

## O papel da compostagem de resíduos orgânicos urbanos na mitigação de emissões de metano





ISSN 1517-2627

Dezembro, 2010

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

## **Documentos 127**

### **O papel da compostagem de resíduos orgânicos urbanos na mitigação de emissões de metano**

*Caio de Teves Inácio  
Daniel Beltrão Bettio  
Paul Richard Momsen Miller*

Embrapa Solos  
Rio de Janeiro, RJ  
2010

**Embrapa Solos**

Rua Jardim Botânico, 1.024 - Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2179-4500

Fax: (21) 2274-5291

Home page: [www.cnps.embrapa.br](http://www.cnps.embrapa.br)

E-mail (sac): [sac@cnps.embrapa.br](mailto:sac@cnps.embrapa.br)

**Comitê Local de Publicações**

**Presidente:** Daniel Vidal Pérez

**Secretário-Executivo:** Jacqueline Silva Rezende Mattos

**Membros:** Ademar Barros da Silva, Cláudia Regina Delaia, Maurício Rizzato Coelho, Elaine Cristina Cardoso Fidalgo, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Ana Paula Dias Turetta, Fabiano de Carvalho Balieiro, Quitéria Sônia Cordeiro dos Santos.

**Supervisor editorial:** *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

**Normalização bibliográfica:** *Ricardo Arcaño de Lima*

**Revisão de texto:** *André Luiz da Silva Lopes*

**Editoração eletrônica:** *Julia Rodrigues Santos de Pinho Mineiro*

**1ª edição**

1ª impressão (2010): online

**Todos os direitos reservados.**

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

---

135p Inácio, Caio de Teves.

O papel da compostagem de resíduos orgânicos urbanos na mitigação de emissão de metano / Caio de Teves Inácio, Daniel Beltrão Bettio e Paul Richard Momsen Miller. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2010. 22 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 127)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: < <http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/publicacao.html> > .

Título da página da Web (acesso em 21 dez. 2010).

1. Compostagem. 2. Resíduos orgânicos. 3. Emissão de metano. I. Bettio, Daniel Beltrão. II. Miller, Paul Richard Momsen. III. Título. IV. Série.

CDD (21.ed.) 631.8

## **Autores**

**Caio de Teves Inácio**

Pesquisador da Embrapa Solos; Mestre Eng. de  
Produção e Engenharia Ambiental.

E-mail: caio@cnpq.embrapa.br

**Daniel Beltrão Bettio**

Engenheiro agrônomo - Universidade Federal de  
Santa Catarina.

E-mail: danielbettio1@hotmail.com

**Paul Richard Momsen Miller**

Professor associado da Universidade Federal de  
Santa Catarina, Departamento de Engenharia Rural;  
Doutor em Ecologia Aplicada.

E-mail: rick@mbox1.ufsc.br

## **Apresentação**

Atividades agrícolas, agroindustriais e urbanas geram grandes quantidades de resíduos orgânicos que são uma importante fonte de gases de efeito estufa para a atmosfera. A forma de disposição final ou tratamento desses resíduos é decisiva na quantidade desses gases de efeito estufa que são emitidos. Algumas tecnologias são consideradas mitigadoras, por exemplo a compostagem, por reduzirem as emissões de gases de efeito estufa por tonelada de resíduo tratado. Neste documento abordaremos as diferenças entre as principais tecnologias de tratamento de resíduos orgânicos e demonstraremos, através das metodologias aprovadas pelo IPCC, o cálculo de reduções de emissões de metano para projetos de compostagem de resíduos orgânicos urbanos.

*Caio de Teves Inácio*  
Pesquisador Embrapa Solos

## Sumário

Emissões de gases-estufa: contribuição da geração de resíduos orgânicos .....	9
Sistemas aeróbios e sistemas anaeróbios de tratamento .....	12
Metodologias de cálculo de emissões .....	15
Potencial de mitigação de metano por projetos de compostagem .....	16
Conclusão .....	20
Referências .....	20

# O papel da compostagem de resíduos orgânicos urbanos na mitigação de emissões de metano

---

*Caio de Teves Inácio*

*Daniel Beltrão Bettio*

*Paul Richard Momsen Miller*

## Emissões de gases-estufa: contribuição da geração de resíduos orgânicos

O aumento acentuado da concentração de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, especialmente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), tem sido atribuído às fontes antropogênicas, em razão das atividades econômicas como transporte, produção industrial, produção agropecuária, produção de energia, etc. (Figura 1). A Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (*United Nations Framework for Convention on Climate Change* – UNFCCC) apresenta metodologias para o inventário de emissões e para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) relacionados à geração, ao tratamento e a disposição de resíduos orgânicos em dois setores distintos: (a) resíduos urbanos, que considera os restos de alimentos; e (b) agropecuária, que leva em conta os dejetos de criações animais.

Para o Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC), “o aquecimento do sistema climático é inequívoco” e é causado pelo aumento dos GEE na atmosfera resultante das emissões das atividades humanas (IPCC, 2007). As emissões globais antropogênicas de GEE aumentaram cerca de 70% apenas entre 1970 e 2004. A concentração atmosférica de  $\text{CO}_2$  saltou de 280 ppm para 379 ppm até 2005. O  $\text{CH}_4$  teve sua concentração atmosférica elevada de 715 ppb

para 1732 ppb, e o  $N_2O$  de 270 ppb para 319 ppb até 2005 (IPCC, 2007). Evidências sustentam essa afirmação, como as observações de aumento da média global de temperatura do ar e de oceanos, derretimento de neve e gelo e aumento do nível dos mares. Projeções do IPCC asseguram que o aquecimento global continuado resultará em mudanças climáticas globais relevantes que justificam ações de redução de emissões (mitigação) de gases de efeito estufa. Essas ações de mitigação se traduziram em compromissos entre Países signatários na Convenção do Clima.

Considerando apenas o  $CH_4$ , estima-se que o tratamento e disposição de resíduos urbanos representem 13% das emissões antropogênicas deste GEE. Os aterros sanitários são as principais fontes dessas emissões seguidos dos sistemas de tratamento de águas residuárias. Os dejetos das criações animais em confinamento (suínos, aves e gado) responderiam por 4% das emissões anuais de metano (BARTON et al., 2008).

As emissões de  $N_2O$  são consideradas, atualmente, insignificantes nos aterros, mas ganham alguma importância no tratamento anaeróbio/semi-aeróbio de águas residuárias e dejetos suínos, que contém nitrogênio em maior concentração (IPCC, 2007; VANOTTI et al., 2008).

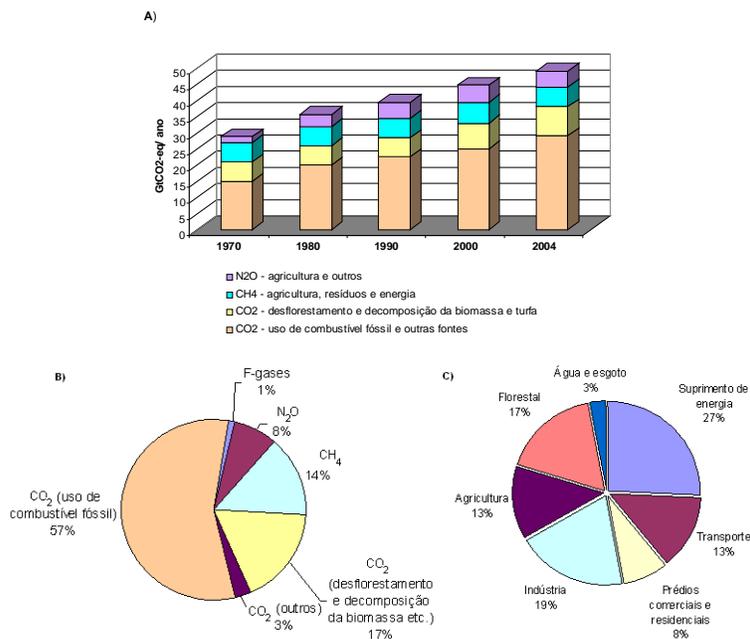


Figura 1- (a) Emissões antropogênicas globais de GEE de 1970 até 2004 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e fluor-carbonos). (b) Contribuição dos diferentes GEE em relação às emissões totais em 2004, em termos de  $\text{CO}_2$ -eq<sup>1</sup>. (c) Contribuição dos diferentes setores em relação às emissões totais de GEE em 2004, em termos de  $\text{CO}_2$ -eq. (Extraído de: IPCC, 2007).

<sup>1</sup> **Emissão equivalente ao  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2$ -eq)** é a quantidade de emissões de  $\text{CO}_2$  que podem causar a mesma forçante radiativa integrada no tempo, em um dado horizonte de tempo, como uma quantidade emitida de GEE de vida longa ou uma mistura de GEE. A emissão equivalente de  $\text{CO}_2$  é obtida pela multiplicação da emissão de um GEE pelo seu Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential -GWP*) para um dado horizonte de tempo. Para uma mistura de GEE é obtido pela soma das emissões equivalentes de  $\text{CO}_2$  de cada gás. Emissão equivalente de  $\text{CO}_2$  é um padrão e uma métrica útil para comparações de emissões de diferentes GEE, mas não implica na mesma resposta em mudança climática. **Concentração  $\text{CO}_2$  equivalente** é a concentração de  $\text{CO}_2$  que poderia causar a mesma quantidade de forçante radiativa que uma dada mistura de  $\text{CO}_2$  e outros GEE (IPCC, 2007).

## Sistemas aeróbios e sistemas anaeróbios de tratamento

A biodecomposição anaeróbia da matéria orgânica, a qual gera  $\text{CH}_4$  como principal gás típico do processo, está presente no tratamento e armazenamento de dejetos de animais, especialmente de suínos e bovinos confinados, em lagoas facultativas ou em esterqueiras, bem como os resíduos sólidos orgânicos urbanos que são comumente depositados em aterros sanitários.

Como tecnologia de processo aeróbio, a compostagem tem sido usada com sucesso para o tratamento de resíduos orgânicos oriundos da agricultura, de processos industriais e de atividades urbanas. Alguns exemplos são a compostagem de restos de alimentos, de dejetos de suínos, aves e bovinos confinados, de tortas de filtro de cana-de-açúcar e de lodos de esgoto (biossólidos). A compostagem se caracteriza por ser um processo biológico aeróbio e termófilo, controlado e manejado, de degradação de sólidos orgânicos, que resulta em um produto orgânico mais estável, química e biologicamente, para uso como insumo agrícola (VANDERGHEYNST et al., 1997; EPSTEIN, 1997). Por ser um processo aeróbio, a compostagem gera baixas quantidades de metano por tonelada de resíduo orgânico em comparação com formas de tratamento anaeróbio ou disposição em aterro (AMLINGER et al., 2008; BARTON et al., 2008; VANOTTI et al., 2009; PICKIN et al., 2002).

Desta forma, a compostagem de resíduos apresenta grande potencial como estratégia (ação) de mitigação das emissões de metano, mesmo no contexto de amplos sistemas de gestão de resíduos urbanos, agrícolas ou agroindustriais. A Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (*United Nations Framework for Convention on Climate Change - UNFCCC*, na sigla em Inglês) apresenta algumas metodologias aprovadas para cálculo de balanço de emissões e reduções certificadas de carbono (RCE), em projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) que incluem a compostagem.

No entanto, certas condições de operação do processo de compostagem podem levar à emissão relativamente mais alta de metano do que o esperado

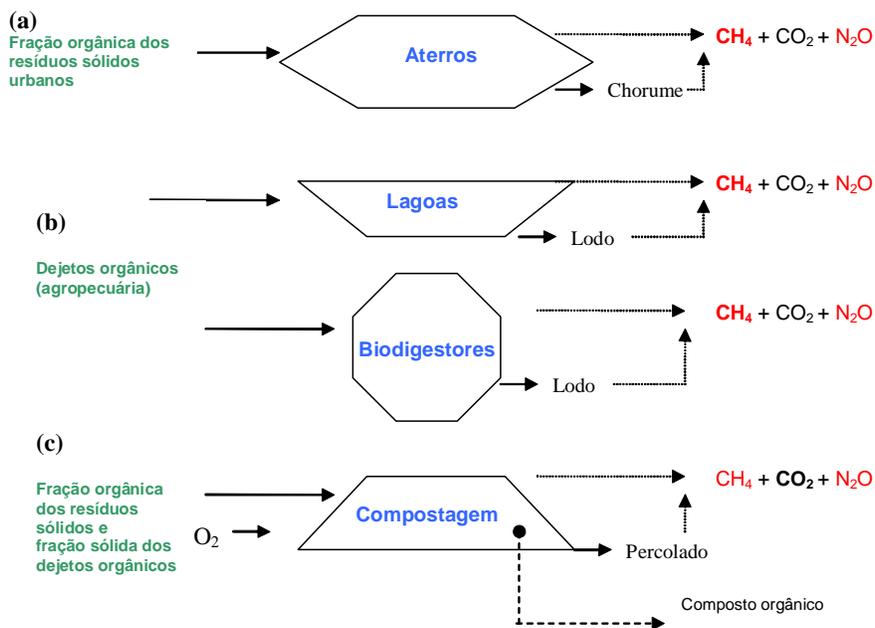
devido às condições de anaerobiose ou parcial aerobiose (THOMPSON et al., 2004). A compostagem pode ser realizada seguindo diferentes métodos, com diferentes tipos de resíduos e em diferentes escalas. Todas essas são condições que influenciam as emissões de metano porque interferem nos fatores ecológicos<sup>2</sup> que governam o processo biológico da compostagem, principalmente a disponibilidade de oxigênio para a atividade biológica (MILLER, 1993). Por isso, as emissões de metano podem variar fortemente de um processo para outro, dependendo do manejo. Nesse sentido, a dinâmica de gases e a emissão de metano em leiras de compostagem são um indicador da eficiência do processo biológico aeróbio e termófilo desejado.

A Figura 2 mostra a representação comparativa entre sistemas de tratamento de resíduos orgânicos (urbanos e agropecuários) largamente empregados no Brasil. A geração de GEE nos sistemas de tratamento de resíduos urbanos pode ser fortemente reduzida através de sistemas aeróbios, entre eles a compostagem, e processos térmicos de aproveitamento de energia (IPCC, 2007). Sistemas aeróbios controlados de compostagem também são indicados para o manejo dos dejetos animais na agropecuária.

Para Barton et al. (2008), o gerenciamento de resíduos orgânicos tem potencial para ser uma rota de fluxo de recursos para países em desenvolvimento via Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), geradores de Reduções Certificáveis de Emissões (RCE) no âmbito do Protocolo de Quioto. Esta conclusão se baseou na análise de ciclo de vida de arranjos de tratamento e disposição de resíduos já estabelecidos e largamente encontrados, ou em países desenvolvidos ou em países em desenvolvimento. Os cenários mais favoráveis, em termos de carbono-eficiência, foram os que incluem e/ou associam a compostagem e a digestão anaeróbia com aproveitamento energético (BARTON et al., 2008, PICKINS et al., 2002, ADHIKARI et al., 2006).

---

<sup>2</sup> Entende-se por fatores ecológicos no processo de compostagem a temperatura, a concentração de  $O_2$ , a umidade, o pH, potencial de oxirredução, disponibilidade de carbono e nitrogênio, entre outros que podem vir a influenciar a atividade microbiana.



\*A geração de metano predomina nos sistemas anaeróbios (a e b) e este gás pode ser aproveitado na geração de energia ou simplesmente queimado.

\*\*Na compostagem, sistema aeróbio, a geração de metano é extremamente reduzida.

\*\*\*Em todos os casos apenas o metano e o óxido nitroso são contabilizados como gases-estufa, já que o  $\text{CO}_2$  emitido tem origem na captura via fotossíntese.

**Figura 2** - Comparativo teórico das emissões de gases de efeito estufa entre sistemas anaeróbios de tratamento e o sistema aeróbio de compostagem: (a) aterros de resíduos sólidos urbanos; (b) processos anaeróbios de tratamento de dejetos suínos; (c) processo de aeróbio de compostagem.

## Metodologias de cálculo de emissões

A United Nations Framework Convention on Climate Change - UNFCCC tem aprovado e revisado anualmente metodologias de cálculo de emissões de gases de efeito estufa para subsidiar inventários de emissões e projetos MDL (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo) na área de tratamento e disposição de resíduos orgânicos, seja de origem urbana ou agropecuária.

A metodologia de cálculo aprovada AMS.III.F (*Avoidance of methane emissions through controlled biological treatment of biomass*) sugere como fator de emissão de metano para a compostagem o valor de 4,0 kg/Mg de resíduos, na base úmida, e 10,0 kg/Mg de resíduo, na base seca. É prevista a possibilidade de uso de valores específicos para os projetos, desde que mensurados apropriadamente. A AMS.III.F é indicada para comparações de emissões de metano oriundas da disposição de resíduos orgânicos em aterros sanitários (linha de base) com projetos de tratamentos biológicos como a compostagem. Considerando o fator de emissão padrão da metodologia (AMS.III,F) para aterros de resíduos, 1,0 Mg de restos de alimentos gera cerca de 0,85 tCO<sub>2</sub>-eq, referente às emissões de metano, em um período de 10 anos. Esta mesma quantidade de resíduo enviada para um processo de compostagem geraria apenas 0,084 tCO<sub>2</sub>-eq, resultando em um potencial de mitigação das emissões de metano de cerca de 90%, considerando a metodologia de cálculo citada.

O mesmo efeito de mitigação de emissões de metano através da tecnologia da compostagem é aplicado para tratamento de dejetos suínos. Vanotti et al. (2008) demonstraram que um sistema de tratamento de dejetos suínos baseado em tecnologias aeróbias, que incluem a compostagem para tratamento da fração orgânica sólida, reduziu em cerca de 96,9% as emissões de metano e óxido nitroso (em tCO<sub>2</sub>-eq) quando comparado à tecnologia usual de deposição de dejetos em lagoas. Nesta comparação, foi empregada a metodologia de cálculo AM0006 (*GHG emission reductions from manure management systems. Approved baseline methodology, version 01*), que usa a quantidade de sólidos voláteis dos dejetos e o tipo de tecnologia para estimar as emissões de gases de efeito estufa do projeto.

## Potencial de mitigação de metano por projetos de compostagem

As metodologias de cálculo de emissões de GEE apresentadas acima foram usadas na avaliação do potencial de contribuição para mitigação de emissões de metano de cinco projetos de compostagem de pequena escala de resíduo orgânicos de restaurantes (Figura 3). Todos os projetos usam o mesmo método de compostagem em Leiras Estáticas com Aeração Passiva (Figura 4).

Para realizar os cálculos da emissão de metano foram utilizados dados coletados referentes a pesagens de resíduos orgânicos que são destinados aos seguintes projetos de compostagem: A) Projeto Piloto de Compostagem – Localizado em Florianópolis/SC, recicla 4,0 ton/dia de restos de alimentos; B) Projeto de Reciclagem Orgânica da UFSC – Localizado em Florianópolis/SC, recicla 1,2 ton/dia de restos de alimentos; C) Projeto de Reciclagem Orgânica do CEASA – Localizado no município de São José/SC, recicla 4,6 ton/dia de restos de frutas e vegetais; D) Projeto de Reciclagem Orgânica do município de Garopaba/SC – recicla 1,5 ton/dia de resíduos orgânicos urbanos; E) Projeto de Reciclagem Orgânica AIRJ – Localizado na cidade de Rio de Janeiro/RJ, recicla 0,8 ton/dia de restos de alimentos. A soma das médias anuais dos cinco projetos resulta em aproximadamente 4.191 ton/ano de resíduos orgânicos processados.



Foto: Caio de Teves Inácio.

Figura 3 - Resíduos orgânicos de restaurantes.



Foto: Caio de Teves Inácio.

Figura 4 – Leira de compostagem.

A quantidade de metano gerado pelos resíduos orgânicos considerados acima, se enviados a um aterro, é calculada segundo o modelo da ferramenta metodológica aprovada pela UNFCCC - *“Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site”*, versão 04, EB41, Report Anexo 10 – Equação (1) abaixo:

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \phi \cdot (1-f) \cdot GWP_{CH_4} \cdot (1-OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_i W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j(y-x)} \cdot (1-e^{-k_j})$$

Onde;  $\phi = 0,9$  (fator de correção do modelo que leva em conta as incertezas do modelo);  $f = 0$  (fração do metano capturado no aterro para queima ou uso);  $GWP_{CH_4} = 21$  (potencial de aquecimento global do metano);  $OX = 0,1$  (fator de oxidação de metano) utilizado para aterros bem manejados;  $F = 0,5$  (fração volumétrica de metano no gás emitido pelo aterro);  $DOC_f = 0,5$  (fração de carbono orgânico degradável que pode degradar efetivamente dentro do aterro);  $MCF = 1$  (fator de correção do metano para aterros anaeróbicos);  $W_{j,x} = 4.190,6$  Mg (massa fresca de resíduo orgânico tipo  $j$  não depositado no aterro no ano  $x$ ) - média anual de todos os projetos;  $DOC_j$  (fração de carbono orgânico degradável por peso, base úmida, do resíduo

orgânico tipo j) = 0,15 (15%) para restos de comida ;  $K_j = 0,40$  (taxa de decomposição para o resíduo do tipo j que leva em conta o clima tropical, com média anual de temperatura  $> 20^\circ\text{C}$ , e o regime de chuvas que influenciaram o aterro, com média anual de precipitação  $> 1.000$  mm);  $x$  = primeiro ano do período;  $y$  = último ano do período.

O fator de emissão da compostagem é  $4,0 \text{ gCH}_4/\text{kg}$  de resíduo (massa fresca). As emissões evitadas de  $\text{CO}_2$  com a redução do transporte dos resíduos não foram calculadas neste trabalho, nem as emissões relativas a uso de energia elétrica. Em relação aos projetos alternativos A, B e E o aterro sanitário dista aproximadamente 25 km, enquanto, que para o projeto D o aterro localiza-se a 70 km e para o projeto C essa distância é de 20 km.

De acordo com a metodologia de cálculo empregada, o processo de compostagem apresentou significativa diferença quanto às emissões de metano quando comparado aos valores do aterro sanitário, emitindo quantidade aproximadamente 10 vezes menor.

O processo de decomposição anaeróbica que ocorre nos aterros sanitários produz elevada emissão de metano para atmosfera. A Figura 5 compara as emissões de metano em ambas as condições, mostrando a linha de base (aterro) e a emissão dos projetos alternativos. Para este cálculo, considerou-se a condição de depósito de resíduos durante os 10 anos e o horizonte de emissão de até 20 anos para o aterro. A compostagem apresentou emissão de  $3.520 \text{ tCO}_2\text{-eq}$ , em 10 anos, enquanto o aterro sanitário emitiu  $28.527 \text{ tCO}_2\text{-eq}$ , e continuará emitindo metano por pelo menos 10 anos, chegando a  $35.510 \text{ tCO}_2\text{-eq}$  em 20 anos.



**Figura 5** – Gráfico comparativo das emissões de metano pela compostagem (MDL) e o aterro sanitário (linha de base) sem recuperação de metano, em tCO<sub>2</sub>-eq, gerados por 4.190,6 toneladas de resíduos orgânicos depositados anualmente, durante 10 anos. O valor 4.190,6 ton é a soma das médias anuais de resíduos destinados a cinco projetos de compostagem de pequena escala. Metodologia de cálculo: AMS.III.F,UNFCCC (Fonte: INÁCIO et al., 2009).

As quantidades relativas a reduções de emissões de gases de efeito estufa atribuídas a atividade de projeto resultam em Reduções Certificadas de Emissões (RCE), medidas em tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>-eq). Nos 10 primeiros anos as emissões evitadas pelos projetos alternativos chegam a 25.007 tCO<sub>2</sub>-eq.

As emissões acumuladas de metano geradas pelo aterro em 20 anos atingiram o valor de 35.510,76 tCO<sub>2</sub>-eq. Subtraindo este valor pela quantidade emitida dos projetos de MDL, obtemos 31.990,76 tCO<sub>2</sub>-eq, que significa o quanto foi reduzido das emissões de metano, quando 4.190,6 toneladas de resíduos orgânicos foram destinadas aos projetos de MDL ao invés do aterro, durante 10 anos.

Esta redução calculada de emissão de CH<sub>4</sub> pode ser ainda maior, já que o fator de emissão real da compostagem pode ser menor que o padrão adotado na metodologia dependendo do tipo de resíduo e do gerenciamento do processo. Medições recentes efetuadas no pátio de compostagem do AIRJ estimaram o fator de emissão de CH<sub>4</sub> em 1,2 gCH<sub>4</sub>/kg de resíduo (INÁCIO et al., 2011), o que equivale a 30% do valor adotado de 4,0 gCH<sub>4</sub>/kg, considerando a massa fresca do resíduo.

## Conclusão

Apesar de projetos de pequena escala individualmente gerarem quantidade de RCE que pode não ser suficiente para viabilizar o processo de registro de um MDL devido aos custos de transação, ficou demonstrado pelos cálculos que um conjunto de pequenos projetos poderia ter esse potencial viabilizado. A contribuição da compostagem de resíduos orgânicos para mitigação das emissões de metano em sistemas de tratamento e gerenciamento de resíduos ou dejetos orgânicos é evidente. Em princípio, a compostagem é uma tecnologia de baixo investimento e custo de manutenção, o que poderia refletir em custo de abatimento por tCO<sub>2</sub>-eq menor quando comparado aos projetos de captura de metano em aterros ou biodigestores (dejetos). A compostagem ainda gera o composto orgânico, produto final de alta qualidade para uso agrícola e com valor comercial, por exemplo como substrato para mudas de hortaliças, frutíferas e espécies florestais. Na aplicação agrícola o composto orgânico recicla nutrientes e carbono para o solo.

## Referências

- ADHIKARI, B. K.; BARRINGTON, S.; MARTINEZ, J. Predicted growth of world urban food waste and methane production. **Waste Management & Research**, v. 24, p. 421–433, 2006.
- AMLINGER, F.; PEYR, S.; C. CURLS. Green house gas emissions from composting and mechanical biological treatment. **Waste Management & Research**, v. 26, p. 47-60, 2008.
- BARTON, J. R.; ISSAIAS, I.; STENTIFORD, E. I. Carbon – making the right choice for waste management in developing countries. **Waste Management**, v. 28, p. 690-698, 2008.
- EPSTEIN, E. **The Science of Composting**. Pennsylvania: Technomic Publishing, 1997. p. 493.

INÁCIO, C. T.; BETTIO, D. B.; MILLER, P. R. M. Potencial de mitigação de emissões de metano via projetos de compostagem de pequena escala.. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, 2009. Vitória-ES. **Anais...** [Viçosa]: SBCS, 2009.

INACIO, C. T.; PROCOPIO, A. S.; MILLER, P. R. M.; TEIXEIRA, C. Dinâmica de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> em leiras estáticas de compostagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2011. (no prelo)

IPCC. **2007 Climate Change Synthesis Report**: intergovernmental panel on climate change. Geneva, 2007. p. 104. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_ipcc\\_fourth\\_assessment\\_report\\_synthesis\\_report.htm](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm)>. Acesso em: 25 mai. 2010.

MILLER, F. C. Composting as a Process Base on the Control of Ecologically Selective Factors. In: METTING JR.; DEKKER, M. (Ed.). **Soil microbial ecology**: application in agricultural and environmental management. New York: CRC Press, 1993. p. 515-541.

PICKIN, J. G.; YUEN, S. T. S. HENNINGS, H. Waste management options to reduce greenhouse gas emissions from paper in Australia. **Atmospheric Environment**, v. 36, p.741-752, 2002.

THOMPSON, A. G.; WAGNER-RIDDLE, C.; Fleming, R. Emissions of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> during the composting of liquid swine manure. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 91, p. 87-104, 2004.

UNFCCC. **Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site**: version 04, EB41, Report Anex 10. Disponível em <<http://unfccc.int/2860.php>>. Acesso em: 26 maio 2008.

UNFCCC. **Avoidance of methane emissions through controlled biological treatment of biomass** - version 6. Disponível em: <<http://unfccc.int/2860.php>>. Acesso em: 26 maio 2008.

VANDERGHEYNST, J. S.; GOSSETT, J. M.; WALKER L. P. High-solid aerobic decomposition: pilot-scale reactor development and experimentation. **Process Biochemistry**, v. 32, p. 361-375, 1997.

VANOTTI, M. B.; SZOGI, A. A.; VIVES, C. A. Greenhouse gas emission reduction and environmental quality improvement from implementation of aerobic waste treatment systems in swine farms. **Waste Management**, v. 28, p. 759–766, 2008.