

### **III-143 – OXIDAÇÃO DE METANO EM CAMADA DE COBERTURA DE ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

**Régia Lúcia Lopes<sup>(1)</sup>**

Eng<sup>a</sup>. Civil e Mestre em Eng<sup>a</sup>. Química (UFRN). Doutora em Eng<sup>a</sup>. Civil/Área de Geotecnia Ambiental (UFPE). Prof<sup>a</sup>. do IFRN dos cursos Técnicos, de Graduação Tecnológica da área de Meio Ambiente e da Especialização em Gestão Ambiental desde 1991. Coordenadora Acadêmica do Curso Superior de Tecnologia em Gestão ambiental. Membro do Núcleo de Estudos de Saneamento Básico (NESB). Diretora da ABES/RN.

**José Fernando Thomé Jucá**

Professor Titular do Dept<sup>o</sup>. Eng<sup>a</sup>. Civil (UFPE). Doutor pela Universidad Politécnica de Madrid. Coordenador do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS/UFPE. Coordenador de projetos de pesquisa PRONEX, P&D CHESF/ANEEL e PROSAB/FINEP, nas áreas de Geotecnia Ambiental, Bioenergia e Resíduos Sólidos Urbanos. Coordenador do projeto “Alternativas tecnológicas para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, com base na experiência da Europa, Estados Unidos e Japão” (financiado pelo BNDES)

**Maria Odete Holanda Mariano**

Prof<sup>a</sup>. Dept<sup>o</sup>. Eng<sup>a</sup>. Civil (UFPE/CAA). Doutora em Eng<sup>a</sup>. Civil/Área de Geotecnia Ambiental (UFPE). Membro do Grupo de Resíduos Sólidos – GRS/UFPE.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** RuaPresb. Porfírio Gomes da Silva, 1496 – Capim Macio – Natal/RN CEP: 59.0822-420 - Braasil  
- Tel: +55 (84) 4005-2636 e-mail: [regia.lopes@ifrn.edu.br](mailto:regia.lopes@ifrn.edu.br).

#### **RESUMO**

Nos aterros de pequeno porte e em aterros antigos, com sistemas de drenagem de gases ineficientes, grande parte das emissões de biogás para o meio ambiente pode se dar através da camada de cobertura. Um dos maiores desafios em estudos de redução de emissões é a estimativa de oxidação de metano em camadas de cobertura. Este trabalho apresenta os resultados de 12 ensaios realizados em três perfis diferentes de cobertura existente no platô superior da célula experimental da Muribeca, situada em Jaboatão dos Guararapes-PE, região nordeste do Brasil, durante os meses de janeiro e fevereiro de 2010. A determinação de oxidação CH<sub>4</sub> foi feita através da metodologia apresentada por Christphersen *et al.* (2001) que se baseia na medição do fluxo superficial e da concentração do biogás na base da camada de cobertura. Esse trabalho apresenta resultados de 12 ensaios realizados em três perfis de camadas de cobertura de uma célula experimental localizada no Aterro da Muribeca, Recife-PE, através de medições em campo. A camada do tipo barreira capilar apresentou menor emissão de metano quando comparada com as outras duas configurações, embora tenha apresentado taxa de oxidação similar a camada convencional e inferior a da camada metanotrófica. A taxa de oxidação foi maior na camada metanotrófica com valor médio de 0,11 molCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h enquanto a barreira capilar e camada convencional apresentaram média de taxa de oxidação de 0,04 molCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h. No caso das camadas de cobertura estudadas nesse trabalho a combinação da configuração da barreira capilar (colocação do material mais poroso - pedra rachinha - abaixo do solo), favorece uma distribuição melhor dos gases minimizando as emissões. Dessa forma o uso associado de uma camada metanotrófica à uma barreira capilar, em camadas de cobertura final de aterros sanitários, para diminuir o impacto ambiental do lançamento de metano na atmosfera, e proteger a camada de cobertura contra ações de intempéries e erosões, tendo em vista que o composto proporciona o crescimento de vegetação em todos os períodos do ano. Essa alternativa também é indicada para uso em aterros antigos, com sistemas de drenagem de gases ineficientes e em recuperação de áreas de lixão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro sanitário, camada de cobertura, biogás, oxidação de metano.

#### **INTRODUÇÃO**

Os aterros sanitários se constituem no principal destino de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), os vazadouros a céu aberto, conhecidos como “lixões”, ainda persistem em 50,2% dos municípios, causando uma contaminação difusa em todo território nacional. Por outro lado as unidades de aterros sanitários, tem se expandido como solução para tratamento e destino final dos municípios representando 27,7% do destino final dos resíduos brasileiros (IBGE, 2010). A

pesquisa revela ainda que, em municípios de até 50 mil habitantes, o destino final em aterros sanitários tem apresentado índices aproximados da média nacional.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos instituída através da Lei nº. 12.305/10 e regulamentada pelo Decreto nº. 7.404/10 determina que até agosto de 2014 sejam eliminados os lixões e que os resíduos destinados para os aterros sanitários sejam aqueles que não são passíveis de reuso ou reciclagem, evitando assim danos ao meio ambiente e à saúde pública. Do ponto de vista técnico, a NBR 8.419/92 define aterro sanitário de RSU como uma obra de engenharia, onde a disposição final no solo não cause danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando assim seus impactos ambientais.

O biogás gerado em aterros é composto basicamente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), sendo esses os principais gases responsáveis pelo aquecimento global, denominados de gases de efeito estufa (GEE). O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) estima que, em um horizonte de mais de 100 anos, o poder de aquecimento do  $\text{CH}_4$  é 21 vezes maior do que o  $\text{CO}_2$ . As emissões globais de biogás em aterros são estimadas pela Agencia de Proteção Ambiental Americana (USEPA) entre 500 a 800 Mt $\text{CO}_2\text{eq}/\text{ano}$  (USEPA, 2007). De acordo com o Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa, os resíduos sólidos urbanos no Brasil representam cerca de 12% da fontes de emissões de gás  $\text{CH}_4$ , sendo a disposição final responsável por 84% desse valor (Van ELK, 2007).

Os gases oriundos do processo de degradação dos resíduos em aterros no Brasil são geralmente coletados e tratados com a queima simples. O reaproveitamento e a utilização, como fonte de energia, são usados geralmente em grandes empreendimentos. Nos aterros de pequeno porte e em aterros antigos, com sistemas de drenagem de gases ineficientes, grande parte das emissões de biogás para o meio ambiente pode se dar através da camada de cobertura. Whalen *et al.* (1990) estimaram que bactérias metanotróficas existentes nos solos de cobertura de aterros são capazes de consumir 50% do  $\text{CH}_4$  que escapa pela camada superficial e Chanton *et al.* (2011) apresentaram variações de oxidação de  $\text{CH}_4$  de  $35\% \pm 6\%$ , em uma revisão da literatura para o assunto. A despeito disso, o IPCC e USEPA consideram como valor padrão para oxidação de  $\text{CH}_4$ , de 0 a 10% dos valores emitidos pela camada de cobertura, em projetos de obtenção de créditos de carbono.

A oxidação de  $\text{CH}_4$  pode ser otimizada através da escolha adequada do material que vai compor a cobertura. As características físicas e químicas dos materiais influenciam fortemente na velocidade de transporte dos gases, no tempo de retenção no meio e particularmente nos fatores que influenciam no crescimento de micro-organismos metanotróficos (SCHEUTZ *et al.*, 2009). Os principais fatores que controlam as taxas de oxidação são fatores físico-químicos tais como pH, temperatura, umidade e presença de matéria orgânica no solo e fatores geotécnicos (granulometria, porosidade e densidade), que juntos vão contribuir para favorecer a maior presença desses micro-organismos no solo.

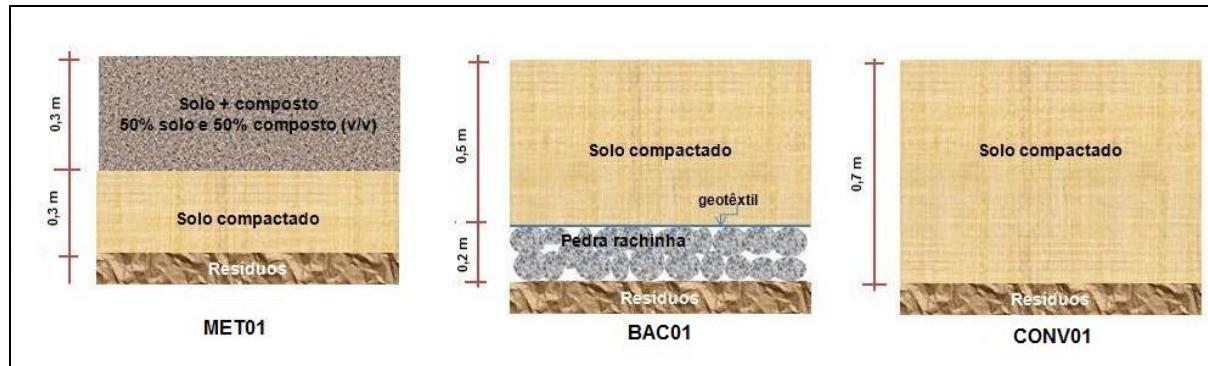
Um dos maiores desafios em estudos de redução de emissões é a estimativa de oxidação de metano em camadas de cobertura. Determinações *in situ* apresentam dificuldades em virtude da alta variabilidade de fatores em decorrência das variações climáticas ao longo do tempo.

Este trabalho apresenta os resultados de 12 ensaios realizados em três perfis diferentes de cobertura existente no platô superior da célula experimental da Muribeca, situada em Jaboatão dos Guararapes-PE, região nordeste do Brasil, durante os meses de janeiro e fevereiro de 2010. A determinação de oxidação  $\text{CH}_4$  foi feita através da metodologia apresentada por Christophersen *et al.* (2001) que se baseia na medição do fluxo superficial e da concentração do biogás na base da camada de cobertura.

## METODOLOGIA

### Célula Experimental da Muribeca-PE

A célula experimental da Muribeca foi implantada numa área 65m x 85m e altura de 9 m, preenchida no período de junho de 2007 a fevereiro de 2008 com RSU com uma quantidade de resíduo depositado de 36.659 toneladas. As investigações acerca de oxidação metano foram realizadas em três perfis distintos da cobertura final da célula experimental cujas características estão descritas em Lopes (2011) e mostradas na Figura 1.



**Figura1: Perfis de camada de cobertura**

A camada metanotrofica (MET) é composta de 30 cm de solo compactada sobreposto com 30 cm de uma mistura de 50% de solo e 50% de composto orgânico oriundo de podas (v/v). A barreira capilar (BAC) é composta de 20 cm de pedras do tipo rachinha (diâmetro médio de 10 cm), sobreposta de solo compactado, tendo na interface um geotêxtil tecido não tecido, e, a camada convencional (CONV) é composta de solo compactado com espessura total de 70 cm. As características físico-químicas das camadas são apresentadas na Tabela 1.

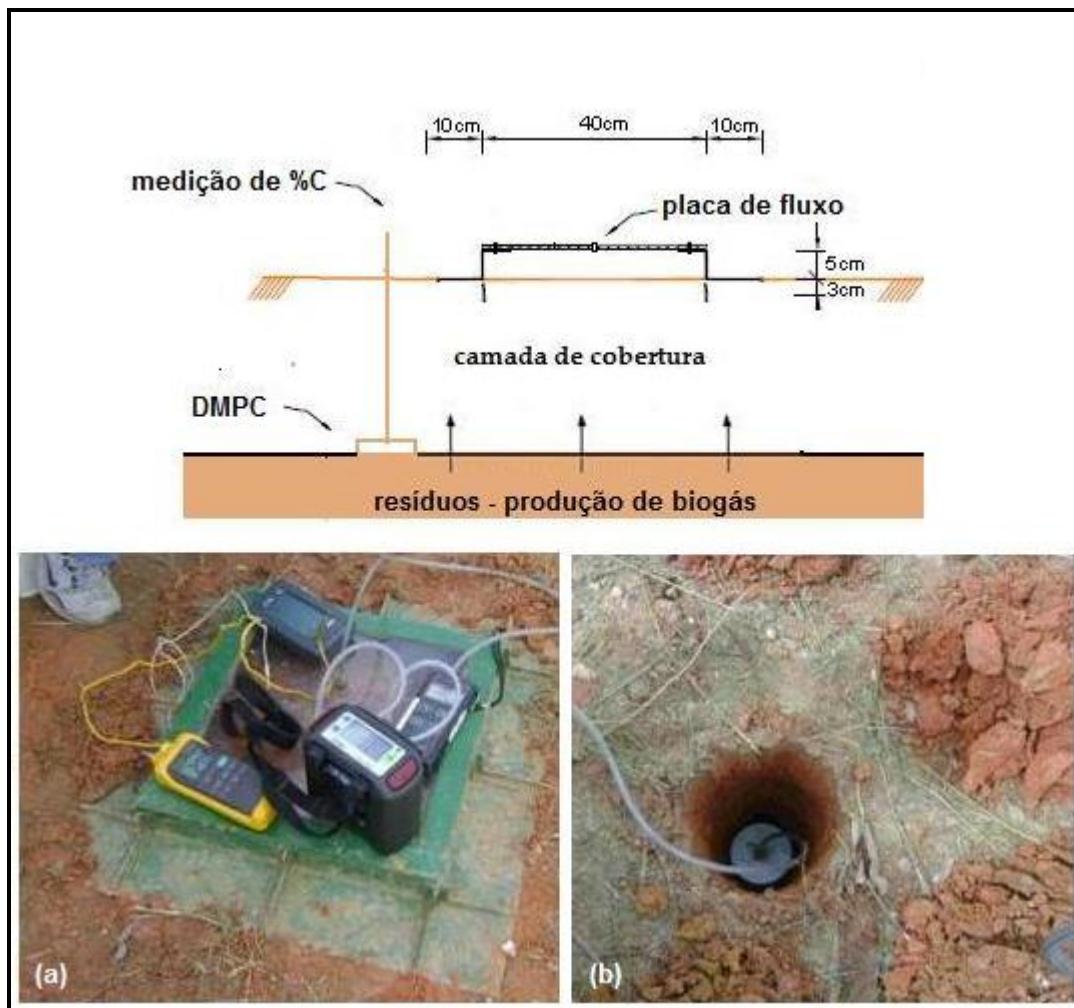
**Tabela1: Características físico-químicas do solo de cobertura**

Camada	Profundidade (cm)	pH	SV (%)	Porosidade
<b>MET01</b>	0-30	7,5±0,5	15,5±2,7	0,52
	30-60	7,5±1,0	10,7±2,9	0,43
<b>BAC01</b>	0-20	5,4±0,5	7,5±0,5	0,43
	20-50	5,3±0,3	7,2±0,4	
<b>CONV01</b>	0-30	6,3±1,0	7,7±1,3	0,43
	30-70	5,7±1,1	7,2±1,4	

SV = sólidos voláteis

#### **Medição de Fluxo de biogás e concentração na base da camada de cobertura**

Para medição de fluxo de biogás foi utilizando a metodologia de câmara de fluxo estática e a medição de concentração de biogás na base foi feita através de um dispositivo de medição de pressão e concentração (DMPC) instalado na interface entre o resíduos e a base da camada de cobertura, como mostrados na Figura 2. As leituras de concentração do biogás foram feitas com analisador de gás portátil, e o fluxo foi determinado a partir da inclinação da curva massa x tempo, com correção para as Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP).



**Figura 2:**Medição de fluxo de biogás e concentração na base (a) placa estática (b) instalação de DMPC.

#### Oxidação de metano

A metodologia empregada para estimar a oxidação de CH<sub>4</sub> nas camadas de cobertura foi baseada em Christhophersen *et al.* (2001). Essa metodologia assume que nenhum CO<sub>2</sub> é dissolvido pela infiltração de água e que a produção de CO<sub>2</sub> devido a respiração do solo é negligenciada. Dessa forma, sob condições estacionárias, o fluxo total de biogás na superfície é igual aquele existente na base da camada. O fluxo total é determinado por:

$$J_{\text{biogas}} = (J_{\text{CH}_4} + J_{\text{CO}_2})_{\text{superfície}} = (J_{\text{CH}_4} + J_{\text{CO}_2})_{\text{base}} \quad (\text{Equação 01})$$

onde o fluxo é dado em mol/m<sup>2</sup>.h. Conhecido o fluxo total do aterro na superfície e a concentração de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> na base da camada (interface solo/resíduo), o fluxo de CH<sub>4</sub> na base é calculado como:

$$J_{\text{CH}_4 \text{ base}} = (J_{\text{CH}_4} + J_{\text{CO}_2})_{\text{superfície}} \times [(\% \text{CH}_4)/(\% \text{CH}_4 + \% \text{CO}_2)]_{\text{base}} \quad (\text{Equação 02})$$

A quantidade de CH<sub>4</sub> oxidado no perfil é determinada pela diferença entre o fluxo de CH<sub>4</sub> existente na base (interface solo/resíduo) e na superfície (topo).

$$\text{CH}_4 \text{ oxi} = J_{\text{CH}_4 \text{ base}} - J_{\text{CH}_4 \text{ superfície}} \quad (\text{Equação 03})$$

## RESULTADOS

A Tabela 2 mostra os resultados de fluxo de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> medidos e a concentração dos gases na base da camada (para a barreira capilar a concentração de referência é a da interface pedra/solo) e a quantidade de metano oxidado em cada ensaio.

**Tabela 2: Fluxo de biogás, concentração de biogás na base e quantidade de metano oxidado**

Camada	Fluxo (mol/m <sup>2</sup> .h)		Concentração (%)		CH <sub>4</sub> oxidado (mol/m <sup>2</sup> .h)	Média e Desvio Padrão da taxa de oxidação de CH <sub>4</sub> (mol/m <sup>2</sup> .h)
	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>		
MET01	0,09	0,28	53	40	0,12	<b>0,11±0,08</b>
	0,37	0,38	57	39	0,08	
	0,00	0,10	9	24	0,03	
	0,40	0,61	56	36	0,22	
BAC	0,00	0,09	8	24	0,02	<b>0,04±0,03</b>
	0,10	0,19	46	37	0,06	
	0,09	0,22	30	32	0,06	
	0,07	0,09	14	25	0,00	
CONV	0,18	0,28	51	37	0,08	<b>0,04±0,04</b>
	0,09	0,09	54	37	0,02	
	0,70	0,75	53	40	0,13	
	0,57	0,38	52	39	0,00	
	0,07	0,14	53	38	0,05	

Todos os materiais apresentaram capacidade de oxidar metano, porém verifica-se que a camada metanotrófica apresentou maior capacidade de oxidação em relação às camadas executadas apenas com solo compactado. A variação de taxa de oxidação na camada MET01 foi de 0,03 a 0,22 molCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h, representando uma eficiência de oxidação variando de 18% a 100%, com média de 52%. Essas taxas de oxidação estão dentro das variações apresentadas por Scheutz *et al.* (2009), em diversos estudos de coluna simulando biocoberturas ricas em matéria orgânica.

A barreira capilar e a camada convencional apresentaram capacidade de oxidação inferior a metade da camada metanotrófica. As taxas de oxidação na BAC01 e CONV01 variaram de 0,00 a 0,13 mol de CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h, com valores mais baixo na barreira capilar. A menor espessura e baixa concentração de metano na base, verificado em todos os ensaios da barreira capilar são fatores que podem ter influenciado na menor quantidade de metano oxidado nesse tipo de camada, além da menor porosidade medida nas camadas de solo compactado, o que impede tanto o ingresso de oxigênio para o interior da camada quanto o tempo de transporte do biogás da base para a superfície, não permitindo a interação entre micro-organismos biogás e oxigênio para que aconteça reação de oxidação.

Com relação às emissões de metano, foi verificado nesse estudo que as emissões superficiais da camada convencional foram superiores às medidas na camada metanotrófica e barreira capilar. A variação de medidas observada na camada convencional (0,07 a 0,70 molCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h), é superior a camada metanotrófica e (0 a 0,40 molCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h) e cerca de 7 vezes a variação de emissão apresentada pela barreira capilar (0 a 0,10 molCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h), nesse período.

Embora tenha apresentado menor capacidade de oxidar metano, a barreira capilar apresentou menores emissões de metano devido a sua forma construtiva, onde a distribuição do biogás na camada de drenagem minimiza picos de pressão e concentração, impondo menores fluxos na base da camada.

## CONCLUSÕES

Os resultados desse trabalho se referem a 12 ensaios realizados em três perfis de camadas de cobertura de uma célula experimental localizada no Aterro da Muribeca, Recife-PE, através de medições em campo. A camada do tipo barreira capilar apresentou menor emissão de metano quando comparada com as outras duas configurações, embora tenha apresentado taxa de oxidação similar a camada convencional e inferior a da camada metanotrófica. O fluxo de metano medido na barreira capilar variou de 0 a 0,09 mol/m<sup>2</sup>.h, (média de 0,06±0,04 mol/m<sup>2</sup>.h), de 0 a 0,40 mol/m<sup>2</sup>.h na camada metanotrófica (média de 0,21±0,20 mol/m<sup>2</sup>.h), de 0,07 a 0,56 mol/m<sup>2</sup>.h (média de 0,22±0,23 mol/m<sup>2</sup>.h) na camada convencional. A taxa de oxidação foi maior na camada metanotrófica com valor médio de 0,11 molCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h enquanto a barreira capilar e camada convencional apresentaram média de taxa de oxidação de 0,04 molCH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h.

No caso das camadas de cobertura estudadas nesse trabalho a combinação da configuração da barreira capilar (colocação do material mais poroso - pedra rachinha - abaixo do solo), favorece uma distribuição melhor dos gases minimizando as emissões. A associação de uma camada metanotrófica à uma barreira capilar aumentaria a capacidade de oxidação de metano, devido as características da mistura de solo e composto, e pode representar uma alternativa altamente promissora para uso em camadas de cobertura final de aterros de RSU, que objetivam redução da emissão de metano para atmosfera, e em aterros antigos, com sistemas de drenagem de gases ineficientes. Dessa forma se propõe essa configuração para diminuir o impacto ambiental do lançamento de metano na atmosfera, e proteção da camada de cobertura contra ações de intempéries e erosões, tendo em vista que o composto proporciona o crescimento de vegetação em todos os períodos do ano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHANTON, J.; ABICHOU, T.; LANGFORD, C.; SPOKAS K.; HATER, G.; GREEN, R.; GOLDSMITH, D.; BARLAZ, M. A. (2011) Observations on the methane oxidation capacity of landfill soils. *Waste Management* 31 (2011) 914–925
2. CHRISTOPHENSEN, M; KJELDSEN, P.; HOLST, H.; CHANTON, J. (2001) Lateral gas transport in soil adjacent to an old landfill: factors governing emissions and methane oxidation. *Waste Management Research* 2001; 19; 126-143
3. HUMER, M.; LECHNER, P. (2001) Microorganisms against the Greenhouse Effect as Suitable Cover Layers for the Elimination of Methane Emissions from Landfills. 6th Annual Landfill Symposium. San Diego, CA Solid Waste Association of North America (SWANA), pp 305-318.
4. IBGE (2010) Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/default.shtm>> Acesso em: 10 set. 2010.
5. LOPES, R. L. (2011) Infiltração de água e emissão de metano em camada de cobertura de aterro de resíduos sólidos. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil. Recife-PE. 274p.
6. SCHEUTZ, C.; KJELDSEN, P.; BOGNER, J.; De VISSCHER, A.; GEBERT, J. HILGER, H. A.; HUBER-HUMER, M.; SPOKAS, K. (2009): Microbial methane oxidation process and technologies for mitigation of landfill gas emissions. *Waste Management Research*; V. 27, p409-433. Disponível em: <http://wmr.sagepub.com/cgi/content/abstract/27/409>. Acesso em janeiro de 2010.
7. USEPA (2007) Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2005. USEPA #430-R-07-002 Disponível em <<http://epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.html>> Acesso em: 10 out. 2009.
8. van ELK, A. G. H. P. (2007) Redução de emissões na disposição final. In: Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a Resíduos Sólidos Urbanos. Karin Segala (Coord.) Rio de Janeiro: IBAM,
9. WHALEN, S. C.; REEBURGH, W. S.; SANDBECK, K. A. (1990). Rapid methane oxidation in a landfill cover soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 56, 3405–3411.