



Redução da emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos

Luana G. Sardá¹, Martha M. Higarashi², Susana Muller³, Paulo A. Oliveira² & Jucinei J. Comin⁴

RESUMO

Em conjunto com o crescente desenvolvimento da tecnologia para a produção de suínos ocorreu uma forte exploração e degradação do ambiente, razão pela qual a atividade se transformou em fonte poluidora das regiões produtoras. Buscam-se, então, alternativas que minimizem o potencial poluidor do atual sistema de produção. O trabalho proposto foi comparar o perfil de emissão de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e gás sulfídrico (H₂S) do manejo de dejetos suínos nas formas sólida (compostagem) e líquida (esterqueira), e avaliar a eficiência do processo de compostagem através dos parâmetros físico-químicos. O ensaio foi implantado no campo experimental da EMBRAPA Suínos e Aves, localizada no município de Concórdia, SC. Contatou-se, na compostagem, uma redução de 7 vezes na emissão de CH₄, com relação à esterqueira; a emissão de CO₂ representou 78,5% do carbono total mineralizado. Considerando-se que a emissão de H₂S foi expressiva apenas no manejo dos dejetos na forma líquida, pode-se afirmar que o manejo dos resíduos na forma sólida é uma alternativa para a redução dos impactos ambientais pela mitigação do efeito estufa e pela redução de odores.

Palavras-chave: dejetos suínos, gases de efeito estufa, tratamento de dejetos

Reduction emissions of CO₂, CH₄ and H₂S through composting of swine manure

ABSTRACT

In conjunction with the development of technologies for the production of swine meat, a strong exploration and degradation of the environment occurred and the activity became a source of pollution in the producing regions. Therefore, there is a need for alternative technologies that minimize the pollutant potential of the current system of production. The proposed work was to analyze and to compare the emission of carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and hydrogen sulfide (H₂S) between the management of swine manure in solid form (composting) and liquid manure (deep pit), and assess the efficiency of the process of composting through the physical and chemical parameters. The test was implemented in the experimental field of Embrapa Suínos e Aves, located in Concórdia (SC). The results have showed that composting reduces 7 times the CH₄ emission comparing to deep pit, and emission of CO₂ represented 78.5% of total mineralized carbon. Considering that the emission of H₂S was significant only in the management of waste in liquid form, then management of waste in solid form can reduce the environmental impacts, which tends to be beneficial in terms of mitigation of greenhouse effect and may contribute to the reduction of odors.

Key words: greenhouse gases emissions, treatment swine waste, swine manure

¹ Mestre/UFSC, Rod. Admar Gonzaga, 1346, Itacurubi, CEP 88040-900, Florianópolis, SC. Fone: (48) 3035-6245. E-mail: luanasarda@yahoo.com.br

² Embrapa Suínos e Aves, CP 21, CEP 89700-000, Concórdia, SC. Fone: (49) 3441-0447. E-mail: martha@cnpa.embrapa.br; paolive@cnpa.embrapa.br

³ UNC, Vitor Sopelsa, 3000, CEP 89700-000, Concórdia, SC. Fone: (49) 3441-1000. E-mail: susamuller@hotmail.com

⁴ ENR/UFSC. Fone: (48) 3721-5433. E-mail: jcomin@cca.ufsc.br

INTRODUÇÃO

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de carne suína, ficando atrás apenas da China, União Européia e Estados Unidos, com produção de 2.930 toneladas de carne suína e um rebanho de 34,9 milhões de cabeças (Nakamae, 2007). Estudos desenvolvidos pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) apontam que a produção de carne suína deverá crescer em taxas anuais de 1,5% no período compreendido entre 2003 a 2013, predominantemente em países em desenvolvimento. Isto poderá causar diversos efeitos negativos no ambiente, pelas pressões causadas nos recursos naturais (água, solo e ar), e na estrutura fundiária, por meio da exclusão de produtores tradicionais que não conseguem acompanhar os novos padrões de produção que transformam as unidades cada vez mais especializadas (Miranda, 2007). Porém o Brasil já vem sofrendo estes efeitos nas regiões produtoras de suínos devido ao desenvolvimento acelerado da suinocultura, a partir da década de 70, com a adoção de sistemas confinados de produção.

Dentre os impactos ambientais causados pelo aumento da intensificação e especialização dos produtores, se destacam a poluição das águas superficiais e subterrâneas, a presença de micro-organismos entomopatogênicos, a alteração das características químicas, físicas e biológicas do solo, a poluição do ar pela emissão de gases, tendo como principais o NH₃, CO₂, CH₄, N₂O e H₂S, além da presença de insetos, ocasionando maior desconforto ambiental às populações (Oliveira et al., 2003; Kunz et al., 2007; Dinuccio et al., 2008).

Comumente, o manejo dos dejetos suínos ocorre na forma líquida (concentração de sólidos totais inferior a 8%) com o uso de esterqueiras. Neste sistema se dá um processo de degradação da matéria orgânica a partir da fermentação anaeróbia que possui, como um dos produtos finais, o gás metano (CH₄) que, por sua vez, contribui para o agravamento do efeito estufa no planeta Terra (IPCC, 2007), e o gás sulfídrico (H₂S). Na América do Norte as esterqueiras são responsáveis por 61% da emissão total de metano proveniente do manejo de resíduo animal (Sharpe et al., 2002).

O efluente final desse manejo é utilizado para adubação de lavouras ou pastagens. O destino dos dejetos ocasiona a emissão de odores desagradáveis e de gases poluentes, escoamento da carga orgânica e lixiviação de nutrientes (Oliveira et al., 2003; Segnfredo & Perin Júnior, 2005; Segnfredo, 2007).

Ademais se destaca, dentre os problemas já citados, a emissão do gás sulfídrico (H₂S), que é incolor e potencialmente nocivo visto, que colabora com as chuvas ácidas e pode causar danos à saúde humana, sendo facilmente liberado pelo processo líquido de degradação dos dejetos suínos (Blunden et al., 2008).

Uma das alternativas encontradas para a diminuição dos impactos ambientais citados, é o manejo de dejetos de suínos, na forma sólida (concentração de matéria seca superior a 60%), utilizando-se a compostagem ou sistemas de produção sobre cama. O manejo dos dejetos suínos na forma sólida ocasiona diminuição do teor de água dos dejetos e dos odores provocados pelo atual sistema de armazenamento, por se tratar de um processo aeróbio, no qual o principal produto da degradação

dos resíduos orgânicos é o dióxido de carbono (CO₂). Thompson et al. (2004) observaram uma redução de 50% da emissão de gases de efeito estufa, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), com a utilização do manejo do resíduo animal na forma sólida quando comparado com o manejo na forma líquida.

Considerando que o gás sulfídrico (H₂S) é gerado a partir da decomposição anaeróbia, resultado da mineralização de compostos orgânicos sulfurados ou pela redução de compostos inorgânicos sulfurados oxidados, nota-se que, no processo de compostagem, sua emissão será, provavelmente minimizada de forma drástica ou não ocorrerá.

Pelo exposto, buscou-se monitorar o perfil da emissão de gases poluentes durante o manejo de dejetos suínos nas formas sólida (compostagem) e líquida (esterqueira) e avaliar a eficiência do processo de compostagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Comparou-se a emissão de gases (CO₂, CH₄ e H₂S) do manejo de dejetos suínos nas formas sólida (compostagem) e líquida (esterqueira). O ensaio foi implantado no campo experimental da Embrapa Suínos e Aves, localizada no município de Concórdia, SC, e conduzido no interior de uma edificação construída com cobertura em polietileno transparente, piso e muretas internas e externas em alvenaria e portões frontais metálicos.

O experimento teve dois tratamentos, compostagem e esterqueira, cada um com duas repetições, que consistiram em caixas de madeira de 0,84 m³ de volume e 1,54 m² de área, com as seguintes dimensões internas: 0,545 m de largura, 1,98 m de comprimento e 0,78 m de altura.

Para cada repetição dos dois tratamentos utilizou-se um volume de 735 L de dejetos suínos. No tratamento compostagem utilizaram-se 122,5 kg de substrato (maravalha) para atingir uma relação de 1 kg de substrato: 6 L de dejetos suínos (Oliveira et al., 2004). Nesta fase os dejetos suínos foram incorporados ao substrato em 4 aplicações, com intervalo de 7 dias entre elas, conforme demonstrado na Tabela 1. Após a saturação do substrato iniciou-se a fase de maturação, na qual o material permaneceu no leito de compostagem, até sua secagem.

Tabela 1. Etapas de aplicação do dejetos líquido de suínos

Dias de aplicação dos dejetos líquido de suínos	Porcentagem de aplicação (%)	Quantidade de dejetos líquido suíno (L)
14/07/08	40	294,0
21/07/08	30	220,5
28/07/08	20	147,0
04/08/08	10	73,50

Os dejetos utilizados para o desenvolvimento do trabalho foram coletados na granja de suínos da unidade demonstrativa da Embrapa Suínos e Aves, onde estavam alojados 48 suínos em terminação, com produção diária de 0,336 m³ de dejetos líquido. As características físico-químicas dos resíduos utilizados estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Características Físico-Químicas dos Dejetos Utilizados

Dias de coleta	Carbono Orgânico (%)	Nitrogênio (%)	Sólidos totais (mg L ⁻¹)	Sólidos voláteis (mg L ⁻¹)	Sólidos fixos (mg L ⁻¹)
14/07/08	1,5	0,260	22441,00	16331,00	6609,50
21/07/08	0,99	0,223	21866,00	5655,00	6211,00
28/07/08	1,5	0,329	22263,00	14936,50	7326,50
04/08/08	1,3	0,282	23033,00	16700,50	6332,50

Durante 60 dias a emissão de gases foi monitorada, efetuando-se coletas diárias durante o primeiro mês e duas vezes por semana, durante o segundo mês, tanto nas leiras de compostagem como nas esterqueiras. O equipamento utilizado para o monitoramento da emissão de gases foi o modelo X-AM 7000 da Draeger, equipado com sensores infravermelhos para a medição dos gases metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), e um sensor eletroquímico para medição de gás sulfídrico (H₂S).

A.



B.

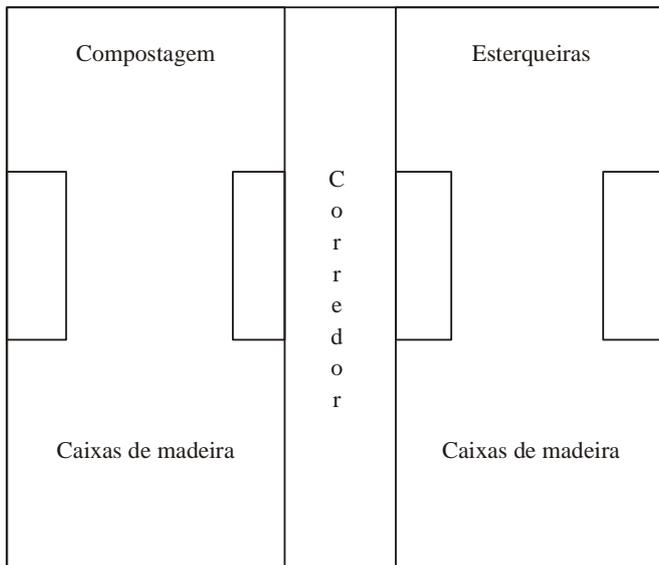


Figura 1. Vista da área experimental externa (A) e esquema interno (B)

A mensuração dos gases foi feita através da metodologia de câmara estática (Figura 2), na qual os gases emitidos pela superfície da compostagem de dejetos suínos são concentrados em uma câmara de polietileno disposta sobre a superfície da leira de compostagem e aspirados em uma vazão de 0,5 L min⁻¹ pelo medidor de gases.

Efetuuou-se em cada leito de compostagem, a leitura de emissão, em três pontos de coleta de gases, durante 3 min, enquanto nas esterqueiras as leituras ocorreram em dois pontos de coleta em cada repetição, durante 2 min. Os dados gerados foram transformados, conforme Sommer & Moller (2000).

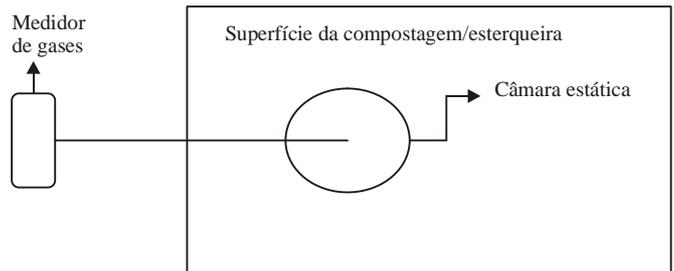


Figura 2. Esquema da utilização da metodologia da câmara estática

As amostras de composto orgânico foram coletadas semanalmente para o acompanhamento da evolução físico-química do processo de compostagem. Coletaram-se cinco subamostras nas profundidades 0,40 e 0,20 m de altura, para formar uma amostra composta, que foram encaminhadas para o laboratório de análises físico-químicas da Embrapa Suínos e Aves, onde foram processadas e analisadas de acordo com as metodologias oficiais (Tedesco et al., 1995; AOAC, 1995)

Os parâmetros analisados foram: matéria seca (MS), carbono orgânico (CO) e nitrogênio total Kjeldahl (NTK); diariamente, se verificou a temperatura interna da leira de compostagem com a utilização de termopares do tipo T(Cu-Co).

Devido a problemas operacionais (mão-de-obra e espaço físico) optou-se por duas repetições por tratamento, o que permitiu a análise dos dados através da média e desvio padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Emissão de gases no manejo sólido e líquido dos dejetos suínos

Percebe-se que o manejo na forma sólida reduz significativamente a emissão e, com o término do processo de fermentação aeróbia, a emissão de gases cessa.

A quantidade de carbono total emitido pelo manejo sólido dos dejetos suínos no período de 60 dias, na forma de C-CH₄ e C-CO₂, foi aproximadamente 776,16 e 2841,64 g m⁻², respectivamente, o que demonstra que 21,45% da mineralização ocorrem via metanogênica e 78,45% pela via aeróbia (geração de CO₂). O pico das emissões de metano (Figura 3) aconteceu nos dias de aplicação dos dejetos de suínos ao substrato (maravalha) e, na seqüência, se iniciou o processo aeróbio; já para o manejo na forma líquida as emissões, principalmente

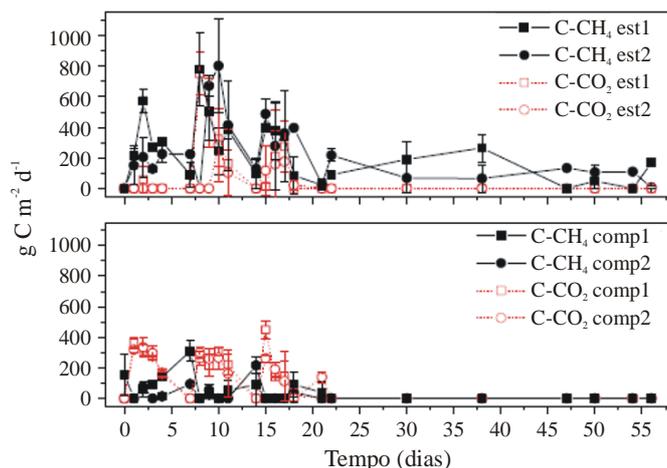


Figura 3. Perfil da emissão de dióxido de carbono (C-CO₂) e de metano (C-CH₄) no manejo dos dejetos suínos na forma líquida, esterqueira (est1 e est2) e na forma sólida, compostagem (comp1 e comp2)

de metano (CH₄) e de gás sulfídrico (H₂S), conforme Figuras 3 e 4, forma mais elevadas e constantes, ou seja, os gases foram emitidos durante todo o processo de armazenamento em função da constante atividade anaeróbica.

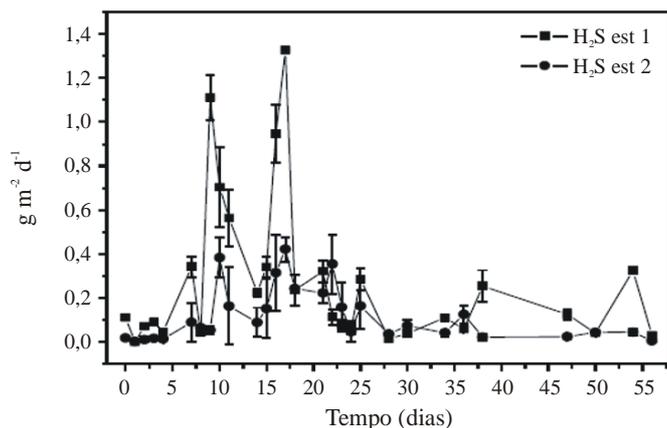


Figura 4. Perfil da emissão de gás sulfídrico (H₂S) no manejo líquido de dejetos suínos, esterqueira (est1 e est2)

A emissão de H₂S nos 60 dias de monitoramento foi de 5,72 g m⁻², e aquela de C-CH₄ e C-CO₂, foi de 5326,25 e 1575,80 g m⁻², respectivamente, isto é, a produção de metano no manejo líquido de dejetos suínos representou 0,12 t de CO₂ equivalente, enquanto na compostagem apenas 0,017 t de CO₂ equivalente, resultados que demonstram a emissão de metano é 7 vezes maior na esterqueira. Ademais, as concentrações de H₂S não forma significativas na compostagem e a emissão de dióxido de carbono representou apenas 22,83% daquela da esterqueira.

A emissão de metano (C-CH₄) na esterqueira permaneceu entre 231,57 ± 7,13 g m⁻² d⁻¹ no período de 60 dias e a emissão de gás sulfídrico (H₂S) foi de 0,20 ± 0,11 g m⁻² d⁻¹. Dinuccio et al. (2008) encontraram valores de 288 ± 4,8 g m⁻² d⁻¹ de metano (CH₄) no tempo de 30 dias, enquanto Sharpe et al. (2002) constataram emissões médias de metano (CH₄) na faixa de 11,53 ± 0,14 g m⁻² d⁻¹ no período

de uma semana, por mês, ao longo de três meses de monitoramento, demonstrando grande variação na emissão de gases no armazenamento líquido de dejetos suínos. Isto se explica pelo fato dos sistemas de armazenamento de dejetos suínos líquido serem muito dinâmicos e sofrerem influências externas em função da velocidade do vento, da temperatura e da umidade do ar; além das variações de dimensionamento (altura, largura e comprimento do depósito) e da temperatura no interior da lagoa; das características físico-químicas dos dejetos suínos armazenados, da microbiota, única em cada região do mundo, e da própria metodologia utilizada para a mensuração dos gases (Sharpe et al., 2002; Sommer et al., 2007; Dinuccio et al., 2008).

Outro fator que afeta a emissão de gases é a formação de uma crosta na superfície das esterqueiras, que apresenta teor de matéria seca mais elevado por possuir maior contato com o ar atmosférico estabilizando, durante alguns períodos, as concentrações dos gases (Moller et al., 2004; Sommer et al., 2007; Blunden et al., 2008; Dinuccio et al., 2008). Moller et al. (2004) e Dinuccio et al. (2008) comprovaram que na fração sólida do resíduo animal em esterqueiras ocorre menor produção de gases, o que deixaria as concentrações dos gases em níveis mais baixos e constantes após alguns dias de armazenamento, como se observa nas Figuras 3 e 4.

No manejo sólido de dejetos suínos, nas emissões de carbono na forma de metano (C-CH₄) e de dióxido de carbono (C-CO₂) durante os 21 dias da fase de incorporação de dejetos suínos (fase de maior emissão), se encontraram valores de 48,51 e 177,60 g m⁻² d⁻¹, respectivamente, demonstrando que na compostagem ocorre maior emissão de dióxido de carbono (CO₂), ao contrário das esterqueiras. Verificou-se, em trabalhos desenvolvidos com compostagem, que a perda de C através da emissão de CO₂ é maior que a de CH₄ (Wolter et al., 2004; Hobson et al., 2005; Paillat et al., 2005).

Desta forma, o manejo dos resíduos da suinocultura na forma sólida reduz consideravelmente a emissão de gases de efeito estufa (CH₄ e CO₂) e do gás sulfídrico (H₂S), além de diminuir significativamente os odores; no entanto, como existem diversos fatores que influenciam fortemente a emissão de gases no processo de compostagem, a eficácia do processo dependerá do controle do teor de matéria orgânica e de água do dejetos utilizado, da umidade, da atividade microbiológica e da relação carbono/nitrogênio.

Eficiência do processo de compostagem

Neste trabalho se utilizaram dejetos com teor médio de sólidos totais de 2,236 % (Tabela 2), o que afetou a eficiência do processo de compostagem visto que as temperaturas não ultrapassaram 52 °C (Figura 5) e a relação C/N final permaneceu em 39,53, considerando-se que a inicial foi de 106,07 (Tabela 3). Uma compostagem aeróbica é um processo em que os micro-organismos transformam naturalmente o material biodegradável em produto humificado, destruindo os micro-organismos patogênicos, e convertendo o nitrogênio, que está instável, em formas orgânicas estáveis. Também reduz o volume dos resíduos e permite sua utilização como adubo, para a produção de alimentos, razão pela qual se destaca a importância da utilização de dejetos com teor

Tabela 3. Evolução da matéria seca e da relação carbono/nitrogênio (C/N) do composto orgânico

Dias	Matéria Seca	Relação C/N
0	34,14	106,07
7	31,52	46,08
14	31,55	44,40
21	25,30	39,24
28	28,90	45,20
42	31,50	44,08
56	32,00	39,53

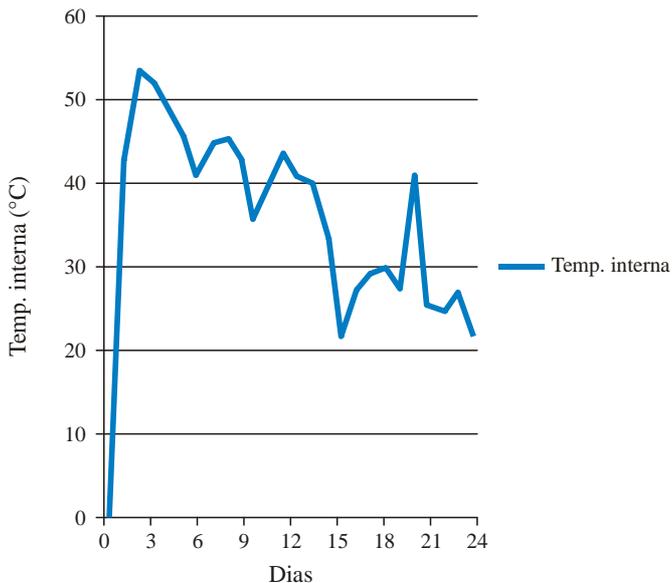


Figura 5. Média das temperaturas internas das leiras de compostagem

de sólidos acima de 3%, pois com isto se aumenta o teor de carbono orgânico do material.

Para que o processo de compostagem seja realizado com sucesso, deve-se ter cuidado com alguns fatores, como: temperatura, aeração, umidade e controle apropriado da concentração de nutrientes. A relação C/N é o fator mais importante com referência à eficiência do processo de compostagem e para a qualidade do composto, para posterior utilização como adubo (Zhu, 2006).

Para que se atinja uma relação C/N final ideal (≤ 20) deve-se aumentar o teor de carbono orgânico para facilitar o desenvolvimento dos micro-organismos termofílicos, responsáveis pela elevação das temperaturas, e a aceleração do processo de degradação dos resíduos orgânicos. Com queda da temperatura, a atividade dos micro-organismos termofílicos diminui e ocorre a perda de calor junto à evaporação de água (Paillat et al., 2005; Zhu, 2007).

Huang et al. (2006) avaliaram alguns parâmetros físico-químicos na compostagem de dejetos suínos e observaram um decréscimo gradual do teor de carbono orgânico e aumento das temperaturas ao longo de 21 dias; em seguida, as temperaturas começaram a declinar e a relação C/N também diminuiu consideravelmente no final do processo de compostagem, período compreendido até os 63 dias, demonstrando

que o composto atingiu a maturação e poderia ser utilizado como adubo orgânico.

Assim, é importante lembrar que o manejo dos dejetos na forma sólida será mais eficiente conforme se aumenta o teor de sólidos nos dejetos suínos pela elevação do teor de carbono orgânico e a diminuição da relação carbono/nitrogênio, proporcionando um composto orgânico com maior concentração de nutrientes e de melhor valor econômico.

CONCLUSÕES

1. A emissão de CH_4 foi reduzida em 7 vezes no processo de compostagem e a emissão de CO_2 representou 78,5% do carbono total mineralizado.
2. Como a emissão de H_2S foi inexpressiva na compostagem, o manejo dos resíduos na forma sólida reduz os impactos ambientais pela mitigação do efeito estufa e a redução de odores.
3. Baixo teor de sólidos nos dejetos prejudica a eficiência da compostagem.

LITERATURA CITADA

- AOAC – Association of Official Analytical Chemists International. Official methods of Analysis. Virginia: Patricia Cunniff, v.1, 1995. Cap.4, 3p.
- Blunden, J.; Aneja, V. P.; Overton, J. H. Modeling hydrogen sulfide emissions across the gás-liquid interface of an anaerobic swine waste treatment storage system. *Atmospheric Environment*, v.42, p.5602-5611, 2008.
- Dinuccio, E.; Berg, W.; Balsari, P. Gaseous emissions from storage of untreated slurries and the fractions obtained after mechanical separation. *Atmospheric Environment*, v.42, p.2448-2459, 2008.
- Hobson, A. M.; Frederickson, J.; Dise, N. B. CH_4 e N_2O from mechanically turned windrow and vermicomposting systems following in-vessel pre-treatment. *Waste Management*, v.25, p.345-352, 2005.
- Huang, G. F.; Wu, Q. T.; Wong, J. W. C.; Nagar, B. B. Transformation of organic matter during composting of pig manure with sawdust. *Bioresource Technology*, v.97, p.1834-1842, 2006.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change: The physical science basis. Paris: 2007.996p.
- Kunz, A.; Higarashi, M. M.; Oliveira, P. A. Redução da carga de poluente a questão dos nutrientes. In: Segnanfredo, A. M. Gestão ambiental na suinocultura. Brasília: EMBRAPA, 2007. 302p.
- Miranda, R. C. Aspectos ambientais da suinocultura brasileira. In: Segnanfredo, A. M. Gestão ambiental na suinocultura. Brasília: EMBRAPA, 2007. 302p.
- Moller, H. B.; Sommer, S. G.; Ahring, B. K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass & Bioenergy*, v.26, p.485-495, 2004.
- Nakamae, I. J. Anualpec 2007 : Anuário da pecuária brasileira. São Paulo: Instituto FNP, 2007. 340p.

- Oliveira, P. A.; Daí Pra, M. A.; Konzen, E. A. Unidade de transformação dos dejetos líquidos em composto orgânico. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos – Manual de boas práticas. PNMA II. Concórdia: Embrapa CNPSA, 2004. 109p.
- Oliveira, P. A.; Higarashi, M. M.; Nunes, M. L. Emissão de gases, na suinocultura, que provocam efeito estufa, Sustentabilidade ambiental da suinocultura. Concórdia, SC. Embrapa Suínos e Aves, 2003. www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_artigos/artigos_t763q2u.pdf. 21 Out. 2007.
- Paillat, J. M.; Robin, P.; Hassouna, M.; Leterme, P. Predicting ammonia and carbon dioxide emissions from carbon and nitrogen biodegradability during animal waste composting. *Atmospheric Environment*, v.29, p.6833-6842, 2005.
- Seganfredo, M. A. Os dejetos de suínos e seus riscos ambientais no uso como fertilizante. Embrapa Suíno Aves, Concórdia SC, 2007. <http://www.cnpsa.embrapa/artigos>. 21 de Out. 2007.
- Seganfredo, M. A.; Perin Junior, V. Dejetos suínos: Adubo ou poluente. Embrapa Avesa, Concórdia, 2005. <http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/artigos>. 10 Dez. 2007
- Sharpe, R. R.; Harper, L. A.; Byers, F. M. Methane emissions from swine lagoons in Southeastern US. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.90, p.17-24, 2002.
- Sommer, S. G.; Moller, H. B. Emission of greenhouse during composting of deep litter from pig production – effect of straw content. *Journal of Agricultural Science*, v.134, p.327-335, 2000.
- Sommer, S. G.; Soren, O. P.; Sorensen, P.; Poulsen, D. H.; Moller, H. B. Methane and carbon diode emissions and nitrogen turnover during liquid manure storage. *Nutr Cycl Agroecosyst*, v.78, p.27-36, 2007.
- Tedesco, M. J.; Gainello, C.; Bissani, C. A.; Bohnen, H.; Volkweiss, J. S. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. Boletim Técnico, n.5.
- Thompson, A. G.; Wagner-Riddle, C.; Fleming, R. Emissions of N₂O and CH₂ during the composting of liquid swine manure. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.91, p.87-104, 2004.
- Wolter, M.; Prayitno, S.; Schuchardat, F. Greenhouse gas emission during storage of pig manure on a pilot scale. *Bioresource Technology*, v.95, p.235-244, 2004.
- Zhu, N. Effect of low initial C/N ratio aerobic composting of swine manure with rice straw. *Bioresource Technology*, v.98, p.9-13, 2007.