

Parâmetros de maturação para diferentes compostos orgânicos

Maturation parameters for organic composts different

SILVA, Francisca Alcivania de Melo¹; VILLAS BOAS, Roberto Lyra²; SILVA, Reginaldo Barboza da³.

¹ Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus Experimental de Registro, Registro/SP, Brasil, alcivania@registro.unesp.br; ² Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo – FCA-UNESP – Botucatu/ SP, Brasil, rlvboas@fca.unesp.br; ³ Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus Experimental de Registro, Registro/SP, Brasil.

RESUMO

Os objetivos desse estudo foram avaliar parâmetros químicos como preditivos da maturação e qualidade de compostos orgânicos de composição distinta. Foram montadas 4 pilhas de compostagem com resíduos do processo de industrialização de plantas medicinais e esterco bovino, misturando os materiais em proporções que equilibrassem a relação C/N em 30/1. Para determinação de parâmetros de maturação (pH, condutividade elétrica, teores de amônio e nitrato, índice de polimerização, carbono total, nitrogênio total e relação C/N) foram feitas amostragens aos 0, 30, 60, 90 e 120 dias de compostagem. Aos 90 dias de compostagem, todos os materiais já apresentavam os requisitos mínimos exigidos pela legislação para compostos de qualidade. Os compostos produzidos a partir de diferentes materiais apresentaram características distintas no final do processo. Dos parâmetros avaliados para predição do grau de maturação de compostos orgânicos, a relação C/N e os teores de nitrato e amônio foram considerados os mais preditivos de todas as fases da compostagem.

PALAVRAS-CHAVE: compostagem, maturação, matéria orgânica, resíduos.

ABSTRACT

The objectives of this study had been to evaluate chemical parameters as preditivos of the maturation and quality of organic composites of distinct composition. Four stacks of composting with residues of the process of industrialization of medicinal plants and straw had been mounted bovine, mixing the materials in ratios that balanced relation C/N in 30/1. For determination of maturation parameters (pH, electric conductivity, ammonium texts and nitrate, polymerization index, total carbon, total nitrogen and C/N ratio) samplings to the 0 had been made, 30, 60, 90 and 120 days of composting. To the 90 days of composting, all the materials already presented the minimum requirements demanded by the legislation for quality composts. The composts produced from different materials had presented distinct characteristics in the end of the process. Of the parameters evaluated for prediction of the degree of organic compost maturation, relation C/N and texts of nitrate and ammonium had been considered the with predictives of all phases of the composting.

KEY WORDS: .composting, maturation, organic matter, residues.

Correspondências para: alcivania@registro.unesp.br
Aceito para publicação em 30/12/2008

Introdução

O aproveitamento de resíduos, considerado como um processo de recuperação e reciclagem, é apresentado como fator fundamental para a diminuição dos efeitos da atividade humana no ambiente. Uma alternativa viável para o aproveitamento racional de resíduos é a compostagem, um método antigo de reciclagem, durante o qual a matéria orgânica é transformada em material humificado. Além de ser uma solução para problemas dos resíduos sólidos, o processo de compostagem proporciona o retorno de matéria orgânica e nutrientes ao solo.

A compostagem é resultado da decomposição biológica aeróbia do substrato orgânico, sob condições que permitam o desenvolvimento natural de altas temperaturas, com formação de um produto suficientemente estável para armazenamento e aplicação ao solo, sem efeitos ambientais indesejáveis (HAUG, 1980; KIEHL, 1985). A legislação brasileira (KIEHL, 2002) exige que um fertilizante composto deve apresentar as seguintes garantias mínimas para ser comercializado: matéria orgânica total (mínimo de 40%), nitrogênio total (mínimo de 1%), umidade (máximo de 40%), relação C/N (máximo de 18/1) e índice pH (mínimo de 6,0).

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

Na literatura são encontrados frequentemente dois termos: "estabilidade" e "maturação", os quais são comumente confundidos. Estabilidade representa uma fase durante a decomposição da matéria orgânica e é função da atividade biológica do material. Por outro lado, a maturação na compostagem pode ser definida como o grau no qual o produto final está livre de substâncias fitotóxicas que podem retardar ou reduzir a

germinação de sementes ou causar danos às plantas ou organismos presentes no solo (BREWER & SULLIVAN, 2001). A avaliação da maturidade de compostos orgânicos tem sido reconhecida como um dos mais importantes problemas relacionados ao processo de compostagem e utilização agrícola segura do produto final. Um desafio tem sido a utilização de métodos precisos para avaliar a maturidade desses compostos (GARCIA *et al.*, 1991).

Na literatura brasileira, são encontradas referências relacionadas à aplicação dos compostos e seu efeito em solo planta, sendo observada, no entanto, uma escassez de trabalhos que abordem a definição de parâmetros de maturação simples e seguros, o que melhoraria a eficiência do processo de compostagem, resultando na produção de compostos com maior qualidade quanto ao fornecimento de nutrientes e como condicionadores de solo. Nesse contexto, os objetivos desse trabalho foram avaliar, através de parâmetros físicos e químicos, a maturação e qualidade de compostos orgânicos produzidos com resíduos do processo de industrialização de plantas medicinais.

Material e Métodos

A compostagem foi desenvolvida no Pátio de Compostagem (instalação coberta) do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônômicas "Campus" UNESP-Botucatu-SP no período de 06 de setembro de 2003 a 06 de janeiro de 2004. A localização da área dos experimentos se dá aos 22°51' de latitude Sul, 48°27' de longitude Oeste e altitude média de 786 m. Segundo classificação de Koppen, o clima do município de Botucatu é considerado como sendo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão, seca no inverno e a temperatura média mais quente superior a 22°C (CUNHA *et al.*, 1999).

Para obtenção dos compostos orgânicos,

Parâmetros de maturação para

foram utilizados resíduos da industrialização (extração do princípio ativo) de plantas medicinais fornecidos pela Centroflora - Anidro do Brasil, e esterco de bovino gerado no confinamento dos novilhos precoces da Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP de Botucatu-SP.

Foram utilizados resíduos do processo de industrialização das seguintes plantas: 1. Unha-de-gato (*Uncaria tomentosa*); 2. Cáscara Sagrada (*Rhamnus Purshianus*) e 3. Ipê roxo (*Tabebuia impetiginosa*).

A caracterização dos materiais utilizados é apresentada na Tabela 1.

pontos e duas profundidades (superfície e meio da pilha). Semanalmente foram coletadas amostras para determinação da umidade, sendo esta determinada em laboratório de acordo com Kiehl (1985). Aos 8, 22, 33, 45 e 60 dias, as pilhas foram reviradas para proporcionar aeração à mistura e repor a umidade perdida..

Avaliações

Aos 0, 30, 60, 90 e 120 dias do início do processo de compostagem foram coletadas em cada pilha, 4 amostras (4 repetições) para testes químicos dos seguintes parâmetros:

Tabela 1: Caracterização dos materiais utilizados para compostagem.

	Esterco	Unha de Gato	Cáscara Sagrada	Ipê Roxo
pH	4,9	5,2	5,4	5,1
CE (dSm.m ⁻¹)	6,5	2,6	2,8	2,1
Umidade (%)	50,0	10,0	40,0	12,0
Relação C/N	13/1	154/1	42/1	56/1
Holocelulose (%)	-	35,3	52,2	28,0
Lignina (%)	-	55,8	37,9	53,1
g kg ⁻¹				
N (total) ¹	23,5	3,9	11,9	9,2
Mat. Orgânica (total) ¹	532,4	940,0	900,0	930,0
Carbono (total) ¹	295,8	522,2	500,0	516,7

¹ Determinação de acordo Lantary (1988)

As pilhas de compostagem foram montadas com aproximadamente 1 m³ de volume, em forma trapezoidal. Para a construção de cada pilha, foi adicionado esterco bovino e resíduos das plantas na proporção que equilibrasse a relação C/N em 30:1, considerada adequada para o bom desempenho do processo de compostagem (KIEHL, 2002). Os materiais foram misturados com uma betoneira.

Combinações das pilhas de compostagem (Tratamentos): a) Pilha 1. Resíduos de unha de gato + esterco bovino; b) Pilha 2. Resíduos de cascara sagrada + esterco bovino; c) Pilha 3. resíduos de ipê roxo + esterco bovino; d) Pilha 4 . Todos os anteriores + esterco bovino.

A partir da montagem das pilhas, a temperatura foi medida 2 vezes por dia em quatro

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

2. Determinações de nitrogênio, amônio, nitrato, substâncias húmicas e carbono orgânico total, realizadas no Departamento de Edafologia da Universidade Politécnica de Madrid - Espanha. Sendo: Amônio (extraído com 2 M de KCl) e Nitrato (extraído em água), quantificados através de um ionômetro de eletrodos seletivos marca Orion modelo 920 (KEENEY & NELSON, 1982); Substâncias húmicas (carbono nos ácidos húmicos (C-AH) e ácidos fúlvicos (C-AF) : extraídas de acordo com Dabin (1971). A partir da quantificação do carbono dos ácidos húmicos (C-AH) e fúlvicos (C-AF), foi calculado o índice de polimerização (IP) através da expressão:

IP = C- AH/C-AF.

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

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com 4 repetições.

Os resultados foram submetidos à análise estatística, e teste de médias (Tukey, $P > 0,05$) de acordo com Gomes (2000) e análises de correlação, utilizando o software "SISVAR", versão 4.2.

Resultados e Discussão

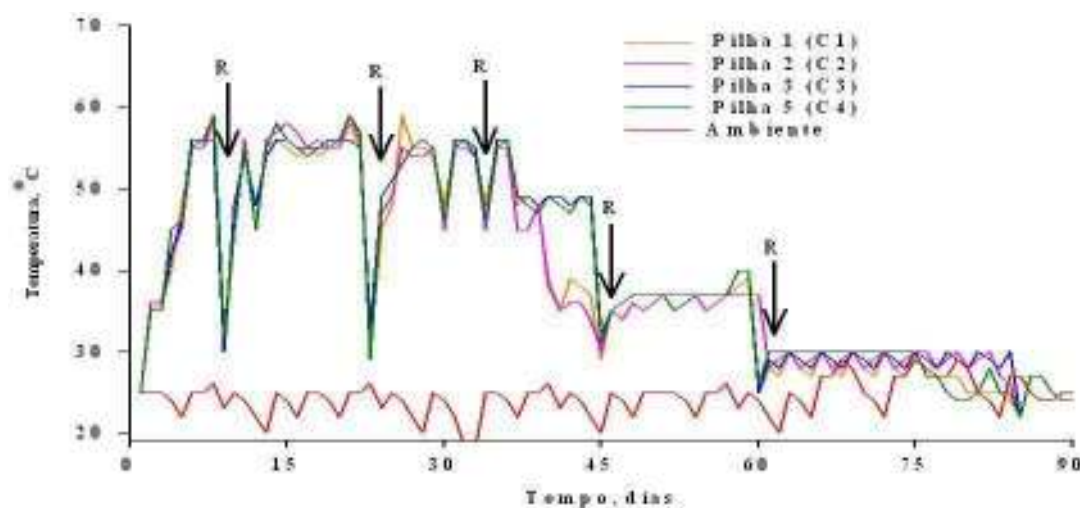
Temperatura

Os dados apresentados na figura 1 referem-se à variação de temperatura medida diariamente durante os primeiros 90 dias de compostagem, observando-se estabilização da temperatura.

quando a temperatura começou a cair, voltando à fase mesófila. Isto indica que o composto estava na fase de semicura ou estabilização. Comportamento semelhante foi observado por Cezar (2005), durante a compostagem de esterco de bovinos + serragem de madeira.

A pilha 4 apresentou os maiores valores de temperatura (em torno de 60°C) durante a fase termófila. Tal fenômeno pode ser atribuído à composição dos materiais usados nas pilhas, ou seja, sendo esta pilha composta por uma diversidade maior de materiais, houve influência positiva no desenvolvimento dos microrganismos e, conseqüentemente na temperatura, que é função direta da atividade biológica dos materiais. Segundo Kiehl (2002), temperaturas prolongadas acima de 70°C reduzem a atividade

Figura 1: Temperatura para as cinco pilhas de compostagem medida durante 90 dias.



Verificou-se, para todas as pilhas, que a temperatura aumentou rapidamente nos primeiros dias, indicando que o processo de compostagem estava se desenvolvendo adequadamente, sendo que já na primeira semana todos os materiais alcançaram temperaturas entre 50 e 60°C (ideais para o início da fase de estabilização e cura) e esses índices foram mantidos até os 40 dias,

benéfica dos microrganismos e aumentam a possibilidade de perdas de N por volatilização da amônia.

As variações bruscas de temperatura no composto ocorreram apenas quando as leiras foram reviradas para homogeneizar o material e permitir aeração da mistura.

De modo geral observou-se que, durante o

Parâmetros de maturação para

processo, a evolução da temperatura seguiu o padrão de comportamento esperado em um processo de compostagem bem conduzido.

Carbono total, nitrogênio total e relação C/N

Na Tabela 2 podem ser observados os dados referentes às médias dos valores de carbono total, matéria orgânica e relação C/N. Os valores de C total e matéria orgânica refletem a grande proporção de material decomposto durante a compostagem, o que pode ser verificado pelas reduções significativas nos primeiros 30 dias para os compostos C2, C3 e C4. A exceção foi o C1, que apresentou a menor proporção de redução no carbono e na matéria orgânica até os 30 dias. Tal fato pode ser explicado pela observação da Tabela 1 (caracterização dos materiais), onde se verifica que a unha de gato é o componente que tem maior percentagem de lignina entre os demais. Sabe-se que materiais ricos em lignina tendem a apresentar decomposição mais lenta que aqueles com menor concentração desse componente.

As diferenças significativas ($P>0,05$) observadas entre os compostos avaliados nas diferentes fases de amostragem sugerem que a composição dos materiais que constituem uma mistura tem influência marcante na evolução do processo de compostagem. Todos os compostos apresentaram, no final do processo, valores de matéria orgânica igual ou acima de 40%, recomendados como mínimos para comercialização de acordo com a legislação brasileira.

Verificou-se que a relação C/N decresceu durante a chamada fase biooxidativa (fase de maior atividade microbiana), resultando na decomposição da matéria orgânica. Não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre os compostos nos tempos 0 e 30 dias. Aos 60 dias, o C4 apresentava a maior relação C/N entre os demais, fato que se seguiu até o final do processo, que pode ser explicado pela diversidade de materiais na composição dessa pilha. Rivera-Rosário (2003) afirma que o tipo e a composição do material compostado influenciam

Tabela 2: Evolução do Carbono total, Matéria orgânica e relação C/N para 4 compostos ao longo de 120 dias.

Trat	Tempo (dias)				
	0	30	60	90	120
	----- C (g kg ⁻¹) -----				
C1*	420 a	400 a	185 c	223 c	222 b
C2*	419 a	304 c	255 b	239 b	224 b
C3*	409 b	256 d	225 b	249 b	226 b
C4*	438 a	362 b	456 a	321 a	287 a
	----- MO (g kg ⁻¹) -----				
C1	756 b	721 a	333 d	401 c	400 b
C2	755 b	548 b	459 b	430 b	403 b
C3	736 b	480 c	405 c	449 b	406 b
C4	788 a	652 b	820 a	579 a	517 a
	-----Relação C/N-----				
C1	32/1 a	20/1 a	14/1 b	13/1 a	12/1 a
C2	33/1 a	20/1 a	13/1 c	13/1 a	11/1 a
C3	32/1 a	20/1 a	11/1 c	9/1 b	9/1 b
C4	30/1 a	23/1 a	23/1 a	15/1 a	13/1 a

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

*C1- Composto produzido a partir de esterco + resíduos de unha de gato;

C2- Composto produzido a partir de esterco + resíduos de casca sagrada;

C3- Composto produzido a partir de esterco + ipê roxo;

C4- Composto produzido a partir de esterco + mistura de resíduos de unha de gato, casca sagrada, ipê roxo e boldo, respectivamente.

na relação C/N do produto final, podendo mostrar variações de 5:1 a 20:1. Contrariando os autores acima citados, Chanyasak e Kubota (1981) realizaram estudos sobre as mudanças na relação C/N de diferentes resíduos e estes revelaram que a relação C/N de vários compostos maduros mostraram valores constantes entre 5 e 6, sem importar o tipo de material que se utiliza na compostagem.

A relação C/N tem sido usada como parâmetro de maturação por vários autores (KIEHL, 1985; RIVERA-ROSARIO, 2003; BENITO *et al.* 2003; LOUREIRO *et al.*, 2007). É consenso entre esses autores que quando a relação C/N está em torno de 18/1, o composto atingiu a fase de semi-cura ou bioestabilização e a relação C/N em torno de 10/1 configura um composto humificado. De acordo com essa classificação, os compostos avaliados podem ser considerados humificados.

pH e condutividade elétrica

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

As mudanças durante a compostagem podem ser observadas na tabela 3, onde está representado um comportamento típico, havendo

uma ligeira acidificação no início, seguida de uma elevação no pH, atingindo valores próximos da alcalinidade ao final do processo. Tal variação também foi verificada por outros autores, que avaliaram materiais orgânicos (JIMENEZ E GARCIA, 1989, RIVERA- ROSARIO, 2002).

Na Tabela 3 pode-se verificar, através das diferenças significativas ($P>0,05$) entre os valores de pH para as pilhas em cada um dos tempos avaliados, que a composição e as características do material compostado, bem como o pH inicial da mistura têm influência no desenvolvimento do processo de compostagem.

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

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

Tabela 3 :Valores médios de pH e condutividade elétrica para as 4 pilhas de compostagem ao longo de 120 dias.

Trat	Tempo (dias)				
	0	30	60	90	120
	pH				
C1	7,1 ab	6,5 c	6,6 b	6,7 b	7,1 b
C2	7,3 a	6,9 b	7,1 a	5,9 c	7,5 a
C3	6,9 b	6,6 bc	6,7 b	7,2 a	7,8 a
C4	7,2 ab	7,5 a	6,6 b	7,5 a	7,5 a
	CE d S m ⁻¹				
C1	8,48 a	7,24 b	8,59 a	6,38 ab	6,51 a
C2	7,38 b	9,80 a	6,45 b	6,14 ab	6,55 a
C3	7,84 bc	6,34 c	6,37 b	6,91 a	6,57 a
C4	6,54 c	5,57 c	5,69 b	5,85 b	6,92 a

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

Parâmetros de maturação para

para outro pode ser um fator limitante para o uso desse parâmetro.

Para o composto C1, foram verificados aumentos dos valores de condutividade elétrica aos 60 dias (Tabela 3). Tal comportamento é contrário ao que preconizam relatos encontrados na literatura sobre o tema, onde os valores tendem a decrescer ao longo do tempo. Kiehl (2002) alerta que a condutividade deve diminuir com a compostagem, estabilizando em um valor próximo a 50% da leitura inicial.

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

Os testes de médias mostrados na Tabela 3 evidenciaram que houve diferença significativa na CE medida nas diferentes fases da compostagem. De 0 a 90 dias, as amostras apresentaram valores de CE bastante variáveis, sendo que aos 120 dias não foi verificada diferença significativa entre os valores de CE medidos nos compostos C1, C2, C3 e C4. Esses resultados evidenciam uma tendência de estabilização de valores ao final do processo, independente do material utilizado na composição das pilhas.

Os elevados valores de CE foram diferentes dos relatados na literatura. De acordo com Craul e Switzenbaun (1996) e Garcia *et al.* (1992), a salinidade de um composto orgânico não deve exceder a 4,0 mohms cm⁻¹ (ou dS m⁻¹) ou 2560 ppm de sais, sob pena de causar perdas de produção. No presente trabalho, para os compostos avaliados, a CE apresentou valores elevados, variando entre 6,92 e 8,49 dSm⁻¹. Esses resultados, contrariando conceitos postulados na literatura, podem ser explicados através da verificação da Tabela 1 (caracterização dos materiais utilizados na composição das pilhas). Os valores de CE do esterco bovino

(usado como fonte de N) são altos (6,5 dSm⁻¹) e foram responsáveis pelos altos valores de CE já no início do processo.

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

Nitrogênio Total, Amônio e Nitrato

Na Tabela 4 estão apresentados os valores referentes às concentrações de N total, nitrato e amônio no decorrer dos 120 dias avaliados. No início do processo não houve diferença significativa entre os valores de N total para os quatro compostos, mas aos 30 dias, houve aumentos nos teores desse elemento, sobressaindo-se o C1. Ao longo do tempo, foram observadas diferenças significativas entre os compostos avaliados. Ao final, houve aumento nas concentrações para todos os compostos, o que está de acordo com Kiehl (2002), que comparando o teor de nitrogênio total encontrado em um substrato a ser compostado como o conteúdo no final do processo, verificou que o valor é sempre maior no final. Acredita-se que o nitrogênio fixado na estrutura dos microorganismos também possa contribuir nesse aumento.

Observou-se um decréscimo das concentrações de NH₄⁺ ao longo dos 120 dias de compostagem, comportamento contrário ao das concentrações de NO₃⁻. PARÉ *et al.* (1997), afirmam que o comportamento inverso desses dois parâmetros sugere que um intensivo processo de decomposição biológica foi completado e o composto alcançou um estado de maturidade. Sánchez-Monedero *et al.* (2001), avaliando mudanças nos teores de nitrato e amônio na compostagem de misturas de materiais como lodo de esgoto, palhada de sorgo e casca de pinus em diferentes proporções, encontraram valores decrescentes de NH₄⁺

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

O composto C2 apresentou as maiores concentrações de NH_4^+ (Tabela 4) no início da compostagem e as diferenças significativas são explicadas pela constituição dos materiais que entraram na composição das pilhas (Tabela 1). Para os Compostos C1 e C2, as concentrações de NH_4^+ apresentaram redução de cerca de 50 % já aos 30 dias. A exceção foi o C3, onde as concentrações aumentaram aos 30 dias, mas decresceram drasticamente aos 60 dias,

o que está de acordo com o proposto por Kiehl (2002). O autor afirma que os resíduos orgânicos têm quase todo o seu nitrogênio na forma orgânica e, no decurso da compostagem, o nitrogênio orgânico da matéria orgânica se transforma em nitrogênio amoniacal que, em seguida, passa para a forma nítrica.

Observando os valores de NO_3^- , nota-se que há diferenças significativas entre os compostos nos diferentes tempos de amostragem. Tal fato permite inferir que a composição dos materiais

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

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

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

estabilizando ao longo do tempo. Segundo Sanchez-Monedero *et al.* (2001), o aumento das concentrações de NH_4^+ nos primeiros 30 dias de compostagem indica que houve uma rápida mineralização do N orgânico, resultando na produção de amônio. Zucconi e De Bertoldi (1987) assumem como limite para compostos imaturos valores acima de 400 mg kg⁻¹ de NH_4^+ .

Os valores mais baixos de NH_4^+ , observados aos 120 dias no C4, associados aos altos valores de NO_3^- no mesmo período, sugerem que para esta mistura o processo de nitrificação foi intenso,

usados nas misturas influencia diretamente os processos que levam a produção de nitrato na compostagem. Os valores encontrados ora assemelham-se, ora distinguem-se dos encontrados na literatura, o que pode ser explicado pela diversidade de materiais usados nos estudos. Wang *et al.* (2004) testando índices de maturação para compostos elaborados a base de esterco bovino puro, esterco de bovinos + serragem de madeira e esterco de suínos + cascas de árvores, observaram teores de amônio decrescentes (238 para 116 mg kg⁻¹, 1980 para

Parâmetros de maturação para

a 89 mg kg⁻¹ e 8510 para 96 mg kg⁻¹, respectivamente) ao longo de 112 dias. Foi observado comportamento inverso para os teores de nitrato, onde os valores aumentaram ao longo do tempo para os dois primeiros materiais (1,0 para 128 mg kg⁻¹ e 1,0 para 90,6 mg kg⁻¹). De modo geral, observa-se através dos dados encontrados nesse estudo, bem como dos vários trabalhos consultados, que os valores das concentrações de nitrato e amônio dependem do tipo de material utilizado, sendo que é consenso que o mais importante a ser observado é a tendência de comportamento inverso para os dois parâmetros.

Índice de polimerização

O fracionamento de matéria orgânica foi utilizado neste estudo para avaliar materiais compostados por analogia com a caracterização que se faz com a matéria orgânica nos solos.

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

Pesquisas têm demonstrado que a fração C-AH e o IP geralmente aumentam durante a compostagem, evidenciando a humificação da

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

Tabela 5: Índice de polimerização (IP) para 4 materiais compostados ao longo de 120 dias.

TRAT	Tempo (Dias)				
	0	30	60	90	120
	IP				
C1	0,9 a	1,6 a	0,7 c	1,3 b	1,6 b
C2	0,9 a	1,4 a	1,0 b	2,1 a	2,0 b
C3	0,9 a	1,0 b	1,4 b	1,4 b	4,0 a
C4	0,9 a	1,0 b	1,8 a	0,6 c	4,0 a

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

De acordo com Jodice (1989), o índice de polimerização (IP), ou humificação, expresso pela relação IP= C-AH/C-AF para composto bem humificados, deve apresentar valores maiores que 1,5 (JODICE,1989). Nesse estudo, os compostos orgânicos C1, C2 e C3 apresentaram valores de IP condizentes com os de compostos humificados a partir dos 90 dias, sendo que, somente aos 120 dias, todos os compostos avaliados apresentaram valores maiores que 1,5.

Correlações entre parâmetros químicos

Os coeficientes de correlação entre os parâmetros químicos analisados são mostrados na Tabela 6.

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

Para os compostos C1, C2, C3 e C4, as

correlações maiores e significativas ocorreram entre relação C/N x NH₄⁺, NO₃⁻. Quando se comparam os valores de correlação C/N e NH₄⁺, NO₃⁻, infere-se que concomitantemente à decomposição do carbono, há um processo intenso de nitrificação, ocasionado redução nos teores de NH₄⁺ e aumentos nos teores de NO₃⁻. Namkoong *et al.*, (1999) também encontraram correlações significativas e positivas entre relação C/N e concentrações de NH₄⁺.

Tabela 6. Matriz de correlação entre parâmetros de maturação para quatro compostos orgânicos.

C1						
	pH	CE	C/N	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	IP
pH		0,055	0,089	0,341	0,148	-0,147
CE			0,577	0,641	0,711*	0,888*
C/N				0,980**	-0,925*	-0,207
NH ₄ ⁺					-0,846*	-0,338
NO ₃ ⁻						0,331
C2						
	pH	CE	C/N	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	IP
pH		0,089	0,396	0,200	-0,355	0,080
CE			0,484	0,295	-0,588	-0,434
C/N				0,938*	-0,924*	-0,571
NH ₄ ⁺					-0,791*	0,681*
NO ₃ ⁻						0,272
C3						
	pH	CE	C/N	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	IP
pH		0,033	0,406	0,589	0,585	0,771*
CE			0,716*	0,241	0,528	0,802
C/N				0,603*	0,898*	-0,560*
NH ₄ ⁺					-0,930*	-0,432
NO ₃ ⁻						0,638*
C4						
	pH	CE	C/N	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	IP
pH		0,550	0,461	0,588	0,774*	0,387
CE			0,163	0,316	0,055	0,523
C/N				0,976**	-0,597	-0,519
NH ₄ ⁺					-0,828*	-0,541
NO ₃ ⁻						0,634*

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

As altas correlações entre os valores de NH₄⁺ e NO₃⁻ refletem o processo de transformação pelo qual passa o nitrogênio durante o processo de compostagem. Francou *et al.* (2005) correlacionando parâmetros de maturação entre diferentes compostos orgânicos não encontraram correlações significativas entre relação C/N e nenhum dos parâmetros avaliados (pH, CE, IP). No trabalho de Inbar *et al.* (1990), a relação C/N não foi bem correlacionada com nenhum outro parâmetro, o que segundo este autor tornaria difícil estimar o tempo preciso ou

ideal que assegure a estabilidade ou maturação de um composto.

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

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

Conclusões

Aos 90 dias de compostagem, todos os materiais já apresentavam os requisitos mínimos exigidos pela legislação para compostos de qualidade.

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

Dos parâmetros avaliados para predição do grau de maturação de compostos orgânicos, a relação C/N e os teores de nitrato e amônio foram considerados os mais preditivos de todas as fases da compostagem.

Notas

Parte integrante da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP de Botucatu -SP

Referências Bibliográficas

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

Parâmetros de maturação para

- BENITO, M.; MASAGUER, A. ; MOLINER, A.; ARRIGO, N.; PALMA., R.M. Chemical and microbiological parameters for the characterisation of the stability and maturity of pruning waste compost. **Biol. Fertil. Soils**, v.37, p.184-189, 2003.
- Bernal. M.P., C. Paredes, M.A. Sanchez-Monedero and J. Cegarra. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. **Bioresource Technology**, 63: 91-99, 1998.
- BREWER, L.; SULLIVAN, A.M. A Quick look at quick compost stability tests. **Biocycle**, v.42, p.53-55, 2001.
- CEZAR, V. R. S. **Efeito do processo de compostagem sobre a solubilização e a eficiência agrônômica de diferentes fontes de fósforo**. Universidade Estadual Paulista-Unesp-Botucatu, 66p. 2005.
- Chefetz, B.; Chen, Y.; Hadar, Y. Water-extractable components released during composting of municipal solid waste. **Acta Hort.** (ISHS) 469:111-118,1998.
- Chen, L., W. A. Dick, J. G. Streeter, and H. A. J. Hoitink. Ryegrass utilization of nutrients released from composted biosolids. **Compost Science & Utilization**. 4:73-83, 1996.
- CRAUL, P.J.; SWITZABAUM, M.S. Developing biosolids compost specifications. **Biocycle**, v.37, p.44-47, 1996.
- CUNHA, A.R., KLOSOWSKI, E.S., GALVANI, E., SCOBEDO, J.F., MARTINS, D. Classificação climática para o município de Botucatu-SP, segundo Koppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu. **Anais 1...** Botucatu: UNESP-FCA, 1999. p.487-491.
- DABIN, B. Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. **Cahiers de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer**, Série Pédologie, Paris, v.16, n.3/4, p.197-215, 1971.
- DEIANA, S; GESSA, C; MANNUZA, B; RAUSA, R; SEEBER, R. Analytical and spectroscopic characterization of humic acids extracted from sewage sludge, manure and worm compost. **Soil Sci.**, 150.419-424, 1990.
- Francou, C. ; Poitrenaud, M ; Houot, S. Stabilization of Organic Matter During Composting: Influence of Process and Feedstocks. **Compost Science & Utilization**; Winter 2005, 72-83.
- GARCIA, C.; HERNANDEZ, T.; COSTA, F. Study on water extract of sewage sludge composts. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.37, p. 399-408, 1991.
- GOMES, F.P. **Curso de Estatística experimental**. 14 ed., Piracicaba: ESALQ, 2000, 477p.
- HAUG, R.T. Compost engineering: principles and practices. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1980. 655p.
- IMBAR, Y.; CHE, Y.; HADAR, Y. Humic substances formed during the composting of organic matter. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.54, p.1316-1323, 1990.
- JIMÉNEZ, E. I.; GARCIA, V. P. Evaluation of city refuse compost maturity: A review. **Biol. Wastes** 27:115-142,1989.
- KEENEY, D.R. NELSON, D.W. Nitrogen-inorganic forms. In: PAGE, A.L., MILLER, R.H, KEENEY, D.R (eds) **Methods of soil analysis**, Part 2. Chemical and microbiological properties. ASA, SSA, Madison, p.643-698, 1982.
- KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem "Maturação e qualidade do Composto"**. Piracicaba. 2002. 171p.
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo: Ceres, 1985. 492p.
- LANARV. **Laboratório Nacional de Referência Vegetal. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes - métodos oficiais**. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Ministério de Agricultura, 1988. 104p.
- LEVI-MINZE, R.; SAVIOZZI, A.; RIFFALDI, R.; Evaluating garbage compost. **Biocycle**,v.33, p.66-69, 1992.
- LOUREIRO, D.C.; AQUINO, A. M.; ZONTA, E.;LIMA, E. Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.7, p.1043-1048, jul. 2007.
- MARAMBE, B.; ANDO, T.; KOUNO, K. Effect of inorganic cations in animal-waste composts on water and cation absorption of germinating sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) seeds. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 37, n.3,p. 487-496.1991.
- PEIXOTO, R.T.G. dos. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo**. Londrina. IAPAR: 1988. 48p. (IAPAR. Circular, 57).
- RIVERA-ROSARIO, R.A. Determinación de indicadores de madurez en la producción de composta. Universidad de Puerto Rico, 2003,127p. (Dissertação de Mestrado).

- SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., A. Roig, C. Paredes, and M.P. Bernal. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. **Bioresour. Technol.** 78:301–308, 2001.
- WANG, P.; CHANG, C.M.; WATSON, M.E.; DICK, W.A.; CHEN, Y. HOITINK, H.A.J. Maturity indices for composted dairy and pig manures. **Soil. Biol. & Biochem.**, v.36, p.767-776, 2004.