

**Uso de torta de mamona para
enriquecimento com N visando melhorar
a compostagem de cama de cavalo**



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agrobiologia
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
102**

Uso de torta de mamona para
enriquecimento com N visando melhorar
a compostagem de cama de cavalo

*Marcelo Roberto Gomes dos Santos
Milene da Silva Soares
Marco Antonio de Almeida Leal*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Agrobiologia

Rodovia BR 465, km 7
CEP 23891-000, Seropédica, RJ
Caixa Postal 74.505
Fone: (21) 3441-1500
Fax: (21) 2682-1230
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Agrobiologia

Presidente
Bruno José Rodrigues Alves

Secretária-Executiva
Carmelita do Espírito Santo

Membros
*Ednaldo Silva de Araújo, Janaina Ribeiro Costa
Rouws, Luc Felicianus Marie Rouws, Luis
Cláudio Marques de Oliveira, Luiz Fernando
Duarte de Moraes, Marcia Reed Rodrigues
Coelho, Maria Elizabeth Fernandes Correia,
Nátia Élen Auras*

Supervisão editorial
Maria Elizabeth Fernandes Correia

Normalização bibliográfica
Carmelita do Espírito Santo

Tratamento das ilustrações
Maria Christine Saraiva Barbosa

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Maria Christine Saraiva Barbosa

Foto da capa
Marcelo Roberto Gomes dos Santos

1ª edição: 2019
1ª impressão (2019): 50 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Agrobiologia

U86 Uso de torta de mamona para enriquecimento com N visando melhorar a
compostagem de cama de cavalo / Marcelo Roberto Gomes dos Santos et al.
— Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2019.
27 p.; (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 102).
ISSN: 1676-6709.
1. Adubo orgânico. 2. Equinocultura. 3. Aproveitamento de resíduos. I. Santos,
Roberto Gomes dos. II. Soares, Milene da Silva. III. Leal, Marco Antônio de
Almeida. IV. Embrapa Agrobiologia. V. Série.

631.86 - CDD 23.ed.
CGPE 15599

Sumário

Resumo 7

Abstract 8

Introdução..... 9

Material e Métodos 11

Resultados e Discussão14

Conclusões..... 25

Referências 25

Uso de torta de mamona para enriquecimento com N visando melhorar a compostagem de cama de cavalo

Marcelo Roberto Gomes dos Santos¹

Milene da Silva Soares²

Marco Antonio de Almeida Leal³

Resumo – A cama de cavalo é um resíduo oriundo do manejo de cocheiras de cavalos que, quando disposto sem cautela, pode trazer riscos para o meio ambiente. Este resíduo pode ser utilizado para obtenção de fertilizante orgânico por meio da compostagem. No entanto, a cama de cavalo pode apresentar teor de N abaixo do recomendado para que o processo de compostagem ocorra de forma adequada, sendo necessário avaliar o enriquecimento com N proveniente de outras fontes. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da adição de torta de mamona sobre a eficiência da compostagem da cama de cavalo ao longo de 120 dias de incubação e sobre a qualidade do composto obtido após este período, além de determinar os coeficientes técnicos do processo. Foram avaliados: pH, condutividade elétrica, densidade, teores de C, N, Ca, Mg, P e K, emissões potenciais de CO₂ e de NH₃, e perdas de massa, volume e de N. Observou-se que apesar da cama de cavalo apresentar teor de N considerado baixo (12,1 g kg⁻¹), o processo de compostagem ocorreu de forma satisfatória. A adição de torta de mamona proporcionou um aumento significativo, porém pequeno, do teor final de N do composto em relação à cama de cavalo pura, mas resultou em maior emissão potencial de NH₃ e maior perda de N ao longo da compostagem. Após 120 dias de compostagem as leiras apresentaram reduções de aproximadamente 60% da massa seca e do volume, e as perdas de N foram maiores que 40%.

Termos para indexação: Adubo orgânico, equinocultura, aproveitamento de resíduos.

¹ Egresso do Mestrado Profissional em Agricultura Orgânica (PPGAO) da UFRRJ, mrobertogomes@gmail.com.

² Aluna de graduação em Agronomia da UFRRJ e bolsista do CNPq, milenesoares12@hotmail.com.

³ Embrapa Agrobiologia, marco.leal@embrapa.br (autor para correspondência).

Horse litter enrichment with castor cake to improve the efficiency of its composting

Abstract – The horse litter is a residue from the handling of horse stalls that, when disposed without caution, can bring risks to the environment. This residue can be used to obtain organic fertilizer by composting. However, the horse litter may have N content below the recommended level so that the composting process occurs properly, and it is necessary to evaluate the enrichment with N coming from other sources. This work was carried out with the objective of evaluating the effect of the addition of castor bean cake on the efficiency of composting of the horse litter during 120 days of incubation and on the quality of organic compost obtained after this period, in addition to determining the technical coefficients of the process. Were evaluated the pH, electrical conductivity, density, contents of C, N, Ca, Mg, P and K, CO₂ and NH₃ potential emissions, and losses of mass, volume and N. It was observed that although the horse litter had a low N content (12.1 g kg⁻¹), the composting process occurred satisfactorily. The addition of castor cake provided a significant but small increase in the final N content of the compost relative to the pure horse litter but resulted in higher NH₃ potential emission and higher N loss throughout composting. Therefore, the addition of castor cake is not recommended for the case studied. After 120 days of composting the windrows presented reductions of approximately 60% of dry mass and volume, and losses of N were greater than 40%.

Index terms: Organic fertilizer, echinoculture, waste improvement.

Introdução

Identificar maneiras adequadas para realizar o processamento de resíduos orgânicos de origem animal constitui uma grande demanda atual. Segundo He et al. (2016) os esterco são ricos em nutrientes, contudo, são também considerados poluentes ambientais quando aplicados excessivamente sobre as terras cultivadas. O acúmulo de fezes e urina de equinos criados em cocheiras podem causar problemas sanitários para os animais e problemas ambientais relacionados com a emissão de amônia (NH_3). Por isto, recomenda-se que as cocheiras sejam forradas com materiais absorventes. De acordo com Itapema (2011), uma boa cama deve ser macia, seca e com boas propriedades absorventes, evitando o mau cheiro gerado pela decomposição da urina e das fezes. Garlipp et al. (2011), avaliando a emissão de NH_3 em diferentes materiais utilizados na cama de cavalo, observaram que a palha de trigo emitiu a maior concentração de NH_3 e a aparas de madeira emitiu a menor. A cama de cavalo, associada com urina e fezes, é um resíduo oriundo do manejo de cocheiras de cavalos que quando disposto sem cautela pode trazer riscos para o meio ambiente, dificuldade de controle de parasitas em animais, bem como riscos à saúde pública (FUJII et al., 2014).

Tem crescido no Brasil a busca por substratos e fertilizantes orgânicos que sejam produzidos respeitando o meio ambiente e que tenham custos acessíveis ao agricultor, e o aproveitamento de resíduos da atividade agropecuária, como a cama de cavalo, é uma forma de atender esta demanda. A compostagem é um processo de decomposição aeróbica utilizada para transformar diferentes materiais orgânicos em substâncias mais estáveis, que quando aplicadas ao solo contribuem para a melhoria das suas propriedades físicas, químicas e microbiológicas (SÁNCHEZ et al., 2017), e por isto constitui importante alternativa para o processamento da cama de cavalo. Inácio (2010) descreve um composto orgânico obtido por meio da mistura da cama de cavalo com aparas de grama e restos de alimentos. Benito et al. (2009) avaliaram a compostagem da mistura do esterco de cavalo com de resíduos de podas, monitorando diferentes parâmetros.

Os materiais utilizados na forração das cocheiras, como a serragem ou a palhada de gramíneas, são pobres em N, podendo originar camas de cavalo com teor deste nutriente abaixo do valor ideal para que a mistura apresente

valores de relação C:N iguais ou abaixo de 30, valor geralmente recomendado para compostagens (INÁCIO; MILLER, 2009; JIANG et al., 2011). Pinheiro et al. (2013), observaram teores de 48,0; 20,0 e 18,0 g kg⁻¹ de N em esterco de galinha, suíno e bovino, respectivamente, e teor de apenas 6,0 g kg⁻¹ de N no esterco de cavalo. Portanto, para que a compostagem da cama de cavalo seja realizada de forma eficiente, talvez seja necessário o seu enriquecimento com materiais ricos em N, como a torta de mamona.

As emissões de NH₃ ocorrem de maneira mais intensa quando a relação C:N dos materiais estão abaixo de valores entre 25 e 20. Leal et al. (2013) observaram em mistura de capim elefante com torta de mamona após 90 dias de compostagem, perda de N de apenas 23% em composto com relação C:N inicial de 40, mas esta perda chegou a 50% em composto com relação C:N inicial de 20. Porém, no caso da cama de cavalo, emissões expressivas de NH₃ podem ser observadas mesmo quando a sua relação C:N está acima de 30, pois as principais fontes de N da cama de cavalo são as fezes de cavalo e a urina, sendo que nestes materiais o N está, predominantemente, na forma de NH₃ ou de seus precursores imediatos. Como a NH₃ tem grande tendência de volatilizar, principalmente com os elevados valores de pH observados na cama de cavalo, geralmente há uma grande perda de N via NH₃, mesmo quando os teores de N são reduzidos. Segundo Wang e Zeng (2017), a emissão de NH₃ é responsável pela maior perda de N durante a compostagem e proporciona vários impactos ambientais, como a eutrofização e a acidificação dos ambientes.

Para que a compostagem possa ser utilizada em larga escala no processamento de resíduos e subprodutos agropecuários visando a sua adequação ao uso agrícola, é necessário ampliar os conhecimentos sobre esta técnica, sendo essencial a determinação dos coeficientes técnicos, como as perdas de massa, de volume e de nutrientes, que ocorrem durante a compostagem de diferentes materiais.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da adição de torta de mamona sobre a eficiência da compostagem da cama de cavalo ao longo de 120 dias de incubação e sobre a qualidade do composto obtido após este período, além de determinar os coeficientes técnicos do processo.

Material e Métodos

O experimento de compostagem foi conduzido na propriedade rural denominada Fazenda da Colina, localizada no município de Vassouras-RJ, tendo como coordenadas: 22°27'55"S e 43°38'27"O. O clima é do tipo Tropical de Altitude (Cwa) de acordo classificação climática de Köppen.

As matérias-primas utilizadas foram cama de cavalo e torta de mamona. A cama de cavalo foi composta basicamente por proporções indefinidas de maravalha de eucalipto, esterco e urina de cavalo, restos de feno (alfafa e tifton) e restos de ração. Os teores de C, N, Ca, Mg P e K, e a relação C:N das matérias-primas utilizadas na compostagem estão apresentados na Tabela 1.

A cama de cavalo apresentou 12,1 g kg⁻¹ de N, que é um valor baixo quando comparado com outros materiais de origem animal, como os estercos bovino e de aves, que apresentam teores médios de N de 15,0 e 29,0 g kg⁻¹, respectivamente, segundo Moral et al. (2015). Visando avaliar se o N contido na cama de cavalo era suficiente para proporcionar uma decomposição adequada, ou se era necessário adicionar mais N à mistura, foram adotados os seguintes tratamentos:

- T1 - Somente cama de cavalo (450 kg de massa seca);
- T2 - Cama de cavalo (450 kg de massa seca) + torta de mamona (50 kg de massa seca).

Tabela 1. Teores de N, Ca, Mg, P e K, e relação C:N das matérias-primas utilizadas na compostagem (média de três repetições ± erro padrão).

CARACTERÍSTICAS	Cama de cavalo	Torta de mamona
Teor de C (g kg ⁻¹)	396,2 ±0,94	465,0 ±0,82
Teor de N (g kg ⁻¹)	12,1 ±0,06	68,0 ±0,12
Relação C/N	33,1 ±2,43	6,8 ±0,98
Teor de Ca (g kg ⁻¹)	10,7 ±0,47	8,3 ±0,25
Teor de Mg (g kg ⁻¹)	3,3 ±0,24	5,4 ±0,25
Teor de P (g kg ⁻¹)	4,1 ±0,72	6,4 ±0,30
Teor de K (g kg ⁻¹)	13,6 ±1,46	11,1 ±0,01

Durante a montagem das leiras, o material foi misturado de maneira uniforme e enleirado em formato trapezoidal, com aproximadamente 1,2 m de largura na base e 0,8 m no topo, 2,0 m de comprimento e 1,0 m de altura, totalizando um volume inicial de aproximadamente 2,0 m³. O material foi irrigado buscando manter a umidade entre 40 e 60%. A irrigação das leiras foi realizada sempre que amostragens semanais revelavam umidade abaixo de 40%.

Utilizou-se 50 kg de torta de mamona na leira de 2,00 m³ com base na recomendação de Souza e Alcântara (2008) para se utilizar torta de mamona na proporção de 20 a 30 kg m⁻³ visando o enriquecimento de compostos orgânicos. As leiras foram montadas sobre lonas plásticas para evitar o seu contato direto com o solo. Foram montadas duas leiras, uma para cada tratamento, e realizou-se três repetições por tratamento em cada época, coletando-se amostragens em três diferentes pontos da leira.

O período total de incubação foi de 120 dias, visando alcançar todas as etapas da compostagem, até a sua estabilização. Durante este período amostragens foram realizadas semanalmente para avaliação da temperatura das leiras. Aos 7, 14, 21, 30, 45, 60, 90 e 120 dias foram coletadas amostras para avaliação do pH, condutividade elétrica (CE), densidade, teores de N e emissões potenciais de CO₂ e de NH₃. Aos 0, 30, 60, 90 e 120 dias foram coletadas amostras para avaliação da variação da massa e do volume em relação à massa e volume iniciais, e variação do conteúdo de N em relação ao conteúdo inicial, ocasião em que também foram realizados revolvimentos das leiras. Aos 120 dias foram coletadas amostras para avaliação dos teores de C, N, Ca, Mg, P e K, e da relação C:N. As amostras foram coletadas na metade da largura da leira, em três posições equidistantes distribuídas ao longo do comprimento da leira. Amostras simples foram retiradas manualmente do topo até a base visando abranger toda a altura da leira, formando um orifício com aproximadamente 10 cm de diâmetro. Estas amostras simples foram misturadas, sendo retirada uma amostra composta com volume de 500 ml, que foi acondicionada em embalagem plástica e armazenada em freezer até o seu processamento. O restante do material formado pelas amostras simples foi devolvido ao orifício formado durante a coleta das amostras simples.

A avaliação de temperatura foi realizada utilizando-se um termômetro de bulbo de mercúrio inserido a 30 cm de profundidade. O pH e a CE foram ava-

liados de acordo com a metodologia do MAPA (BRASIL, 2007), em solução de água destilada (5:1 v/v). A densidade em base seca foi medida a partir da coleta de amostras do material fresco em recipiente de 500 ml. As análises dos teores de Ca, Mg, P e K foram realizadas no laboratório da Embrapa Agrobiologia, utilizando-se o procedimento operacional descrito por Silva (2009). Os teores de C e de N foram obtidos por meio de combustão seca realizada em analisador elementar.

As emissões potenciais de CO₂ e de NH₃ foram realizadas por meio de incubações, de acordo com padrões internacionalmente aceitos (GÓMEZ et al., 2006), e sua quantificação tem como objetivo determinar o nível de estabilidade do material, pois este é um dos principais indicadores da qualidade do processo de compostagem. Utilizou-se metodologia descrita por Oliveira et al. (2014) modificada, alterando-se a temperatura de incubação para 30°C, ao invés dos 25°C do método original, visando adequação ao padrão internacionalmente adotado.

Os valores de variação da massa em relação à massa inicial das leiras foram calculados por meio da quantidade de massa seca presente em cada leira de composto após um determinado período de tempo, comparado com a quantidade de massa seca presente na mesma leira no início da compostagem. A massa seca de cada leira de composto foi calculada em função da sua massa úmida e do teor de matéria seca, determinado com base em três amostras/repetições para cada leira. A perda de volume foi calculada da mesma forma. A perda do conteúdo de N foi calculada considerando os valores de massa das leiras de composto e do teor deste nutriente.

A análise estatística foi realizada por meio da análise de variância utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado e o esquema de parcelas subdivididas, com os dois tratamentos na parcela e as épocas de amostragem na subparcela, com três repetições (três amostras por leira). Ao final do processo foram avaliadas diversas características dos compostos obtidos, sendo que as médias entre os dois tratamentos foram comparadas pelo teste F da análise de variância.

Resultados e Discussão

Os resultados de probabilidades de significância obtidos na análise de variância estão apresentados na Tabela 2, onde se pode observar efeito significativo dos tratamentos em relação a todas as características avaliadas. Ocorreu interação significativa entre os tratamentos e o tempo de compostagem na maior parte das características analisadas, exceto teor de N e proporção do N inicial. No caso do teor de N houve efeitos significativos apenas dos fatores isolados tratamento e tempo. E no caso da proporção do N inicial houve efeito significativo para tratamento, sendo que o fator tempo não foi significativo ao nível de 5,0% ou 0,05 em valor absoluto, mas apresentou valor de 0,052, muito próximo do nível de significância adotado.

Tabela 2. Resultados de níveis de significância resultantes da análise de variância do experimento de compostagem, executado em esquema de parcelas subdivididas, com os dois tratamentos nas parcelas principais e o tempo de compostagem nas subparcelas.

	Nível de significância			CV%	
	Tratamento	Tempo	Interação	Parcela	Subparcela
Temperatura	0,015 *	<0,001 **	<0,001 **	9,48	2,61
pH	<0,001 **	<0,001 **	<0,001 **	0,85	1,40
Condutividade elétrica ¹	<0,001 **	<0,001 **	0,002 **	2,80	6,58
Densidade	0,009 **	<0,001 **	<0,001 **	4,58	4,24
Teor de N	0,001 **	<0,001 **	0,320 ns	5,84	4,35
Emissão potencial de CO ₂	<0,001 **	<0,001 **	<0,001 **	3,60	9,93
Emissão potencial de NH ₃	<0,001 **	<0,001 **	<0,001 **	33,64	37,92
Proporção da massa inicial	<0,001 **	<0,001 **	<0,001 **	3,17	2,92
Proporção do volume inicial	<0,001 **	<0,001 **	<0,001 **	0,96	1,26
Proporção do N inicial	<0,001 **	0,052 ns	0,058 ns	2,82	6,45

** : significativo ao nível de 1,0%; * : significativo ao nível de 5,0%; ns : não significativo.

¹ Valores transformados para log(x).

Observa-se na Figura 1 que os dois tratamentos apresentaram temperaturas elevadas desde o início do processo, alcançando valores superiores a 55°C após 24 horas, mas esses valores foram diminuindo com o decorrer dos dias, até atingir valores próximos à temperatura ambiente. Elevações pontuais de temperatura ocorreram após os revolvimentos, o que é algo comum em compostagens. O tratamento com adição de torta de mamona apresentou temperatura média de 39,1°C, significativamente superior ao tratamento sem adição de torta de mamona, cuja temperatura média foi de 36,3°C. Isto pode ser atribuído à degradação dos materiais ricos em N ofertados pela torta de mamona, o que resultou em temperaturas mais elevadas.

Elevadas temperaturas no processo de compostagem são desejáveis e indiretamente podem ser utilizadas como parâmetro de avaliação da eficiência do processo, uma vez que as mesmas indicam que está ocorrendo intensa degradação da matéria orgânica. Além disto, a obtenção de temperaturas elevadas é fundamental para eliminação de patógenos. Orrico et al. (2007), avaliando a compostagem dos dejetos de cabras, obtiveram a redução de 99,99% dos números mais prováveis (NMPs) de coliformes totais e fecais presentes na matéria-prima, resultado este que foi atribuído pelos autores à manutenção da temperatura das leiras na faixa termolítica (45 a 65°C).

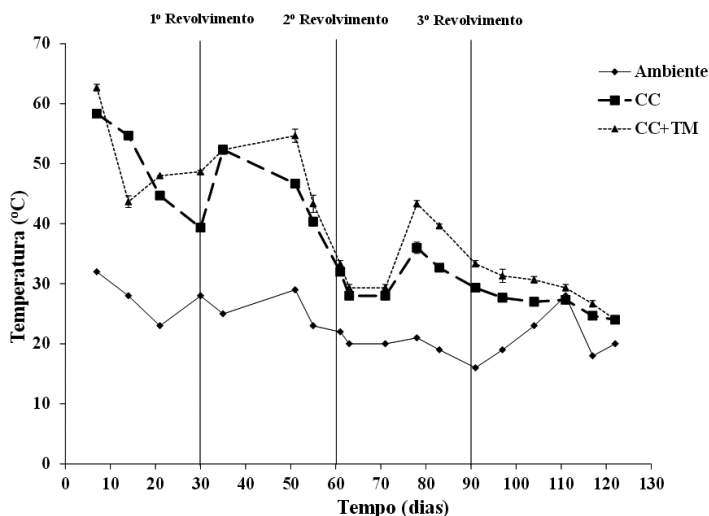


Figura 1. Temperaturas observadas durante a compostagem de cama de cavalo sem (CC) e com adição de torta de mamona (CC+TM). Média de três repetições $\pm$ erro padrão.

Em relação ao pH, foram observados efeitos significativos do tempo de compostagem, tratamentos e da interação tempo x tratamento. Ambos os tratamentos apresentavam pHs próximos de 9,0 nos primeiros 21 dias, como pode ser observado na Figura 2, com uma tendência de queda até o final do experimento.

O tratamento sem adição de torta de mamona apresentou uma queda constante do pH até aos 120 dias, com valor final próximo à neutralidade (7,6). Já o tratamento com adição de torta de mamona apresentou comportamento diferente, com um leve aumento do pH (9,1) até os 21 dias, e com queda acentuada até 60 dias, quando ocorreu o segundo revolvimento. Após 60 dias, este tratamento manteve seus valores de pH próximos a neutralidade até o final do experimento, quando o valor de pH foi de 7,1. A maior redução do pH neste tratamento foi, provavelmente, devido à adição de N presente na torta de mamona. Segundo Leal et al. (2011), a ocorrência de pH mais elevado no início da compostagem de materiais ricos em N geralmente está relacionada à transformação do N da forma proteica, onde se encontra predominantemente como amidas (NH_2), para a forma amoniacal (NH_3 ou NH_4^+), resultando em elevação do pH. Após a estabilização da compostagem, o íon amônio (NH_4^+) é transformado em nitrato (NO_3^-), resultando em redução do pH ($\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 \leftrightarrow \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}^+$).

A avaliação da condutividade elétrica CE (Figura 3) foi realizada com o objetivo de verificar a quantidade de sais presentes, observando que quanto maior esse valor, maior será a presença de sais no composto. Em um experimento conduzido por Benites et al. (2004), os autores observaram uma elevação na CE após a fase termolífica. Segundo os mesmos, tal fato é atribuído à concentração dos sais promovida pela degradação do material de origem orgânica.

O tratamento com adição de torta de mamona apresentou níveis de CE significativamente maiores durante quase todo o período do experimento, com exceção da amostragem realizada aos 90 dias. Isto ocorreu, provavelmente, devido à adição de nutrientes e outros sais presentes na torta de mamona.

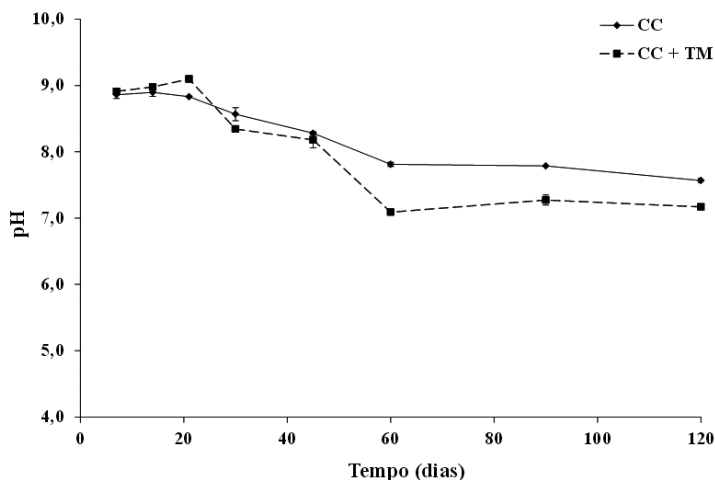


Figura 2. Valores de pH observados durante a compostagem de cama de cavalo sem (CC) e com adição de torta de mamona (CC + TM). Média de três repetições $\pm$ erro padrão.

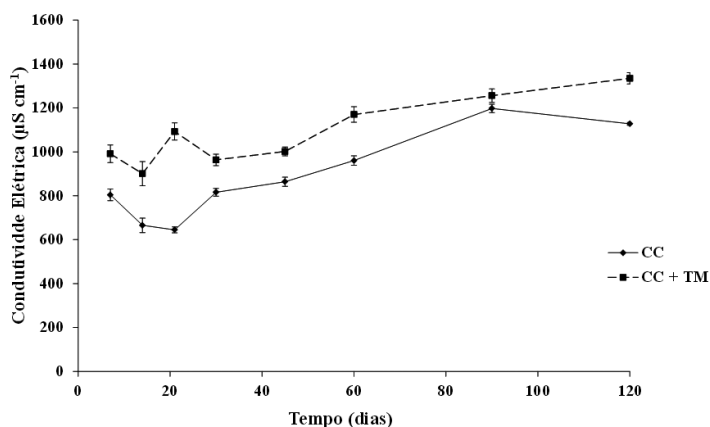


Figura 3. Valores de condutividade elétrica observados durante a compostagem de cama de cavalo sem (CC) e com adição de torta de mamona (CC + TM). Média de três repetições $\pm$ erro padrão.

Como pode ser visto na Figura 4, ambos os tratamentos apresentaram tendência de aumento da sua densidade ao longo do período de compostagem, com pequenas variações atribuídas às imprecisões metodológicas. Segundo Leal et al. (2011), este aumento da densidade é devido à ação de macrofauna fragmentadora, que age na compostagem após seu resfriamento, e também devido ao aumento da polimerização e humificação das substâncias orgânicas existentes no meio. De acordo com Silva et al. (2009), existem diversos trabalhos na literatura que associam o nível de maturidade de

um composto orgânico às substâncias húmicas presentes e ao seu ao grau de polimerização.

Observa-se na Figura 5 que os teores de N dos dois tratamentos aumentaram ao longo do processo de compostagem. Lima et al. (2009), avaliando a compostagem de resíduos da produção de biodiesel, observaram um aumento dos teores de N e uma diminuição dos teores de C ao longo da compostagem, que ocorreu devido à perda de C na forma de CO_2 e à reduzida perda de N.

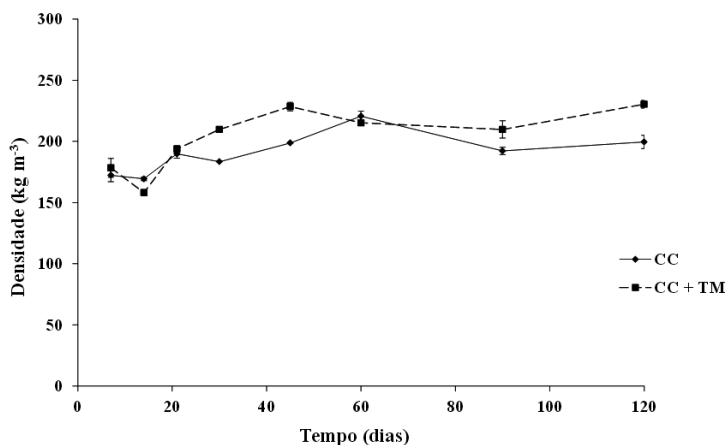


Figura 4. Valores de densidade observados durante a compostagem de cama de cavalo sem (CC) e com adição de torta de mamona (CC + TM). Média de três repetições $\pm$ erro padrão.

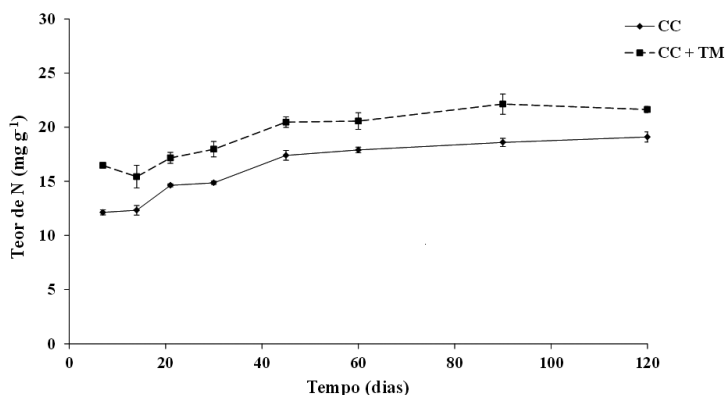


Figura 5. Teores de N observados durante a compostagem de cama de cavalo sem (CC) e com adição de torta de mamona (CC + TM). Média de três repetições $\pm$ erro padrão.

Apesar do tratamento com adição de torta de mamona apresentar, aos 120 dias, teor de N de 22,0 g kg⁻¹, significativamente superior ao tratamento sem adição de torta de mamona, com 18,0 g kg⁻¹ (Tabela 3), ambos os tratamentos apresentaram valores semelhantes aos normalmente encontrados nos fertilizantes orgânicos tradicionais. Pinheiro et al. (2013), observaram teor de 18,0 g kg⁻¹ de N em esterco de bovino.

Os valores de emissão potencial de CO₂ ao longo do processo de compostagem estão apresentados na Figura 6. De acordo com Oliveira et al. (2014), a emissão de CO₂ está relacionada, principalmente, com o alto aquecimento e consumo de O₂. Observa-se que os dois tratamentos apresentaram valores elevados no início da compostagem, com redução gradual até aproximadamente 21 dias, quando a emissão potencial de CO₂ alcançou um patamar que se manteve até o final da incubação. Isto demonstra elevada atividade biológica no início do processo de compostagem, com posterior estabilização.

Tabela 3. Características avaliadas ao final do processo de compostagem (120 dias de incubação), de leiras de composto de cama de cavalo, sem e com adição de torta de mamona.

CARACTERÍSTICAS	Cama de cavalo pura	Cama de cavalo + torta de mamona
pH	7,6 a	7,2 b
Condutividade Elétrica (µS cm ⁻¹)	1334 a	1127 b
Densidade (kg m ⁻³)	199,5 b	230,4 a
Teor de C (g kg ⁻¹ CV = 3,37%)	280,1 a	297,4 a
Teor de N (g kg ⁻¹ CV = 7,14%)	18,0 b	22,0 a
Relação C:N (CV = 5,72%)	15,6 a	13,5 b
Teor de Ca (g kg ⁻¹ CV = 11,45%)	15,7 a	17,5 a
Teor de Mg (g kg ⁻¹ CV = 10,28%)	6,0 a	6,0 a
Teor de P (g kg ⁻¹ CV = 3,77%)	20,1 a	19,1 a
Teor de K (g kg ⁻¹ CV = 4,59%)	6,3 a	7,0 a
Proporção da massa inicial (%)	39,8 a	40,0 a
Proporção do volume inicial (%)	36,1 b	41,7 a
Proporção do N inicial (%)	56,0 a	43,3 b

Médias seguidas da mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F da análise de variância.

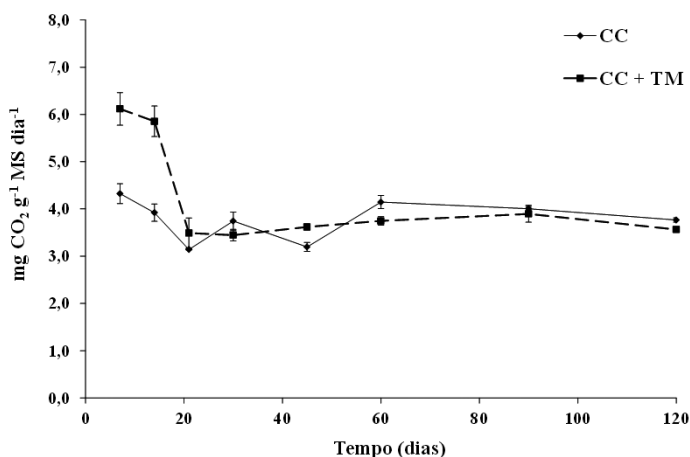


Figura 6. Emissão potencial de CO₂ observada durante a compostagem de cama de cavalo sem (CC) e com adição de torta de mamona (CC + TM). Média de três repetições $\pm$ erro padrão.

Segundo Jahnel et al. (1999), na fase inicial da compostagem há maior oferta de produtos facilmente decompostos pelos microrganismos, proporcionando maior atividade microbiana, com maior liberação de energia na forma de calor e maior emissão potencial de CO₂.

Porém, observa-se que o tratamento com adição de torta mamona apresentou aos 7 e 14 dias valores de emissões potenciais de CO₂ superiores aos do tratamento sem adição de torta de mamona. Este resultado ocorreu, provavelmente, devido ao maior conteúdo de substâncias de rápida degradação adicionadas pela torta mamona. Aos 21 dias de compostagem as emissões potenciais de CO₂ do tratamento com adição de torta de mamona se estabilizam em valores próximos a 4,0 mg CO₂ por grama de matéria seca por dia. O tratamento sem adição de torta de mamona também apresentou redução das emissões, mas estas se estabilizaram somente aos 60 dias de compostagem. Bernal et al. (2009) consideram estáveis materiais com emissões de CO₂ inferiores a 4,0 mg CO₂ por grama de matéria seca por dia.

Os resultados de emissão potencial de NH₃ estão apresentados na Figura 7, onde se observa que as maiores emissões ocorreram no início da compostagem, sendo que o tratamento com adição de torta de mamona apresentou valores muito maiores que o tratamento sem adição de torta de mamona. Mas após 60 dias, as emissões potenciais de NH₃ foram irrisórias nos dois tratamentos. O tratamento com adição de torta de mamona apresentou, como

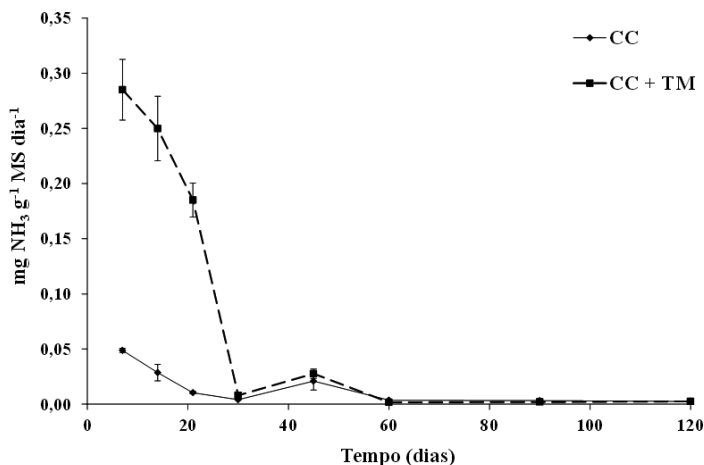
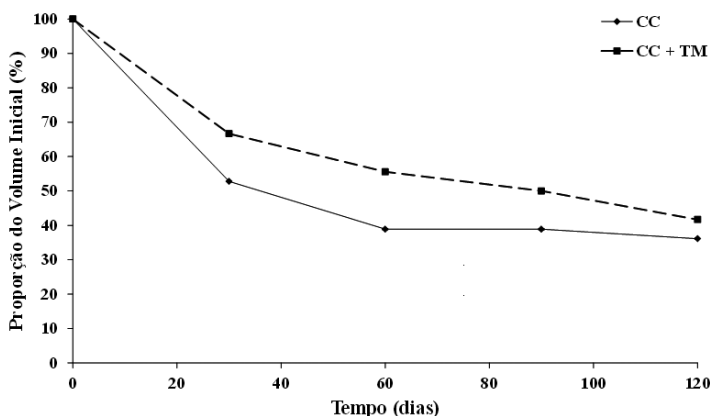
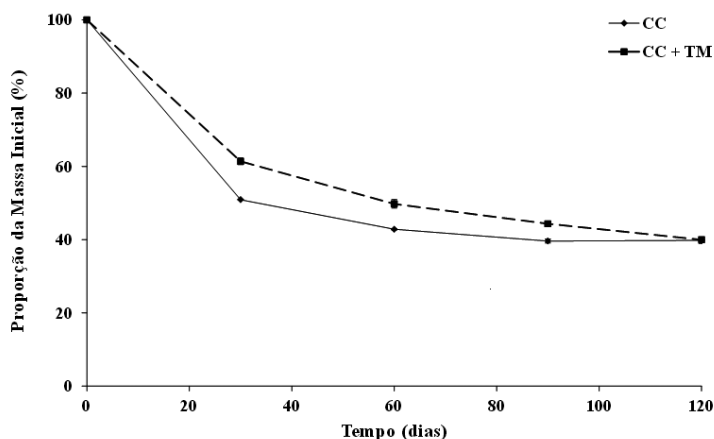


Figura 7. Emissão potencial de NH₃ observada durante a compostagem de cama de cavalo sem (CC) e com adição de torta de mamona (CC + TM). Média de três repetições $\pm$ erro padrão.

média das 8 épocas avaliadas, emissão de 0,095 mg de NH₃ por grama de massa seca por dia, valor significativamente superior ao observado no tratamento sem adição de torta de mamona, que apresentou emissão média de 0,015 mg de NH₃ por grama de massa seca por dia. Este resultado se deve ao aumento do teor de N proporcionado pela adição da torta mamona.

Na Figura 8 estão apresentadas as proporções relativas da massa das leiras ao longo da compostagem em relação à sua massa inicial. Os dois tratamentos apresentaram comportamento semelhante, com redução da massa inicial para aproximadamente 40% após 120 dias de compostagem, ou seja, ocorreram perdas de 60% em volume para ambos os tratamentos. Observa-se que a maior redução de massa em relação à massa inicial ocorreu nos primeiros 30 dias para ambos os tratamentos. Segundo Inácio e Miller (2009), a perda de carbono por meio do CO₂ e a intensa perda de vapor são responsáveis por reduções de 25-50% no volume e 40-80% do peso total do composto.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 9, ocorreram reduções de volume para aproximadamente 40% do volume inicial, o que representa perdas de aproximadamente 60% ao longo de 120 dias de compostagem em todos os tratamentos. Estes resultados corroboram com os resultados de Augusto et al. (2009), que também encontraram valores próximos a 60% para perdas de volume durante todo o período de compostagem.



Os autores ainda ressaltam que a maior perda de volume ocorreu até aproximadamente a quinta semana, sendo este fato atribuído pelos autores à maior atividade microbiológica.

Os resultados de proporção relativa de N estão apresentados na Figura 10. Observa-se ao final dos 120 dias de compostagem, que a leira sem adição de torta de mamona mantinha 56,0% do N inicial, enquanto que a leira com adição de torta de mamona mantinha apenas 43,3% do N inicial, representando perdas de N de aproximadamente 44% e 57% para os tratamentos

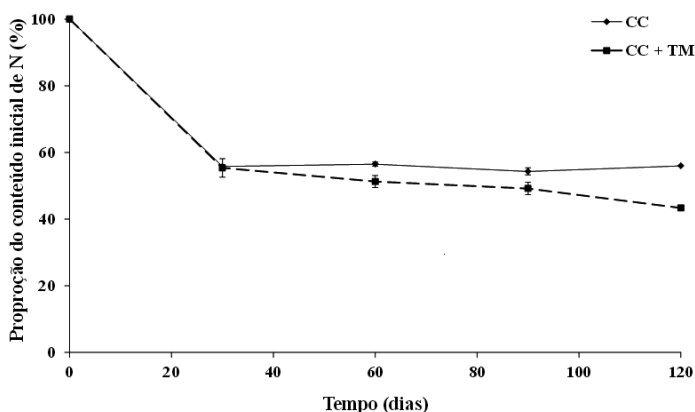


Figura 10. Proporção relativa (em %) em relação ao conteúdo inicial de N, observada durante a compostagem de cama de cavalo sem (CC) e com adição de torta de mamona (CC + TM).

sem e com adição de torta de mamona, respectivamente. Estes valores foram inferiores aos encontrados por Orrico Junior et al. (2010), que observaram a perda de 71,6% do N durante a compostagem de resíduos da produção avícola.

A maior parte destas perdas ocorreu, provavelmente, devido à volatilização de amônia, pois as maiores reduções do conteúdo de N ocorreram nos primeiros 30 dias, que também foi o período em que os dois compostos apresentavam maior emissão potencial de NH_3 . Segundo Wang e Zeng (2017), as maiores perdas de N durante a compostagem ocorrem por meio da emissão de NH_3 . Giacomini et al. (2014), observaram durante um experimento de compostagem com dejetos suínos, que a volatilização de NH_3 representou um importante mecanismo de perda de N. Valente et al. (2011), observaram redução nos teores de N durante o processo de compostagem, sendo este fato atribuído pelos autores à perda de N na forma de NH_3 .

Na Tabela 3 estão apresentados os valores de diversas características dos compostos ao final dos 120 dias de compostagem. Como pode se observar, houve diferença significativa entre os dois tratamentos para a maioria das características avaliadas, com exceção da proporção da massa inicial e dos teores de C, Ca, Mg, P e K.

No tratamento cama enriquecida com torta de mamona houve maior perda proporcional de N, o que pode ser atribuído a maior volatilização de NH_3 devido a maior oferta de N livre no meio. Apesar deste composto apresen-

tar teor final de N significativamente maior (22,0 g kg⁻¹), os resultados não foram expressivos em relação ao tratamento sem adição de torta (18,0 g kg⁻¹). As relações C:N também apresentaram diferenças significativas, mas pouco expressivas, com valores de 15,6 e 13,5 para os tratamentos sem e com torta de mamona, respectivamente. Não houve diferença significativa em relação ao teor de C. A adição da torta de mamona à cama de cavalo não foi suficiente para modificar os teores finais de Ca, Mg, P e K do composto, provavelmente porque as duas matérias primas apresentavam teores semelhantes destes elementos. As características de ambos os tratamentos estão de acordo com as especificações para fertilizantes orgânicos estabelecidas na IN 25 do MAPA (BRASIL, 2009).

Com base no conjunto de resultados, podemos inferir que o processo de compostagem da cama de cavalo pura ocorreu de forma satisfatória, mesmo este material apresentando teor inicial de N considerado baixo (12,1 g kg⁻¹), quando comparado a outros resíduos de origem animal, como os esterco bovino e de aves. Uma explicação para isto é que grande parte do carbono presente na cama de cavalo está em formas muito recalcitrantes, devido ao elevado teor de celulose, hemicelulose e lignina encontrados na maravalha, enquanto a maior parte do N está em forma muito disponível, pois a urina e as fezes dos cavalos apresentam elevados teores de N em formas amoniacais. Matsumura et al. (2010), avaliando o efeito da adição de diferentes fontes de carbono sobre a emissão de NH₃ em compostagem, observaram que este efeito depende fortemente da degradabilidade dos materiais. A comprovação desta hipótese, porém, requer a realização de estudos complementares.

A adição da torta de mamona proporcionou maior temperatura da leira e maior teor de N ao final de 120 dias de compostagem, mas a maior oferta de N devido à utilização deste suplemento promoveu maior volatilização de NH₃ e maior perda de N, além de representar um gasto desnecessário para o produtor.

Conclusões

- É possível realizar a compostagem de cama de cavalo de forma satisfatória e com menor impacto ambiental quando este material apresenta teor de N próximo de 12 g kg⁻¹.
- O enriquecimento da cama de cavalo com adição de torta de mamona equivalente a 10% da massa total proporcionou maior temperatura da leira e maior teor de N ao final de 120 dias de compostagem. Mas a maior oferta de N proporcionada por este suplemento promoveu volatilização de NH₃ significativamente maior.
- A compostagem de cama de cavalo por 120 dias resultou em reduções da sua massa seca e do seu volume em aproximadamente 60%, e em perdas de N maiores que 40%.

Referências

- AUGUSTO, K. V. Z.; LUCAS JUNIOR, J.; MIRANDA, A. P. Redução de volume e peso durante a compostagem de dejetos de galinhas poedeiras In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS, 1., 2009, Florianópolis. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2009.
- BENITES, V. de M.; BEZERRA, F. B.; MOUTA, R. O.; ASSIS, I. R.; SANTOS, R. C. P.; CONCEIÇÃO, M.; ANDRADE, A. G. de. **Produção de adubos orgânicos a partir da compostagem dos resíduos da manutenção da área gramada do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 21 p. (Embrapa Solos. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 50).
- BENITO, M.; MASAGUER, A.; MOLINER, A.; HONTORIA, C.; ALMOROX, J. Dynamics of pruning waste and spent horse litter co-composting as determined by chemical parameters. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 1, p. 497-500, 2009.
- BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, n. 100, p. 5444-5453, 2009.
- FUJII, K. Y.; DITTRICH, J. R.; CASTRO, E. A.; SILVEIRA, E. O. Processos de tratamento de resíduos de cocheira e a redução ou eliminação de ovos e larvas infectantes do gênero *Strongylus* spp. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 81, n. 3, p. 226-231, 2014.
- GARLIPP, F.; HESSEL, E. F.; Van Der WEGHE H. F. A. Characteristics of gas generation (NH₃, CH₄, N₂O, CO₂, H₂O) from horse manure added to different bedding materials used in deep litter bedding systems. **Journal of Equine Veterinary Science**, v. 31, p. 383-395, 2011.
- GIACOMINI, D. A.; AITA, C.; PUJOL, S. B.; GIACOMINI, S. J.; DONEDA, A.; CANTÚ, R. R.; DESSBESELL, A.; LÜDTKE, R. C.; SILVEIRA, C. A. P. Mitigação das emissões de amônia por zeólitas naturais durante a compostagem de dejetos de suínos, Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 7, p. 521-530, 2014.

GÓMEZ, R. B.; LIMA, F. V.; FERRER, A. S. The use of respiration indices in the composting process: a review. **Waste Management & Research**, v. 24, n. 1, p. 37-47, 2006.

HE, Z.; PAGLIARI, P. H.; WALDRIP, H. M. Applied and Environmental Chemistry of Animal Manure: A Review. **Pedosphere**, v. 26, n. 6, p. 779-816, 2016.

INÁCIO, C. T. **Compostagem de restos de alimentos com aparas de grama e esterco de animais: monitoramento do processo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. (Embrapa Solos. Circular Técnica, 46).

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2009. 156 p.

ITAPEMA, H. A importância de uma boa cama de para seu cavalo. **Mundo dos cavalos**. Agosto, 2011. Disponível em: < <https://www.revistahorse.com.br/imprensa/a-importancia-de-uma-bou-cama-para-o-cavalo/20090417-103716-u886> >. Acesso em: 18 abr. 2018.

JAHNEL, M. C.; MELLONI, R.; CARDOSO, E. J. B. N. Maturidade de composto de lixo urbano, Piracicaba, **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 2, 1999.

JIANG, T.; SCHUCHARDT, F.; LI, G.; GUO, R.; ZHAO, Y. Effect of C/N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 10, p. 1754-1760, 2011.

LEAL, M. A. A.; GUERRA, J. M.; ESPINDOLA, J. A. de A.; ARAÚJO, E. da S. Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 11, p. 1195-1200, 2013.

LEAL, M. A. de A.; GUERRA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. dos G.; SANTOS, S. da S. **Processo de compostagem a partir da mistura entre capim elefante e crotalária**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2011. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 77).

LIMA, C. C.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. R.; SILVA, L. H. M.; ROIG, A. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral, **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 334-340, 2009.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 17. de 21 de maio de 2007. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 24 de maio de 2007.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Instrução Normativa n. 25, de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 28 jul. 2009.

MATSUMURA, H.; SASAKI, M.; KATO, S.; NAKASAKI, K. Unusual effects of triacylglycerol on the reduction of ammonia gas emission during thermophilic composting. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 7, p. 2300-2305, 2010.

MORAL, R.; MORENO-CASELLES, J.; PEREZ-MURCIA, M.D.; PEREZ-ESPINOSA, A.; RUFETE, B.; PAREDES, C. Characterization of the organic matter pool in manures. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 2, p. 153 - 158, 2005.

OLIVEIRA, E. A. G.; LEAL, M. A. A.; ROCHA, M. S.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. L. D. **Avaliação da estabilidade de materiais orgânicos por meio de incubação e da captura conjunta das emissões de CO₂ e de NH₃**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2014. (Embrapa Agrobiologia. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 97).

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; JÚNIOR, J. L. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves, Jaboticabal, **Revista Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 538-545, 2010.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. de; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Alterações físicas e microbiológicas durante a compostagem dos dejetos de cabras. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 764-772, 2007.

PINHEIRO, G. L.; SILVA, C. A.; LIMA, J. M.; COSTA, A. L. S. Ácidos orgânicos de baixa massa molar em solos e materiais orgânicos. **Química Nova**, v. 36, p. 413-418, 2013.

SÁNCHEZ, Ó. J.; OSPINA, D. A.; MONTOYA, S. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. **Waste Management**, v. 69, n. Supplement C, p. 136-153, 2017.

SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627 p.

SILVA, F. A. M.; GUERRERO LOPEZ, F.; VILLAS BOAS, R. L.; SILVA, R. B. Transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas durante a compostagem de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p. 59-66, 2009.

SOUZA, R. B.; ALCÂNTARA, F. A. **Adubação no sistema orgânico de produção de hortaliças**. Embrapa Hortaliças, 2008. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 65).

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MANZKE, N. E.; MORAES, P. O.; BÜTTOW ROLL, V. F. Compostagem da mistura de carcaças de frangos de corte e cama de aviário, **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 2, n. 2, p. 135-152, 2011.

WANG, S.; ZENG, Y. Ammonia emission mitigation in food waste composting: A review. **Bioresource Technology**, v. 283, p. 13-19, 2017.

