSPA/MSR) por planta na cultura do rabanete.....	19
FIG. 6. Influência dos diferentes tratamentos na curva de crescimento em altura de plantas no período de cultivo do rabanete.....	20

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Análise química e física do solo da área experimental.....	5
TABELA 2. Composição média do composto de lixo utilizado no experimento aos 90 dias de maturação, em gramas por quilograma composto.....	6
TABELA 3. Médias de relação C/N do composto de lixo (CL) com decorrer da compostagem (dias) e no solo LV.....	7
TABELA 4. Efeito imediato do composto de lixo urbano aplicado sobre a fertilidade do solo Latossolo Vermelho Amarelo (LV), logo após a sua adição.....	15
TABELA 5. Efeito residual da aplicação do composto de lixo urbano na fertilidade após o cultivo do rabanete.....	16
TABELA 6. Análise estatística do fator tratamento sobre a altura (cm) e peso de matéria seca (g) de plantas de rabanete após a colheita pelo Teste de Tukey, a 1 e 5% de probabilidade.....	17

AVALIAÇÃO DO COMPOSTO DE LIXO URBANO PARA USO AGRÍCOLA: ÍNDICE DE PRODUÇÃO DE CO₂ E MATURIDADE

Serafim Daniel Ballesterio¹, Paulo Fortes Neto¹, Fábio Cesar da Silva², Nara Lúcia Perondi Fortes³, Antônio Mário Carnielli⁴, Vicente Rodolfo Cesar Santos⁴

RESUMO - O objetivo do trabalho foi avaliar o método de evolução da produção de CO₂ como um indicador da maturidade e do grau de estabilidade do composto de lixo urbano (CL) para uso agrícola em função do tempo de fermentação de 30, 60, 90 e 120 dias de compostagem, misturando-se a cada um deles solo LV, nas proporções volumétricas de 1:1 e 1:2 (CL: solo). O CL usado foi produzido pela usina de reciclagem de lixo da URBAM, em São José dos Campos, SP. Verificou-se que o tempo de maturação de 30, 60 e 90 dias não foi suficiente para a plena bioestabilização como fertilizante orgânico, mas acima de 120 dias teve uma produção de CO₂ mais baixa e uniforme; portanto, já em condições de ser usado como fertilizante. O intervalo de 90 a 120 dias de maturação foi o recomendado para a produção do CL maturado. Na seqüência, validou-se a eficiência dessa metodologia para avaliar a maturidade do CL em um outro estudo, que se baseou na premissa de que se um CL maduro for aplicado ao solo não acarretará uma série de reações indesejáveis ao crescimento das plantas, incluindo-se a redução na disponibilidade de nutrientes. Para tanto, utilizou-se de uma cultura teste (rabanete), que comprovou experimentalmente a hipótese.

Termos para indexação: Adubo orgânico; Composto orgânico; Compostagem; Lixo urbano; Biologia do solo.

¹ Eng. Agr., Dr., UNITAU - Departamento de Ciências Agrárias, Rua Quatro de Março 432 - 12020-040 - Taubaté SP.

² Eng. Agr., Dr., Embrapa Informática Agropecuária, Caixa Postal 6041, Barão Geraldo - 13083-970 - Campinas, SP.

³ Profa., M.Sc., UNITAU - Departamento de Ciências Agrárias.

⁴ Acadêmicos em Eng. Agrônômica, UNITAU - Departamento de Ciências Agrárias - Bolsistas da URBAM.

EVALUATION OF URBAN WASTE COMPOST FOR AGRICULTURAL USE: INDEX OF CO₂ PRODUCTION AND MATURITY

ABSTRACT - The objective of this work was to evaluate the method of evolution of the CO₂ production as an indicator of the maturity and of the degree of stability for urban waste compost (CL) for agricultural use in function of the time of fermentation for 30, 60, 90 and 120 days of compost, being mixed each one of them with LV soil, with the volume proportions of 1:1 and 1:2 (CL: soil). The used CL was produced by waste recycling factory - URBAM, located at São José dos Campos, SP. It was verified that the time of maturation of 30, 60 and 90 days it was not enough for the full biostabilization as organic fertilizer, but above 120 days it had a lower and uniform production of CO₂; therefore, already in conditions of being used as fertilizer. The interval from 90 to 120 days of maturation was recommended for the production of matured CL. In sequence, the efficiency of that methodology was validated to evaluate the maturity of CL in another study, that it was based on the premise that if a mature CL was applied to the soil won't happen a series of undesirable reactions to the plants growth, being included the reduction in the readiness of nutrients. It was used of as culture tests (radish), that it proved the hypothesis experimentally.

Index terms: Organic fertilizers; Organic compounds, Composts; Urban wastes; Soil biology.

AVALIAÇÃO DO COMPOSTO DE LIXO URBANO PARA USO AGRÍCOLA: ÍNDICE DE PRODUÇÃO DE CO₂ E MATURIDADE

1. Introdução

Devido ao seu alto teor de matéria orgânica, o lixo urbano domiciliar é passível de ser reciclado através de um processo de compostagem. Esse processo pode ser ao natural, onde a fermentação do material é feita em pátios ao ar livre, ou em digestores mecânicos, com recursos para controle de teor de umidade, temperatura e aeração (Berton & Valadares, 1991). Cerca de 50% do composto de lixo é constituído de matéria orgânica. Essa proporção varia de acordo com o processo de compostagem e/ou com os locais de coleta de lixo, sendo um material muito importante na atividade biológica do solo, atuando como fonte de energia para a vida de microorganismos. A conversão da matéria orgânica biodegradável para o estado de matéria-prima orgânica humificada é um processo microbiológico realizado, principalmente, por bactérias, fungos e actinomicetes (Golueke, 1976), consumindo oxigênio e liberando dióxido de carbono. O processo de decomposição de restos orgânicos tem, no início, predomínio de bactérias e fungos mesófilos produtores de ácidos. Em seguida, com a elevação da temperatura, a população dominante será de actinomicetes, bactérias e fungos termófilos, influenciada pelo aumento da disponibilidade de oxigênio. Passada a fase termófila, o composto vai perdendo calor e retornando à fase mesófila, porém com uma composição química diferente, pois os açúcares e amido já foram consumidos pelos microorganismos, através de oxidações, com conseqüente produção de dióxido de carbono. Na fase final do processo de compostagem, compostos orgânicos mais resistentes são transformados e, com a queda da temperatura, podem ser encontrados protozoários, nematóides, miriápodes e os mais diversos insetos (Satriana, 1974; Golueke et al., 1954). Além disso, deve ser observado que a compostagem depende de muitas variáveis, não só das características dos materiais que formam o composto, mas também da forma das pilhas, da umidade e da temperatura (Lossin, 1971).

Nas leiras de compostagem de lixo urbano domiciliar ocorrem várias fases de variação da temperatura e, nesse sentido, Fortes Neto et al. (1997) observaram que as variações das temperaturas no interior das leiras de compostagem permaneceram por 90 dias dentro da fase termófila, favorecendo o desenvolvimento da população de bactérias e fungos, e reduzindo a população de bactérias coliformes totais e fecais.

Um aspecto estratégico da compostagem que se observa em Lossin (1971), refere-se à quantidade efetiva de oxigênio consumida pelos microorganismos nesse processo. Verificou-se que quando a temperatura do composto era de 30°C a quantidade de oxigênio assimilada era de 1 miligrama por grama de matéria volátil, enquanto que a 63°C era de 5 miligramas por grama. No primeiro dia de compostagem foi encontrada uma demanda química de oxigênio (DQO) média de 900 miligramas por grama, enquanto que no 24º dia a DQO foi de 325 miligramas por grama. Devido a essas variações e a falta de constância na utilização do oxigênio pelos microorganismos, passou-se a determinar o total de carbono a ser oxidado e calcular, a partir dele, o volume de oxigênio necessário para a decomposição.

O processo, no entanto, não é o mais indicado, pois nem todo o carbono da matéria orgânica existente no composto poderá ser oxidado biologicamente. Outra informação sobre o conteúdo de oxigênio existente no composto pode ser obtida determinando-se a quantidade de CO₂ contido no seu interior e subtraindo-se dele o teor de oxigênio do ar atmosférico. Assim, por exemplo, uma concentração de 3% de CO₂ no ar do composto indica a existência de 18% de oxigênio nos espaços vazios. Esse método pode ser utilizado ao se considerar que a maior parte do CO₂ existente no composto é resultado da atividade microbiológica (Lossin, 1971). A quantidade de CO₂ produzida na fermentação está diretamente relacionada à quantidade de O₂ consumida. Esta, por sua vez, é consequência da atividade biológica, que depende do tipo de material orgânico utilizado no composto, da umidade, da aeração e, principalmente, do tempo de compostagem. Uma forma de se avaliar a intensidade da atividade biológica em relação ao tempo de compostagem, na produção do composto de lixo urbano (CL), pode ser feita pela determinação da quantidade de CO₂ produzida (Dallare, 1980). Um método para se avaliar a respiração do solo foi inicialmente proposto por Lundegardh (1921), e consistia em se determinar a quantidade de CO₂ produzida pelo solo através da utilização de uma base alcalina fixadora de CO₂. O mesmo método, com algumas modificações (Mina, 1962; Kirita & Hozumi, 1966), está sendo atualmente utilizado para se avaliar a atividade biológica no processo de mineralização de materiais orgânicos. Em um processo específico de compostagem, Cardoso et al. (1995), estudando a maturação do CL através da evolução de CO₂, do pH, da temperatura, da matéria orgânica e do N total, observaram que o tempo de 8 semanas foi suficiente para esse fertilizante orgânico atingir uma bioestabilização que permitisse seu uso agrícola sem os riscos comuns em matéria orgânica não estabilizada. Vidor et al. (1997) estudaram quantitativa e qualitativamente a atividade microbiana, através da evolução de CO₂ e da identificação de grupos de microorganismos, com a aplicação de doses elevadas de CL bioestabilizado ao solo, por um período de 4 anos. Observaram um aumento na atividade microbiana causado, principalmente, pelo aumento da população de bactérias, sendo que os fungos e os actinomicetes não apresentaram aumento significativo.

No final da compostagem obtém-se um composto bioestabilizado maduro, de fácil manuseio, que contribui significativamente para a melhoria da estrutura e da fertilidade do solo (Ermani, 1981). Os compostos de lixo urbano possuem índices de pH neutro ou ligeiramente alcalino (Berton & Valadares, 1991; Berton, 1995; Mello et al., 1997) e baixos teores de macro (N, P, K e S) e micronutrientes (Zn, Cu e Fe). Todavia, o composto de lixo apresenta o nitrogênio (N) em quantidades relevantes (Berton & Valadares, 1991; Berton, 1995), sendo que somente de 10 a 15% do N total do composto torna-se disponível no primeiro ano de cultivo (De Haan, 1981). Já os teores de fósforo (P) nos compostos de lixo urbano são consideravelmente mais altos do que aqueles da maioria dos solos agrícolas, embora sua disponibilidade para as plantas seja baixa (Cravo, 1995). De acordo com De Haan (1981), tanto no primeiro como no segundo anos de cultivo o P ficou disponível 15% do seu total. Por outro lado, o composto é rico principalmente em potássio (K) e sódio (Na) (Melo et al., 1997). Segundo De Haan (1981), os teores de K são mais baixos do que aqueles da maioria dos solos agrícolas, mas sua disponibilidade tão alta quanto a de muitos fertilizantes.

É necessário ressaltar, entretanto, que no composto imaturo, ou não bioestabilizado, foram observadas presenças de ácidos orgânicos (acético, propiônico, isobutírico e isovalérico), enquanto que em compostos maturados encontraram apenas pequena quantidade de ácido acético. Verificaram, ainda, que a presença de ácido acético inibiu a emergência de sementes de *Lepidium*

sativum L. quando em concentrações acima de 300 ppm (Devleeschauwer et al., 1981). Deve ser lembrado que a adição de composto imaturo promove uma série de reações indesejáveis no solo, especialmente, pela redução da disponibilidade de alguns nutrientes às plantas (Kiehl, 1985).

O CL ainda não possui boa aceitabilidade de uso pela sociedade. Esse comportamento se relaciona com as características do composto (Cravo, 1995), o que requer o estabelecimento de indicadores seguros para um controle efetivo da qualidade do produto a ser comercializado. No Brasil o fator que mais contribui para produção de compostos de baixa qualidade é a presença de poluentes orgânicos e inorgânicos. A redução do problema poderia ser conseguida com a adoção da coleta seletiva do lixo domiciliar, tornando possível a obtenção de um material que não provocasse risco ao meio ambiente (Grossi, 1993; Egreja Filho, 1993).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o método de quantificação de CO₂ por base alcalina fixadora, como indicador do grau de controle da atividade biológica do composto de lixo, em compostos com diferentes tempos de fermentação. A eficácia do método foi testada na avaliação da maturidade do CL em um outro estudo, partindo-se da hipótese de que a aplicação de CL imaturo acarretaria uma série de reações indesejáveis no solo, inclusive a redução de disponibilidade de alguns nutrientes.

2. Materiais e métodos

A pesquisa foi realizada em duas fases, um teste metodológico e uma validação, ambas em condições controladas, no Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU, em colaboração com a Embrapa Informática Agropecuária.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, caracterizado por um verão quente e úmido e inverno seco.

Os experimentos foram instalados usando um solo de média fertilidade natural, caracterizado como tipo LV - Latossolo Vermelho Amarelo de textura média. A análise química prévia de amostras compostas retiradas antes da instalação do ensaio a profundidades de 0-30cm, mostram os resultados apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Análise química* e física do solo da área experimental.

Prof.	M. O.	pH	P.resina	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	H+Al	SB	CTC	V	Argila
Cm	g/kg	CaCl ₂	mg/dm ³	----- mmol/dm ³ de terra -----							%
0-30	17,3	4,5	11,0	23,0	12,0	3,5	35,0	39,5	74,5	53,0	38,1

*Métodos usados nos laboratórios de análise de solos credenciados pelo Sistema do Instituto Agronômico de Campinas - IAC (Raij & Quaggio, 1983).

Composto de lixo (CL): o material utilizado foi obtido na Estação de Compostagem de lixo da empresa Urbanizadora Municipal - URBAM, que produz o composto a partir de resíduos orgânicos obtidos num sistema de coleta seletiva do município de São José dos Campos, SP. O CL possuía um pH neutro (pH em $\text{CaCl}_2 = 6,5$) e a ausência de coliformes fecais (NMP). Na empresa processadora, o material cru foi amontoado em leira de $3 \times 15 \times 1 \text{ m}$ e revolvido a cada 5 dias, para que a compostagem fosse aeróbica. Utilizou-se amostras retiradas após 30, 60, 90 e 120 dias de compostagem, com e sem mistura em solo LV, que foram incubadas em casa de vegetação no Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia - UNITAU, onde se efetuou a quantificação da produção de CO_2 , através da fixação por base alcalina, por um período de 120 dias. Após esse tempo, observou-se uma estabilização na temperatura e evolução de CO_2 , considerando-se encerrado o processo de transformação. Os níveis de metais pesados presentes no composto de lixo utilizado, encontram-se dentro das faixas de teores considerados aceitáveis pela EPA na regulamentação denominada de CFR-503 (Estados Unidos, 1993) e que foi adaptada na norma técnica P4.230 pela CETESB, órgão de controle ambiental do Estado de São Paulo, para uso em solos agrícolas (Melo et al., 1997). A composição média do CL curado, referentes à média de duas amostras é apresentada na Tabela 2.

TABELA 2. Composição média do composto de lixo utilizado no experimento aos 90 dias de maturação, em gramas por quilograma do composto.

Componentes	Concentração (g.kg^{-1})
Matéria orgânica	321,8
Umidade Total	286,6
Relação C/N	15,1
Fósforo	5,6
Potássio	2,8
Enxofre (S)	1,2
Cálcio (Ca)	24,7
Magnésio (Mg)	2,4
Carbono (C)	156,0
Ferro (Fe)	13,86
Cobre (Cu)	0,158
Cádmio (Cd)	0,0058
Cromo (Cr)	0,0341
Chumbo (Pb)	0,158
Níquel (Ni)	0,0124
Zinco (Zn)	0,225

Teste do método em casa de vegetação - a atividade biológica foi avaliada, utilizando-se o método de evolução de CO_2 como indicador, e como substratos composto de lixo e as suas relações de C/N (Tabela 3), nos tempos de 30, 60, 90 e 120 dias de compostagem e solo. Os tratamentos foram feitos misturando-se o composto de lixo ao solo nas proporções de 1:2 e de 1:1.

- T1 - CL 30 dias T2 - CL 30 dias + solo - Razão 1:1 T3 - CL 30 dias + solo - Razão 1:2
 T4 - CL 60 dias T5 - CL 60 dias + solo - Razão 1:1 T6 - CL 60 dias + solo - Razão 1:2
 T7 - CL 90 dias T8 - CL 90 dias + solo - Razão 1:1 T9 - CL 90 dias + solo - Razão 1:2
 T10 - CL 120 dias T11 - CL 120 dias + solo - Razão 1:1 T12 - CL 120 dias + solo - Razão 1:2
 T13 - Solo LV

O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado com 13 tratamentos com 4 repetições.

ABELA 3. Médias de relação C/N do composto de lixo (CL) com decorrer da compostagem (dias) e no solo LV.

Composto de lixo	Tempo de compostagem do lixo, em dias ¹				Solo LV
	30	60	90	120	
Relação C/N	18/1	16/1	15/1	12/1	8/1

Equação linear entre relação de teores de carbono e nitrogênio C/N (Y) e tempo de compostagem (X): $Y=20,7-0,07.X$ ($R^2=0,972^{**}$).

Validação do método de evolução de CO₂ via monitoramento de efeitos na fertilidade do solo pelo CL curado - para verificar a eficiência do método de evolução de CO₂ como um indicador da maturidade dos compostos de lixo, foi utilizado um CL curado seguindo esse critério, com cerca de 90 dias de compostagem e testando-se seus efeitos sobre a fertilidade do solo (LV). Misturou-se CL ao solo nas seguintes dosagens:

- T1 - 30t de CL.ha⁻¹ T2 - 60t de CL.ha⁻¹
 T3 - 90t de CL.ha⁻¹ T4 - 120t de CL.ha⁻¹
 T5 - Composto de lixo - Testemunha 1 T6 - Solo LV - Testemunha 2

Para avaliação da produção do CO₂ os substratos foram preparados misturando-se solo com o ar, peneirados em peneira de 2,00 mm de malha, com o composto de lixo peneirado produzido pela URBAM, de acordo com as proporções estabelecidas nos tratamentos. A seguir foram acondicionadas 100g da mistura em vidros de 700ml, pesados e vedados. Do material restante foram retiradas amostras para a análise química padrão de fertilidade e quantificar a

variação da umidade, em porcentagem, utilizando-se do método gravimétrico, a fim de se determinar o seu peso seco. A validação da eficiência do método de maturação do CL foi feita com a cultura de rabanete, por apresentar ciclo curto e rápido desenvolvimento vegetativo, em vasos de 3 litros de capacidade, seguindo as dosagens propostas nos tratamentos. A irrigação foi feita diariamente, procurando-se manter os substratos próximos à capacidade de campo, a fim de não se perder nutrientes por lixiviação. Os dados referentes à altura de plantas foram coletados semanalmente e, após um período de desenvolvimento vegetativo aproximado de sessenta dias, feita a colheita, determinando-se a altura das plantas e os pesos de matéria verde e seca da parte aérea e sistema radicular.

Medição da evolução de CO₂ - para a avaliação do CO₂ produzido foram adicionados 10ml de NaOH a 1N em copinhos de plásticos de café e colocados no interior dos vidros com os substratos. Após períodos consecutivos de 168 horas os copinhos foram retirados e a quantidade de CO₂ determinada por titulação com HCl a 0,5N, usando fenolftaleína a 5% como indicador. A unidade utilizada para caracterizar a produção de CO₂ foi mg/CO₂/hora/grama de material seco, obtendo-se os dados através da seguinte equação (modificado de Mina, 1962; Hozumi, 1966; Cardoso et al., 1995):

$$\text{Eq. 1. CO}_2, \text{ em mg.h}^{-1}.\text{g} \text{ .MS} = \frac{(\text{B-P}) \times \text{N} \times 44}{\text{período} \times \text{peso seco}} \quad ; \text{ Sendo que :}$$

B = volume do ácido do branco obtido na titulação

P = volume do ácido obtido na titulação da amostra; N = concentração do ácido utilizado

44 = peso molecular do CO₂

Período = tempo (168 horas) em que a base fixou o CO₂

Peso = peso seco do substrato em gramas

Análise estatística - foram feitos no software SAS o teste t de análise de variância e o teste de Tukey para o contraste de médias dos tratamentos com as testemunhas dos experimentos. Para avaliar os efeitos de doses de composto de lixo (CL) e de tempo de fermentação utilizou-se a regressão polinomial até 2º grau, nos níveis de 5% e 1% de probabilidade.

3. Resultados e discussão

a) Evolução do CO₂ produzido no CL como indicador de maturidade

Observou-se que a produção de CO₂ foi maior, inicialmente, para os tratamentos em que foi utilizado somente composto de lixo (T1) decrescendo em função do aumento do tempo de maturação (T4, T7 e T10). A maior produção de CO₂ foi no tratamento com composto de 30 dias de maturação, decrescendo nos tratamentos de 60, 90 e 120 dias. Tal processo de decaimento na produção de CO₂ variou com o tempo decorrido de fermentação. Os modelos de evolução de CO₂ no tempo, ajustados aos 3 substratos (CP puro e nas duas razões misturas como solo), são os seguintes:

- a) CL puro - CO₂ (mg/h/g MS): $Y = 0,089 + 0,0028.X - 0,00003.X^2$ ($r^2 = 0,933^{**}$)
b) CL/solo (1:1) - CO₂ (mg/h/g MS): $Y = 0,094 + 0,00028.X - 0,0000006.X^2$ ($r^2 = 0,840^{**}$)
c) CL/solo (1:2) - CO₂ (mg/h/g MS): $Y = 0,042 + 0,0014.X - 0,00001.X^2$ ($r^2 = 0,773^{**}$)

A análise isolada dos tratamentos em que foi feita a mistura com solo demonstrou que onde a proporção de solo foi maior houve também maior produção de CO₂, comprovando que uma maior quantidade de solo adicionada ao composto aumenta a atividade biológica. Nota-se isso nos coeficientes "c" dos modelos polinomiais de 2º grau para evolução de CO₂ para a mistura solo-CL, que é muito maior no tratamento com a razão 1:2 (CL/solo), indicando que ocorre um decaimento mais acelerado do carbono orgânico e também uma velocidade de transformação via atividade biológica muito maior, possivelmente, devido ao aumento da população de organismos decompositores fornecidos pelo solo (Fortes Neto et al., 1997).

Esse comportamento demonstra uma maior atividade biológica dos tratamentos em que foi utilizado somente composto de lixo, devido à sua mais alta relação C/N (Tabela 3). Deve ser ressaltado, entretanto, que a compostagem depende não só dessa característica dos materiais que formam o composto, mas também da forma das pilhas, da umidade e da temperatura (Lossin, 1971). O decréscimo da produção de CO₂ em função do tempo de maturação evidencia que essa variável deve ser considerada no estudo da bioestabilidade desse material, a fim de que possa ser utilizado como fertilizante orgânico. Isso está de acordo com o observado por Cardoso et al. (1995), que verificaram que é possível acompanhar a maturação do CL através da evolução de CO₂, associado ao seu pH, à temperatura, à matéria orgânica e ao N total.

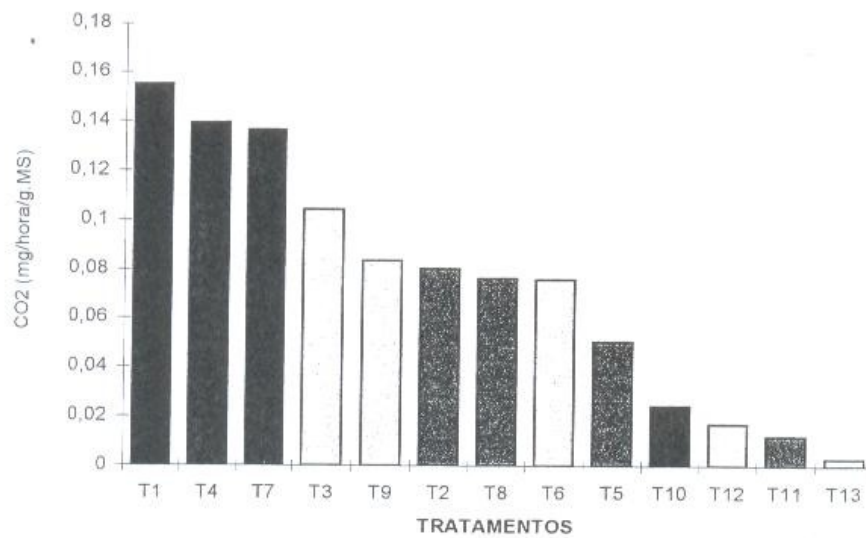


FIG. 1. Efeito dos diferentes estgios de maturaco (30, 60, 90 e 120 dias) do composto de lixo e de proporces de sua mistura ao solo LV (razo CL/solo: 0, 1 e 2) na produco de CO₂ (respirometria). Grfico representativo da produco de CO₂. A colorao cinza vai clareando na medida em que aumenta a razo de mistura de solo com o composto de lixo.

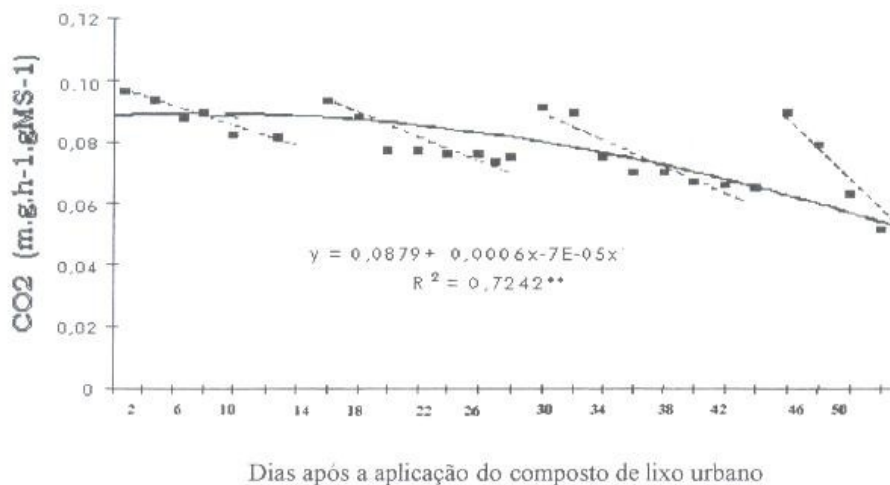


FIG. 2. Efeito da aplicação de composto de lixo com diferentes tempo de maturação em várias proporções de solo LV, sobre a produção de CO₂ no tempo (média de todos os tratamentos). A linha tracejada representa o período entre revolvimentos das leiras.

Na Fig. 2, observa-se uma tendência de queda, com picos de maior ou menor produção devido aos revolvimentos e umedecimentos que foram feitos quinzenalmente, representado pelas retas tracejadas. Os picos de valores muito baixos são decorrentes do tratamento em que foi utilizado somente o solo, e teve uma baixíssima produção de CO₂. Em síntese, fica demonstrado que é possível usar os resultados do método de evolução do CO₂ como um indicativo de um composto de lixo maduro, como descrito pelo modelo de decaimento de CO₂ produzido na forma de 2º grau com o decorrer do tempo.

b) Verificação da variação da produção de CO₂ dos substratos nas diferentes semanas de avaliação

Os resultados da produção de CO₂ nos diferentes tratamentos, e no período de sete semanas, mostraram efeitos significativos para os fatores CL e tempo de maturação, assim como para a interação entre eles. Observa-se na Fig. 3 que houve, em geral, uma queda na produção de CO₂ em relação ao tempo de atividade microbiana, decorrente do consumo do material orgânico pelos microorganismos, com uma fase inicial de estabilização entre a 2ª e 3ª semanas. Ou seja, do 14º ao 21º dia, e uma final a partir da 5ª semana, correspondente ao 35º dia. A fase inicial ocorreu devido ao aumento de umidade e aeração dos substratos pois, no 14º dia foram umedecidos e revolvidos os substratos de todos os tratamentos. A fase final de estabilização ocorreu devido ao

início do estágio de bioestabilização dos substratos. Pelo comportamento verificado pode-se afirmar que o início da bioestabilização ocorreu a partir do 35º dia, que corresponde aproximadamente ao mesmo período observado por Fortes Neto et al. (1997). Utilizando-se as medidas de temperatura no interior das leiras de compostagem, a fase termófila durou 90 dias, favorecendo o desenvolvimento da população de bactérias e fungos e reduzindo a população de bactérias coliformes totais e fecais. Já Cardoso et al. (1995), observaram que o tempo de 8 semanas (56 dias) foi suficiente para esse fertilizante orgânico atingir uma bioestabilização que permitisse seu uso agrícola sem riscos consideráveis.

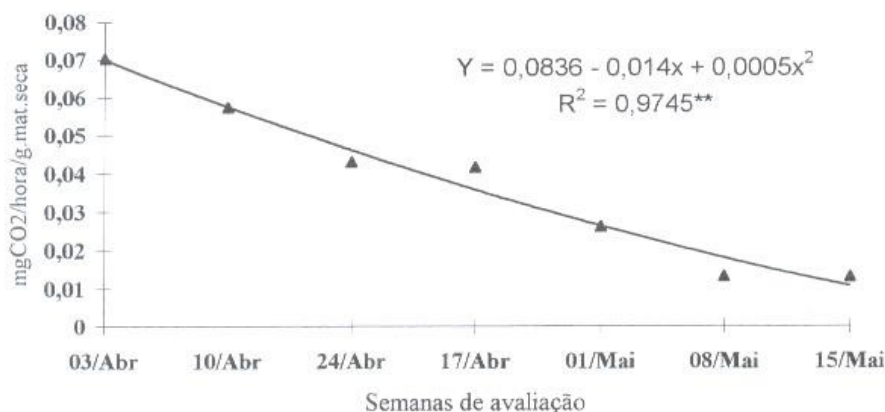


FIG. 3. Produção de CO₂ do composto de lixo urbano durante 45 dias de compostagem.

c) Variação da produção de CO₂ nas diferentes proporções de composto de lixo e solo

Os resultados da aplicação do teste de Tukey de comparação de médias da produção de CO₂ nas diferentes proporções de composto de lixo e solo no período, são mostradas as médias dos tratamentos na Fig. 4. Observa-se que o tratamento T5 foi o que apresentou maior atividade microbiana, com maior produção de CO₂. Nele foi utilizado somente composto de lixo com maior quantidade de matéria orgânica. Houve uma diferença estatisticamente significativa, ao nível de 1% de probabilidade em relação aos demais. Por outro lado, o tratamento com menor atividade foi a testemunha, em que se utilizou somente solo (T6) com o menor teor de matéria orgânica. Os tratamentos em que foram adicionados solo ao composto de lixo não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si, mas mostraram, na medida em que se incrementava as doses de composto uma tendência de aumentos proporcionais em sua atividade.

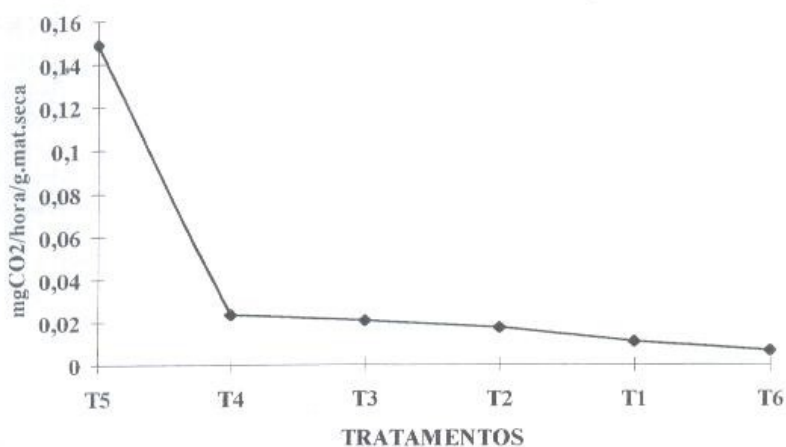


FIG. 4. Efeito das diferentes proporções de composto de lixo e solo no tempo sobre a variação da quantidade de CO₂ produzido.

d) Variação dos parâmetros químicos de fertilidade solo

A análise química das amostras de terra, coletadas antes da aplicação do CL (Tabela 1), mostrou um solo com acidez de média a baixa, altos teores trocáveis de Mg²⁺ e Ca²⁺, médio teor trocável de K⁺ e baixo de P solúvel (Raij et al., 1985). O CL aplicado ao solo neutralizou parte da acidez potencial, provocando aumento do seu pH, sendo a primeira dose de CL suficiente para atingir a neutralidade do solo (Melo et al., 1997; Berton & Valadares, 1991). A CTC, a soma de bases (SB) e a saturação em bases tiveram seus valores incrementados com o aumento da dose de CL. A ação corretiva da acidez do CL foi bastante limitada, pois houve necessidade de 10t.ha⁻¹ de CL para aumentar 0,1 unidade de pH ou 1,9 mmol_c.dm⁻³ na SB, ou, ainda, menos de 3% da porcentagem de saturação por bases (V%) (Tabela 5).

Pela análise química do solo fica evidente que o resíduo atuou como fonte de P, Ca, K e Mg, pois aumentou os teores destes nutrientes no solo (Tabelas 1 e 4), conforme também foi observado por (De Haan, 1981; Cravo, 1995; Melo et al., 1997; Egreja Filho, 1993). A Tabela 4, mostra ainda, que antes do estudo da atividade microbiana os tratamentos que apresentaram os maiores teores de matéria orgânica, potássio e magnésio foram os com composto de lixo, maior para o tratamento com a maior dose de CL, exceto para o uso de composto sozinho e decrescendo para as menores doses. O tratamento que apresentou os menores teores foi aquele em que se utilizou somente solo (testemunha). Tendo em vista a importância dos elementos potássio e magnésio para o desenvolvimento dos microorganismos, justifica-se a maior produção de CO₂ encontrada para esses tratamentos e, em função dos maiores teores de matéria orgânica, pode-se afirmar que o incremento ocorrido foi fornecido pela adição do composto de lixo.

Quanto ao efeito de CL no teor de P no solo, em particular, verificou-se que de teor baixo no tratamento sem CL subiu para teor médio, quando se aplicou $30\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ do resíduo (Tabela 4), pois houve a adição de $168\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de P. Esse comportamento confirma resultados observados por vários autores (De Haan, 1981; Cravo, 1995; Melo et al., 1997; Egreja Filho, 1993). Foram adicionados ao solo $741\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de Ca ao aplicar $30\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ do resíduo, o que explica o aumento do seu teor no solo. Apesar de serem consideráveis as quantidades de Cu, Zn, Fe e Mn adicionadas ao solo pelo CL (Tabela 2), elas estão dentro dos valores aceitos pela legislação da Agência Norte Americana de Proteção Ambiental (Estados Unidos, 1993).

A análise após cultivo do rabanete revelou uma redução dos efeitos da aplicação de CL na fertilidade do solo, exceto para o P (Tabela 5).

Em relação ao estudo da variação dos parâmetros químicos após o início da estabilização da atividade microbiana, pode-se observar que os teores de matéria orgânica, potássio e magnésio mantiveram-se mais elevados no tratamento em que se utilizou somente composto. Nos demais tratamentos, com doses crescentes de composto e mesmo na testemunha (solo), os níveis se mantiveram uniformes, não apresentando uma variação estatisticamente significativa. Esse comportamento pode ser explicado pela rápida mineralização da matéria orgânica presente no composto e sua conseqüente utilização dos nutrientes pela população microbiana (Tabela 5).

TABELA 4. Efeito imediato do composto de lixo urbano aplicado sobre a fertilidade do solo Latossolo Vermelho Amarelo (LV), logo após a sua adição.

Variável	Modelo Y=a+bX	R ² x 100	Valores médios observados				
			0t.ha ⁻¹	30t.ha ⁻¹	60t.ha ⁻¹	90t.ha ⁻¹	120t.ha ⁻¹
PH (CaCl ₂)	Y=5,6+0,01X	75**	5,3	6,2	6,8	6,8	6,8
H+Al, mol _c .dm ⁻³	Y=24-0,11X	77**	27	19	13	13	12
SB ¹ , mmol _c .dm ⁻³	Y=54+0,19X	68**	47,1	69,6	65,6	74,0	74,0
CTC, mmol _c .dm ⁻³	Y=76+ 0,1X	67**	74,1	83,6	78,1	87,0	87,2
Ca, mmol _c .dm ⁻³	Y=32+0,22X	98**	31	40	47	51	59
Mg, mmol _c .dm ⁻³	Y=12+0,02X	55*	12	13	12	15	14
K, mmol _c .dm ⁻³	Y=4,7-0,02X	84**	4,1	6,1	6,1	7,0	7,2
P, mg.dm ⁻³	Y=25+0,5X	94**	19	44	61	74	79

¹ Soma de bases = Ca + Mg + K + Na.

** e * Significativo a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

TABELA 5. Efeito residual da aplicação do composto de lixo urbano na fertilidade após o cultivo do rabanete.

Variável ¹	Modelo Y=a+bX	R ² x 100	Valores médios observados				
			0t.ha ⁻¹	30t.ha ⁻¹	60t.ha ⁻¹	90t.ha ⁻¹	120t.ha ⁻¹
PH (CaCl ₂)	Y=5,7+0,01X	76**	5,3	6,4	7,0	6,9	7,1
H+Al, mmol _c .dm ⁻³	Y=22-0,12X	73**	26	14	12	10	10
SB ¹ , mmol _c .dm ⁻³	Y=49+0,17X	67**	54,9	47,2	54,5	69,0	69,0
CTC, mmol _c .dm ⁻³	Y=60+0,15X	91**	62,3	61,2	66,5	73,0	78,9
Ca, mmol _c .dm ⁻³	Y=29+0,18X	91**	32	30	39	45	54
Mg, mmol _c .dm ⁻³	Y=13+0,01X	75*	13	13	12	14	14
K, mmol _c .dm ⁻³	N.S.	---	3,9	4,2	3,5	4,1	3,9
P, mg.dm ⁻³	Y=14+1,6X	94**	23	62	102	139	230

¹ Soma de bases = Ca + Mg + K + Na.

** e * Significativo a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste F.

Na Tabela 5 observa-se, ainda, que o fósforo foi o elemento químico que apresentou a maior variação, máxima para o tratamento em que se utilizou somente composto, decrescendo para os tratamentos com doses decrescentes de composto, tendo o mínimo valor no tratamento em que se utilizou somente solo. Como esse estudo foi obtido na condição pós-atividade microbiana, pode-se considerar que o elemento fósforo é mais retido (fixado) pelo solo. Se compararmos os níveis de fósforo disponível nas condições inicial e final, observa-se um incremento estatisticamente significativo nos teores de fósforo na condição final. Esse comportamento pode ser explicado em função da mineralização da matéria orgânica do CL com a liberação desse elemento na forma disponível, e um possível aumento da fração disponível do fósforo fixado existente anteriormente no solo. Em relação ao comportamento do cálcio, observa-se o teor máximo no tratamento com apenas o composto, com uma diminuição, porém não estatisticamente significativa, para os tratamentos com doses crescentes de composto, e o mínimo no tratamento testemunha, que, no entanto, mostrou valores menores que aqueles existentes antes da atividade microbiana. Esse comportamento pode ser justificado pela menor liberação desse elemento na mineralização da matéria orgânica do composto (mais pobre em cálcio) e sua utilização pelos microorganismos. Em relação ao comportamento dos parâmetros capacidade de troca catiônica, soma de bases e porcentagem de saturação em bases, observa-se que o tratamento que apresentou o maior valor e variação estatisticamente significativa foi aquele com composto

de lixo apenas. Os demais tiveram um acréscimo com a utilização de doses crescentes de composto, porém com variações não estatisticamente significativas. Esse comportamento demonstra a contribuição do uso da matéria orgânica no aumento dos níveis desses parâmetros químicos nos substratos.

e) Efeitos do CL no desenvolvimento e produção do rabanete

e.1) Altura e produção de matéria seca das plantas

Os resultados da altura e peso de matéria seca por unidade de planta dos diferentes tratamentos na cultura de rabanete estão apresentados na Tabela 6.

TABELA 6. Análise estatística do fator tratamento sobre a altura (cm) e peso de matéria seca (g) de plantas de rabanete após colheita pelo teste de Tukey, a 1 e 5% de probabilidade.

Tratamento	Médias de parâmetros de produção do rabanete/planta	
	Altura da planta (cm) ¹	Peso de matéria seca (g/planta) ²
T1. 30t de CL/ha	12,7 C	1,18 C
T2. 60t de CL/ha	13,7 C	2,03 C
T3. 90t de CL/ha	17,3 BC	2,47 BC
T4. 120t de CL/ha	20,4 AB	3,13 AB
T5. CL (Testemunha 1)	22,3 A	3,82 A
T6. Solo (Testemunha 2)	13,5 C	1,43 C

Observações: para as médias dos tratamentos T6, T1, T2, T3 e T4, ajustou-se modelos lineares para parâmetros de produção de rabanete em relação a doses de CL.

¹Altura da planta (cm) = 11,84 + 0,0613 . CL (R² = 0,7998**).

²Prod. MS da planta = 1,11 + 0,0156 . CL (R² = 0,8853**).

A Tabela 6 mostra que existe uma variação estatisticamente significativa aos níveis de 5% e 1% de probabilidade entre os tratamentos estudados. Nos tratamentos em que foi utilizado somente composto e naqueles com mistura de composto com solo as plantas tiveram um maior crescimento com uma resposta, em relação à altura, diretamente proporcional às doses de composto. O tratamento em que se utilizou somente solo apresentou o menor valor e aquele somente com composto o maior.

Os valores do peso de matéria seca por unidade de planta apresentaram uma variação estatisticamente significativa aos níveis de 5% e 1% de probabilidade sendo maior, também, para os tratamentos em que se utilizou somente composto de lixo e composto misturado ao solo, seguindo a mesma tendência do comportamento dos dados da altura de plantas. O tratamento em que se utilizou somente solo teve o menor valor e o somente composto o maior. As doses de 60 e 90t/ha, tiveram um acréscimo percentual em peso de matéria seca superior a 100%, evidenciando a importância do uso do composto de lixo na melhoria das condições de fertilidade do solo.

e.2) Peso de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular

Os dados referentes a peso de matéria seca da parte aérea, peso do sistema radicular e da razão peso seco da parte aérea/peso seco do sistema radicular, por unidade de planta, mostraram comportamento semelhante aos da altura de plantas e peso seco de plantas, conforme pode ser observado na Fig. 5. Tal comportamento era esperado, tendo em vista que são variáveis dependentes. Esses resultados vem confirmar as observações de que a utilização somente de composto e a mistura de solo com o composto de lixo é mais eficiente na melhoria do estado nutricional dos substratos do que a utilização somente de solo. Apesar dos tratamentos T4 e T5 apresentarem os maiores valores para produção de matéria seca, tanto da parte aérea como do sistema radicular, o tratamento que apresentou maior razão parte aérea/sistema radicular foi o T3. Tal comportamento não encontra justificativa na teoria, podendo ser explicado por prováveis ocorrências de erros metodológicos na coleta dos dados. A resposta em produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), sistema radicular (MSR) e da razão entre eles, encontra-se nos seguintes modelos ajustados:

- a) $Y - \text{MSPA/MSR} = 5,57 + 0,040 \cdot \text{CL}(\text{t/ha}) - 0,0002 \cdot \text{CL}^2$ ($R^2 = 0,9055^{**}$)
- b) $Y - \text{MSPA} = 0,66 + 0,010 \cdot \text{CL}(\text{t/ha})$ ($R^2 = 0,9887^{**}$)
- c) $Y - \text{MSR} = 0,41 + 0,006 \cdot \text{CL}(\text{t/ha})$ ($R^2 = 0,9081^{**}$)

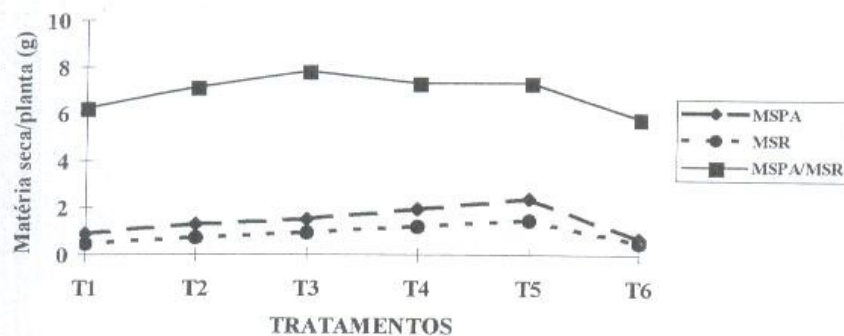


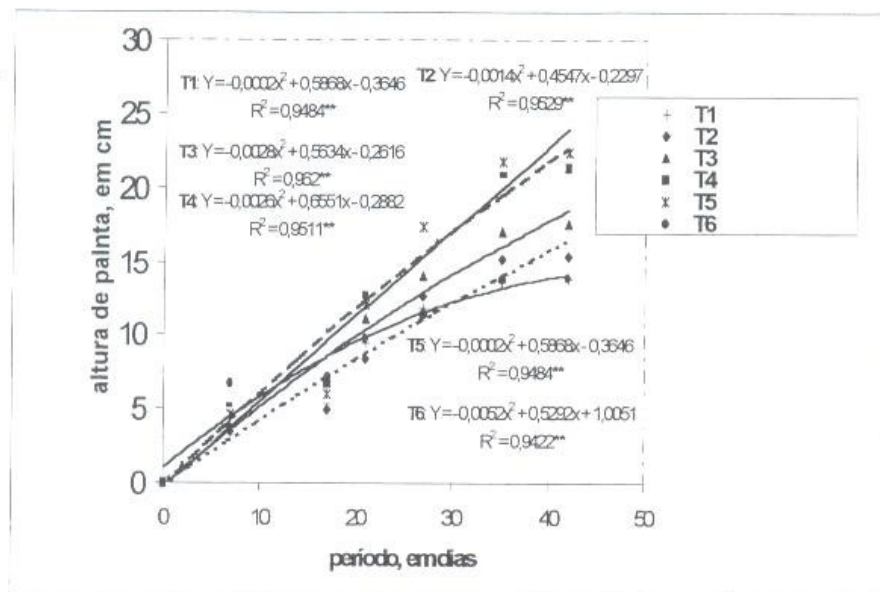
FIG. 5. Efeitos dos tratamentos na variação do peso de matéria seca da parte aérea (MSPA), do sistema radicular (MSR) e da relação parte aérea/sistema radicular (MSPA/MSR) por planta na cultura de rabanete.

e.3.) Desenvolvimento da cultura

O desenvolvimento da cultura de rabanete no período de cultivo pode ser avaliado pela variação da altura das plantas. Na Fig. 6 estão relacionadas as variações da altura de plantas por unidade, em função do período de desenvolvimento vegetativo, para os diferentes tratamentos.

Observa-se que os melhores resultados foram obtidos para os tratamentos T5 e T4, que correspondem ao uso somente de composto e ao uso de 120t/ha. Os tratamentos com doses de 60 e 90t/ha correspondem aos valores intermediários. A testemunha, em que se utilizou somente solo, e o tratamento com a menor dose de composto (30t/ha), produziram os menores valores.

Tais resultados estão de acordo com as observações dos outros parâmetros avaliados e confirmam que a cultura analisada não foi prejudicada pela adição do CL, pois o mesmo foi aplicado ao solo devidamente curado, conforme comprovado pelo método de evolução de CO₂. Não foram encontrados valores limites para a recomendação do uso do composto de lixo em termos de produtividade. A aplicação anual do composto de lixo poderá ser calculado com base no N disponível existente no material (Melo et al., 1997), pois somente de 10 a 15% do N total do composto torna-se disponível no primeiro ano de cultivo (De Haan, 1981). Em médio prazo, a limitação do uso agrícola de CL está relacionada aos seus níveis de metais pesados, que tem uma questão de método de avaliação de disponibilidade para as plantas será discutido em um próximo artigo.



T1 = 30t de CL/ha; T2 = 60t de CL/ha; T3 = 90t de CL/ha; T4 = 120t de CL/ha; T5 = CL (testemunha 1); T6 = solo LV (testemunha 2).

FIG. 6. Influência dos diferentes tratamentos na curva de crescimento em altura de plantas no período de cultivo do rabanete.

4. Conclusões

1. Recomenda-se o uso da evolução do CO_2 como método de acompanhamento do processo de compostagem. Observou-se que um intervalo de 60 a 90 dias de fermentação para o CL foi suficiente para atingir o fim da bioestabilização, podendo seu produto ser utilizado, a partir daí, como fertilizante orgânico, principalmente para culturas olerícolas. O CL melhorou a fertilidade do solo, agindo ao mesmo tempo como corretivo parcial da acidez e fonte de nutrientes, principalmente de Ca e P, além de aumentar a CTC do complexo coloidal do solo. Tais efeitos, propiciaram um aumento proporcional de altura e acúmulo de biomassa pelo rabanete, tendo o seu maior efeito com o uso de CL sem solo, o que comprovou a plena maturidade do composto.
2. Observou-se que, misturando o CL com solo, ocorreu aceleração no processo de bioestabilização. Esse fato é devido, possivelmente, ao aumento da população microbiana condicionada pelo solo.

3. Sugere-se, como complementação a este trabalho, um estudo da bioestabilização do CL quando aplicado diretamente ao solo, além de uma investigação a respeito dos microorganismos envolvidos no processo de fermentação que proporcionam a bioestabilização e, ainda, um estudo sobre a disponibilidade dos elementos pesados para as plantas.

5. Referências bibliográficas

- BERTON, R. S. *Utilização agrícola do composto do lixo urbano: Relatório Final*. São Paulo: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento Econômico, 1995. 76p.
- BERTON, R.S.; VALADARES, J.M.A.S. Potencial agrícola do composto de lixo urbano no Estado de São Paulo. *O Agrônomo*, Campinas, v.43, n.2/3, p.87-93, 1991.
- CARDOSO, E.J.B.N.; JAHNEL, M.C.; MELLONI, R. Avaliação da maturação do composto de lixo urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa. *Anais*. Viçosa: UFV/SBCS, 1995. v. 4, p.2297.
- CRAVO, M.S. *Composto de lixo urbano como fonte de nutrientes e metais pesados para alfaca*. Piracicaba, 1995b. 135p. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas) – Escola de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DE HAAN, S. Results of municipal wast compost research over more than fifty years at the Institute for Soil fertility at Haren Groningen, The Netherlands. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, v.29, p.49-61, 1981.
- EGREJA FILHO, F.B. *Avaliação da ocorrência de distribuição química de metais pesados na compostagem de lixo domiciliar urbano*. Viçosa, 1993. 176p. Tese (Mestrado em Solos) - UFV/MG.
- ERNANI, P.R. *Utilização de materiais orgânicos e adubos minerais na fertilização do solo*. 1981. 82p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Faculdade de Agronomia, UFRGS, Porto Alegre.
- ESTADOS UNIDOS. United States of Agency Protection Environment. - EPA. Standad for the Use or Disposal of Sewage Sludge. *Federal Register*, Washington, v.58, n.32, p.9248-9415, February 1993.
- FORTES NETO, P.; FORTES, N.L.P.; SELBACH, P.A. Ação da temperatura, bactérias e fungos no controle de microorganismos patogênicos durante a compostagem de lixo urbano domiciliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1977, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro: SBCS, 1977. p.475.
- GOLUEKE, C.G. *Composting: a study of the process and its principles*. [S.l.]: Rodale, 1976.
- GOLUEKE, C.G.; CARD, B. J. E.; MACGAVHEY, P.H. Evaluation of inoculums in composting. *Applied Microbiology*, v.2, n.1, p.45-33, 1954.

GROSSI, M.G.L. *Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileira de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas*. 1993. 222p. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo.

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

KIRITA, H. ; HOMUZI, K. Re-examination of the absorption method for measuring soil respiration under field conditions. *Physiology Ecology*, v.14, p.23-31, 1966.

LOSSIN, R.D. Compost studies. Disposing of animal wastes. Measurement of Chemical Oxygen Demand of compost. *Compost Science*, v.12, n.2, p.31-32, 1971.

LUNDEGARDH, H. Ecological studies in the assimilation of certain forest plants and shores plants. *The Botanical Review*, v.43, n.4, p.449-529, 1921.

MELLO, W.J.; SILVA, F.C.; MARQUES, M.O.; BOARETTO, A.E. Critérios para o uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. Viçosa: SBCS-UFU, 1997. (CD-ROM).

MINA, V.N. Comparison of methods for determining the intensity of soil respiration. *Society of Soil Science*, v.10, p.1188-1192, 1962.

RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J.A. *Métodos de análises de solos para fins de fertilidade*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (IAC. Boletim Técnico, 81).

RAIJ, B. van; SILVA, N.M. da; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI, JR. R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. *Recomendações de adubação para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1985. 107p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

SATRIANA, M.J. *Large scale composting*. Park Ridge, N.J.: Noyes Data, 1974. 305p.



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura
Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Av. Dr. André Tosello s/nº. - Cidade Universitária "Zeferino Vaz"

Barão Geraldo - Caixa Postal 6041

13083-970 - Campinas, SP

Telefone (19) 3289-9800 - Fax (19) 3289-9495

sac@cnptia.embrapa.br

<http://www.cnptia.embrapa.br>

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA
E DO ABASTECIMENTO**

**GOVERNO
FEDERAL**
Trabalhando em todo o Brasil