

BALANÇO DE METANO EM UMA CÉLULA EXPERIMENTAL

G. Candiani¹, Elissando R. Silva¹, João. M. L. Moreira¹

Universidade Federal do ABC – Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas

Rua Santa Adélia, 166 – Bairro Bangu – Santo André – São Paulo – SP – Brasil – CEP 09210-170

Fax: +55 11 4996-0115, e-mails: gcandiani@essencis.com.br; joao.moreira@ufabc.edu.br; elissando@yahoo.com.br

RESUMO: Este artigo apresenta o balanço de metano em uma célula experimental de 35 x 30 m² com um dreno central de diâmetro de 0,6 m localizado na central de tratamento de resíduos CTR-Caieiras em São Paulo, Brasil. O balanço foi feito utilizando medidas da taxa de escape de metano através dreno e interface aterro-atmosfera. A vazão média de metano do dreno é de 0,0221 ± 0,0019 moles/s, a taxa de escape de metano na interface aterro-atmosfera é de 0,0100 ± 0,0004 moles CH₄/s e a taxa de produção de metano é de 0,0321 ± 0,0023 moles CH₄/s. A oxidação do metano foi desprezada devido a fração molar de oxigênio ser baixa, 0,27 %. Os resultados mostram que do total de metano produzido na célula, 69 % fluem pelo dreno, 31 % escapam pela interface célula-atmosfera e que o alcance do dreno com extração passiva é de aproximadamente 15 m.

Palavras chave: aterro sanitário, célula experimental, metano, balanço.

INTRODUÇÃO

Muitos países têm como alvo a recuperação de metano de aterros sanitários entre as estratégias de mitigação de gases de efeito estufa, uma vez que o gás metano tem um potencial de aquecimento global 21 vezes maior do que o CO₂. (Stein et al., 2001; Perera et al., 2002; De Visscher y Van Cleemput, 2003; Hettiarachchi et al., 2007; Silva, 2010). A recuperação do gás metano em aterros sanitários pode ser uma importante fonte de receita por meio da venda de créditos de carbono decorrentes da queima de CH₄ gerado pela biodegradação dos resíduos sólidos urbanos (RSU). A recuperação de metano em aterros através de sistemas de engenharia pode fornecer benefícios ambientais, reduzir as emissões de superfície e fornecer uma fonte alternativa de energia.

Há incertezas em relação às taxas reais de produção de metano, oxidação de CH₄, migração para atmosfera através de drenos e interface aterro-atmosfera. É importante saber com alguma precisão a taxa de geração de metano e também a eficiência de coleta de metano por meio de drenos (Bogner e Spokas, 1995; Spokas et al., 2006; Machado et al., 2009). Essas informações são importantes para projetos utilizando biogás de aterro como fonte alternativa de energia e para melhorar as práticas de gestão de resíduos sólidos urbanos.

Para obter informações sobre parâmetros de um aterro, foram feitas medidas de balanço de metano na célula experimental do aterro sanitário CTR-Caieiras, em São Paulo, Brasil. O balanço leva em conta os parâmetros de produção de metano e de perda de CH₄ por meio de oxidação, escape pela interface aterro-atmosfera e pelo dreno central da célula experimental (Bogner e Spokas, 1995; De Visscher e Van Cleemput, 2003; Spokas et al., 2006; Hettiarachchi et al., 2007; Machado et al., 2009; Silva, 2010). O balanço de CH₄ foi realizado pela combinação de medidas do escape de metano no topo do dreno e na interface aterro-atmosfera. A fim de facilitar balanço de metano, consideramos a oxidação do CH₄ no interior da célula desprezível. Esta abordagem foi usada para estimar a produção de metano da célula na experimental da CTR-Caieiras. As primeiras medições na célula foram realizadas em outubro de 2010.

Neste trabalho é realizado um balanço de metano em uma célula experimental através de medidas de escape de metano pelo dreno central e na interface aterro-atmosfera. Espera-se com este estudo obter a taxa de produção de metano na célula. Também, espera-se contribuir para projetos utilizando o biogás como fonte alternativa de energia e melhorar as práticas atuais de gestão de resíduos sólidos urbanos. Abaixo discutimos os métodos numéricos usados para calcular o balanço de metano, estes métodos são usados em combinação com as medições de campo.

METODOLOGIA

Para obter a taxa de geração de metano em um aterro sanitário pode-se utilizar a técnica do balanço de metano. Considerando que produção de metano no aterro sanitário encontra-se em estado de regime permanente, a equação do balanço de moléculas de CH₄ no aterro pode ser escrita como

$$\nabla \cdot \vec{J}(\vec{r}) + \sigma(\vec{r})C(\vec{r}) = R(\vec{r}) \quad (1)$$

onde $C(\vec{r})$ representa a concentração de metano no elemento de volume dV em \vec{r} ; o termo $\vec{J}(\vec{r})$ fornece o vetor fluxo de CH_4 devido a diferenças de pressão no meio poroso, como as causadas pela sucção de biogás pelos drenos existentes em um aterro sanitário, e devido à dispersão das moléculas no meio poroso devido à diferença de concentração de metano; $\sigma(\vec{r})$ é o coeficiente de oxidação de metano por microorganismos metanotróficos e $R(\vec{r})$ é a taxa de produção de CH_4 no elemento de volume dV em \vec{r} (Silva, 2010). O termo $\sigma(\vec{r})C(\vec{r})$ fornece a taxa de desaparecimento de metano via oxidação. No lado esquerdo do sinal de igualdade encontram-se os processos de desaparecimento de metano do elemento de volume e no lado direito, o processo de produção de CH_4 no elemento de volume.

Para se obter a equação de balanço de metano em um aterro sanitário, integramos a Eq. 1 em todo o volume do aterro, V ,

$$\int_V \sigma(\vec{r})C(\vec{r}) dV + \int_V \nabla \cdot \vec{J}(\vec{r}) dV = \int_V R(\vec{r}) dV \quad (2)$$

Inicialmente definimos

$$A = \int_V \sigma(\vec{r})C(\vec{r}) dV \quad (3)$$

$$R = \int_V R(\vec{r}) dV \quad (4)$$

respectivamente como a taxa de oxidação total do CH_4 no aterro e a taxa de produção total de metano no aterro.

A integral de volume envolvendo o divergente do fluxo de metano pode ser transformada em uma integral de superfície utilizando o teorema de Gauss. Esta superfície envolve a interface com a geosfera, a interface com a atmosfera e o dreno. Vamos considerar que o aterro conte com sistemas de impermeabilização adequados e não ocorra escape de gases através da interface com a geosfera. Assim, o metano pode escapar pela interface aterro-atmosfera, S_{ar} , e através do dreno, S_d . Então

$$\int_V \nabla \cdot \vec{J}(\vec{r}) dV = \int_S \vec{J}(\vec{r}_s) \cdot d\vec{a} = \int_{S_{ar}} \vec{J}(\vec{r}_s) \cdot d\vec{a} + \int_{S_d} \vec{J}(\vec{r}_s) \cdot d\vec{a} \quad (5)$$

Definem-se

$$Q = \int_{S_d} \vec{J}(\vec{r}_s) \cdot d\vec{a} \quad (6)$$

$$F = \int_{S_{ar}} \vec{J}(\vec{r}_s) \cdot d\vec{a} \quad (7)$$

onde F é a taxa de escape de metano através da interface atmosfera-aterro e Q é a vazão de metano no dreno. Utilizando-se as definições feitas nas Eqs. 3, 4, 6 e 7 podemos escrever o balanço de metano dado pela Eq. 2 como

$$A + Q + F = R \quad (8)$$

onde Q , F , A e R tem unidades de [moles/s]. A taxa Q pode ser obtida medindo-se a vazão de metano no dreno e a taxa F , medindo-se a taxa de escape de metano em toda a superfície em contato com a atmosfera.

A taxa de oxidação de metano pode ser pequena se a quantidade de oxigênio no interior do aterro for desprezível. Se este for o caso podemos considerar $A = 0$, caso contrário, ela deve ser estimada por meio de cálculo, pois não é possível medir no volume total de um aterro a taxa de oxidação. A Eq. 8 é utilizada para se determinar a taxa de produção de metano R em uma célula experimental.

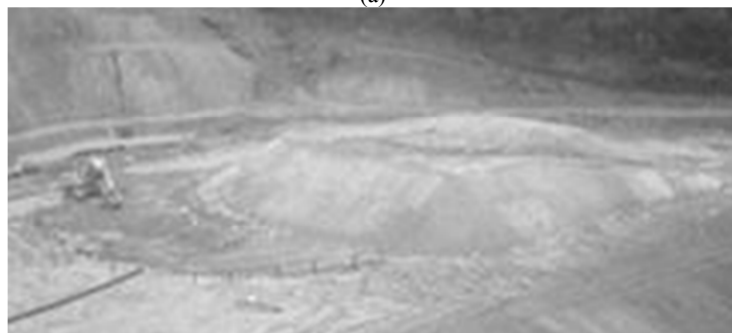
A célula experimental.

Para a obtenção de dados mais precisos sobre a geração de metano foi construída uma célula experimental no aterro da CTR-Caieiras. Esta célula é um sistema poroso com duas regiões, a região de RSU e a região de cobertura de solo, e um dreno central para exaustão do biogás gerado. O biogás é gerado através da biodegradação anaeróbia do RSU e migra através dos poros do meio em direção ao dreno central e em direção à atmosfera.

A célula tem cerca de 30 x 35 m² de área sendo circundada por um dique de contenção de 1,2 m para conter a RSU depositado. A base tem camada de 0,5 m de solo compactado (solo siltoso) coberto por uma geomembrana de polietileno de 2 mm de espessura de alta densidade, manta (geotêxtil) para proteção mecânica, camada drenante de rachão para coletar o chorume. Na região central foi instalado um dreno vertical circular (1,5 m de diâmetro) para captar gases, sendo este executado com um tubo de concreto de 0,60 m de diâmetro perfurado, tela soldada e rachão. No tubo de concreto foi instalado um cabeçote acoplado a uma tubulação (25 cm de diâmetro) com um furo, permitindo a instalação do anemômetro para realizar as medições de vazão e o analisador portátil de gases para medir a composição do biogás. A célula foi preenchida com RSU proveniente de três municípios: Perus, Pirituba e Jaraguá. Foram depositadas 3786 toneladas de RSU a uma altura de 5 m e coberto por uma camada de 0,5 m do solo. A densidade do RSU depositado na célula é $1,32 \pm 0,10 \text{ t/m}^3$. A Figura 1-a mostra a operação de recebimento de resíduos na célula experimental, dreno central vertical e camada drenante. Figura 1-b mostra a célula experimental concluída.



(a)



(b)

Figura 1: Operação de recebimento de resíduos na célula experimental mostrando o dreno central vertical e camada drenante (a); célula experimental concluída (b).

Medidas de emissões de metano na célula experimental.

As emissões de metano na célula experimental ocorrem através do dreno central e através da interface célula-atmosfera. A Figura 2 mostra um esquema da célula experimental no qual pode ser visto o dreno central e os locais onde as medições de fluxo CH₄ na interface célula-atmosfera foram realizadas.

Um tubo foi adaptado no topo do dreno para permitir a conexão das sondas de medição de vazão. As medições de temperatura e velocidade (vazão) foram realizadas utilizando o anemômetro térmico “Instrutherm tafr-180”, que dá resultados precisos para velocidades entre 0,2 a 20 m/s e faixa de temperatura entre 273 e 323 K. As frações molares de CH₄, CO₂ e O₂ foram medidas utilizando o analisador “GEM 2000”. O fluxo de metano através da interface aterro- atmosfera foi medido através da técnica de câmara de fluxo. A câmara tinha dimensões de 0,4 x 0,4 x 0,1 m³ com uma coleta de volume de 0,016 m³ de gás e área de 0,16 m². A câmara de fluxo foi colocada na superfície da célula com os instrumentos acionados para se fazer as medidas antes de ocorrer à saturação da câmara com metano. A Figura 3 mostra a execução das medidas utilizando a câmara de fluxo.

As incertezas de medição levaram em conta os erros sistemáticos dos vários instrumentos e as flutuações durante os procedimentos de medição. O erro de medição foi determinado de forma indireta, já que era difícil repetir as medições diversas vezes no campo. Para contornar essa dificuldade, foi realizada, separadamente, 30 medições de cada variável em condições de campo com a instrumentação acima.

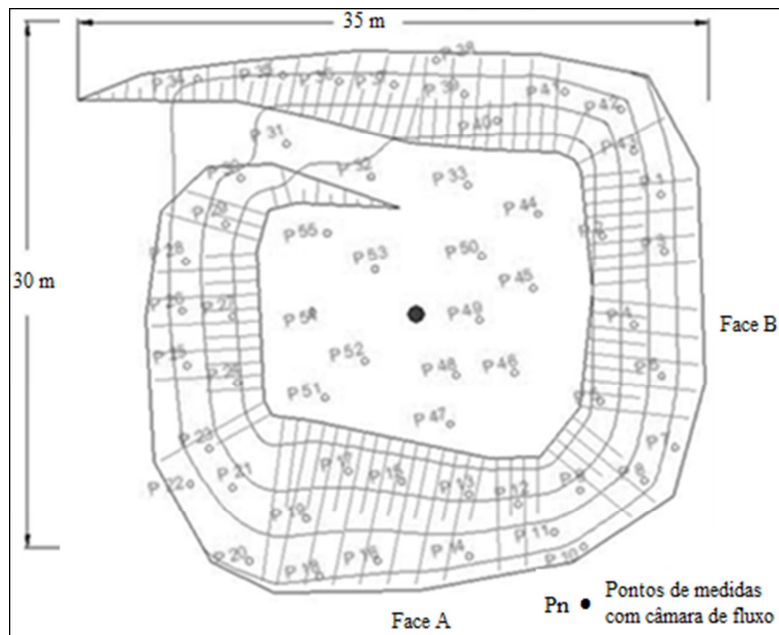


Figura 2: Figura esquemática da célula experimental no aterro CTR-Caieiras.

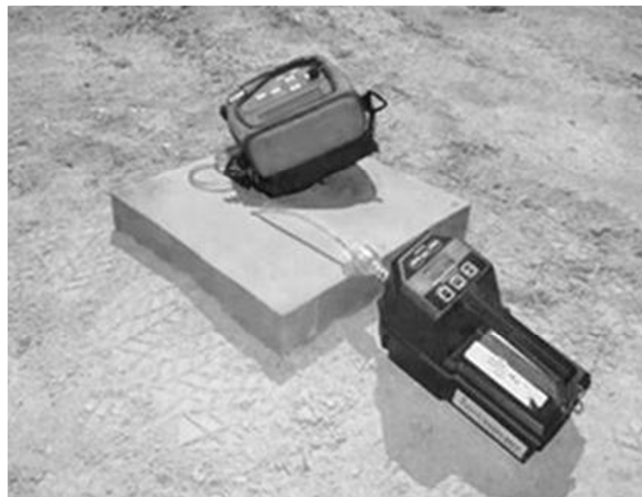


Figura 3: Câmara de fluxo para medir o escape de metano da superfície da célula experimental.

RESULTADOS E ANÁLISES

As medições de emissão de metano através do dreno central são apresentadas nas Tabelas 1 e 2. Entre 15 de outubro e 5 de novembro de 2010, foram realizadas medições da temperatura ambiente, temperatura do biogás, composição e velocidade. Os resultados referentes às medidas de temperatura ambiente, temperatura do biogás, velocidade do biogás e vazão de biogás encontram-se na Tabela 1.

Data	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Biogás (°C)	Velocidade Biogás (m/s)	Vazão de biogás (mol/s)
15 de Outubro	22	27	2,20±0,15	4,39x10 ⁻² +3,10x10 ⁻³
22 de Outubro	31	36	2,00±0,14	3,87x10 ⁻² +2,73x10 ⁻³
28 de Outubro	32	37	2,20±0,15	4,20x10 ⁻² +2,98x10 ⁻³
5 de Novembro	30	36	2,20±0,15	4,25x10 ⁻² +2,98x10 ⁻³
Média	28,7	34	2,15±0,18	4,19x10 ⁻² +3,72x10 ⁻³

Tabela 1: Medidas de vazão de biogás na saída do dreno central.

A Tabela 2 apresenta os resultados de composição do biogás no mesmo período. A fração molar de metano é 52,7 %, de gás carbônico é 40,0 % e de oxigênio é de 0,27 %. Dado que fração molar de oxigênio é baixa, podemos assumir que a taxa de oxidação seja também pequena e que possa ser desprezada. Assim, consideramos que a taxa de oxidação, A, seja nula. Com

os valores de velocidade e vazão do biogás no dreno central, apresentada na Tabela 1, e de composição do biogás, apresentada na Tabela 3, é possível determinar a vazão de metano no dreno, isto é, obter a taxa Q apresentada na Eq. 8. A Tabela 3 apresenta os resultados que foram obtidos para as medidas de vazão de CH₄ e CO₂ no dreno central.

Data	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
15 de Outubro	51,0 _{+2,3}	39,0 _{+1,6}	0,30 _{+0,08}
22 de Outubro	54,4 _{+2,5}	39,3 _{+1,6}	0,20 _{+0,05}
28 de Outubro	51,2 _{+2,4}	37,7 _{+1,6}	0,30 _{+0,08}
5 de Novembro	54,0 _{+2,5}	40,0 _{+1,7}	0,30 _{+0,08}
Média	52,7 _{+3,0}	39,0 _{+1,7}	0,27 _{+0,09}

Tabela 2: Composição do biogás na saída do dreno central.

Vazão média de biogás (mol/s)	(4,19 _{+0,37})x10 ⁻²
Fração molar média de CH ₄ (%)	52,7 _{+3,0}
Fração molar média de CO ₂ (%)	39,0 _{+1,7}
Vazão média de CH ₄ (mol/s)	(2,21 _{+0,19})x10 ⁻²
Vazão média de CO ₂ (mol/s)	(1,63 _{+0,14})x10 ⁻²

Tabela 3: Resultados médios para o biogás, taxas de fluxo de CH₄ e CO₂ no dreno central.

As medidas de fluxo de CH₄ para a atmosfera foram realizadas utilizando a técnica de câmara de fluxo. Os 55 locais de medição foram distribuídos de modo a cobrir toda a superfície externa da célula como pode ser visto na Figura 2. As medições foram feitas à pressão atmosférica de 91.054 Pa e temperatura de 299,2 K. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos. Em vários locais não foi possível detectar qualquer fluxo de metano. O fluxo de metano máximo medido é 9,1x10⁻⁵, mas em vários locais foi insignificante ou não foi possível detectar qualquer fluxo com a instrumentação. A incerteza nas medidas é de 10,9 % na medida de fluxo de metano.

Indicação	Fluxo CH ₄ (mol CH ₄ /m ² s)	Indicação	Fluxo CH ₄ (mol CH ₄ /m ² s)	Indicação	Fluxo CH ₄ (mol CH ₄ /m ² s)	Indicação	Fluxo CH ₄ (mol CH ₄ /m ² s)
P1	1,3x10 ⁻⁵	P15	0	P29	0	P43	0
P2	0	P16	0	P30	0	P44	0
P3	7,2x10 ⁻⁶	P17	0	P31	3,7x10 ⁻⁵	P45	0
P4	4,9x10 ⁻⁵	P18	0	P32	0	P46	0
P5	6,1x10 ⁻⁶	P19	1,0x10 ⁻⁵	P33	0	P47	0
P6	9,7x10 ⁻⁶	P20	1,1x10 ⁻⁶	P34	0	P48	0
P7	8,3x10 ⁻⁷	P21	4,2x10 ⁻⁶	P35	0	P49	0
P8	3,1x10 ⁻⁶	P22	1,7x10 ⁻⁶	P36	2,4x10 ⁻⁵	P50	0
P9	1,4x10 ⁻⁶	P23	6,0x10 ⁻⁵	P37	3,1x10 ⁻⁶	P51	0
P10	0	P24	9,4x10 ⁻⁶	P38	0	P52	0
P11	0	P25	9,1x10 ⁻⁵	P39	0	P53	0
P12	3,6x10 ⁻⁶	P26	5,8x10 ⁻⁶	P40	2,2x10 ⁻⁶	P54	0
P13	0	P27	1,3x10 ⁻⁵	P41	2,4x10 ⁻⁵	P55	0
P14	0	P28	3,6x10 ⁻⁵	P42	5,6x10 ⁻⁵		

Tabela 4: Medidas do fluxo de metano em vários locais da célula experimental.

A Figura 4 apresenta a distribuição do fluxo medido metano na superfície da célula obtida a partir dos dados da Tabela 4 utilizando um sistema de interpolação de base radial. Os locais com maior fluxo de metano são aqueles na periferia da célula experimental e distante do dreno central. Próximo ao dreno central os fluxos são nulos, indicando que nesta região o caminho preferencial para o biogás de viajar é através do dreno central. Os maiores fluxos foram medidos nos locais marcados P25, P41 e P23. Todos estes locais são cerca de 10 a 14 m distantes do dreno e perto dos limites da célula. O fluxo de metano médio em toda célula experimental é de 9,5x10⁻⁶ moles CH₄/m²s. Um resultado importante é que o dreno central, sem sucção, é capaz de coletar o biogás em um raio de 15 m, uma vez que para um raio menor não foi detectada emissão através da interface aterro-atmosfera.

Embora a célula seja quase simétrica, o fluxo de metano medido na periferia não é uniforme. As principais razões para este comportamento são que o material depositado não forma um meio homogêneo e que há rachaduras no meio que favorecem o escape de metano através de determinadas regiões. Não se pode garantir que a geração de metano por unidade de volume seja uniforme em toda a célula, pois sempre há locais que produzem mais biogás do que outros. Locais com rachaduras podem apresentar maior coeficientes de dispersão e favorecer a migração de biogás através deles. Na parte central da célula, a cobertura do solo superior é mais bem compactada e, provavelmente, proporciona uma melhor vedação do que na periferia, o que também contribui para os fluxos mais elevados na periferia da célula.

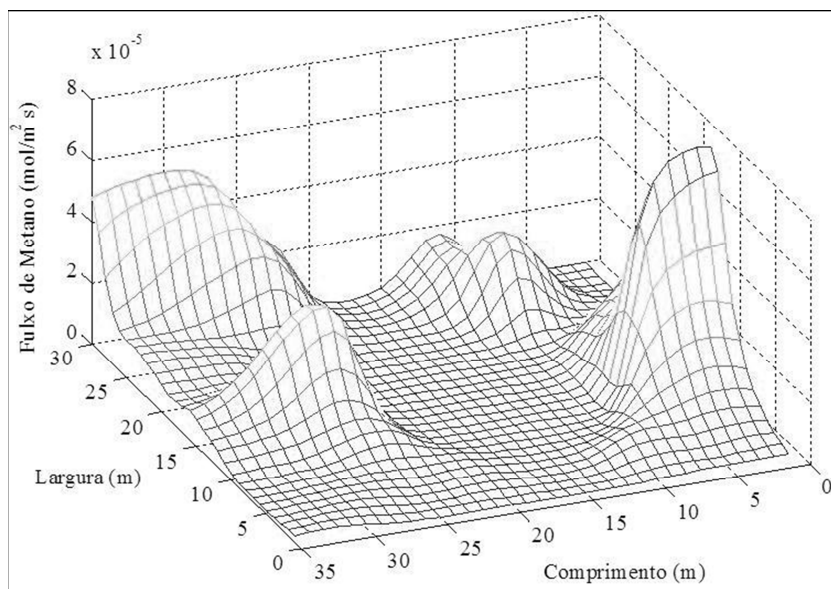


Figura 4: Distribuição de fluxo de metano na superfície da célula experimental.

A Tabela 5 compara os resultados de fluxo de metano superficial medidos em outros trabalhos na literatura com os deste trabalho. O fluxo médio de metano medido na interface aterro-atmosfera nesse estudo foi de $9,5 \times 10^{-6}$ mol/m²s. Esse valor têm a mesma ordem de grandeza dos valores medidos por vários autores em diversos aterros.

Maciel (2003) mediu as emissões de biogás para atmosfera em uma célula experimental no aterro sanitário de Muribeca – PE. O maciço de RSU deste aterro possui 40 m de altura e três camadas. A primeira camada possui cerca de 10 m altura e resíduos depositados há 15 anos, a segunda possui 20 m de altura e resíduos depositados há cerca de 5 anos e a terceira com 10 m de altura e resíduos depositados há 1 ano. Esta célula não possui drenos para a exaustão do biogás. Mariano (2008) realizou estudo no aterro de Aguazinha em Olinda – PE. O aterro funcionou como depósito de resíduo a céu aberto entre 1988 e 1998. A partir de 1998, iniciou-se um processo de transformação da área em aterro controlado. O local do estudo possui cerca de 20 m de altura e duas camadas de resíduos de 10 m cada. Ensinas (2003) mediu as emissões de metano para a atmosfera do aterro Delta em Campinas – SP. O aterro Delta iniciou suas atividades de recebimento de RSU em 1992. Christophersen et al. (2001) mediram as emissões de biogás no aterro de Skellingsted, Dinamarca. O aterro recebeu resíduos de 1971 a 1990. Scheutz et al. (2008) apresentam os valores do fluxo de metano medida no aterro Grand'Landes na França. As emissões foram medidas em uma célula experimental. Abichou et al. (2009) mediram as emissões de metano no aterro de Leon County, Florida. As medidas foram realizadas em uma célula experimental no ano de 2005. Os resíduos foram depositados nesta célula há cerca de oito anos. Todos esses resultados comparam bem com os resultados obtidos neste trabalho.

Referencias	Espessura da cobertura (m)	Fluxo de metano medido (mol CH ₄ /m ² s)		
		Mínimo	Médio	Máximo
Maciel (2003)	0,2-0,7	$7,50 \times 10^{-5}$	-	$2,85 \times 10^{-4}$
Mariano (2008)	0,2-0,9	$1,30 \times 10^{-5}$	-	$2,63 \times 10^{-4}$
Ensinas (2003)	1,0	-	-	$2,94 \times 10^{-6}$
Christophersen et al. (2001)	1,0	$1,39 \times 10^{-7}$	$1,57 \times 10^{-6}$	$2,40 \times 10^{-5}$
Scheutz et al. (2008)	1,0	$7,30 \times 10^{-11}$	$9,89 \times 10^{-6}$	$2,10 \times 10^{-5}$
Abichou et al. (2009)	0,8	-	$1,45 \times 10^{-5}$	$4,10 \times 10^{-5}$
Neste trabalho	0,5	-	$9,50 \times 10^{-6}$	$9,10 \times 10^{-5}$

Tabela 5: Valores de fluxo de metano medido em vários aterros e neste trabalho.

A partir dos dados apresentados na Figura 4 é possível determinar o fluxo de metano médio e a taxa de escape de metano, F, através da interface célula-atmosfera realizando numericamente a integral apresentada na Eq. 7. A taxa de escape de metano A é $0,0100 \pm 0,0004$ moles CH₄/s.

Uma vez que A, Q e F foram obtidos podemos utilizar a equação de balanço de metano na célula experimental, Eq. 9, para obter a taxa de produção de metano, R. O valor de R obtido é $0,0321 \pm 0,0023$ moles CH₄/s. A taxa de geração de biogás volumétrica pode ser obtida de

$$r = \frac{R \rho_{RSU}}{M} \quad (9)$$

onde M é a massa total de RSU depositada e ρ_{RSU} é a massa específica do RSU depositado. A taxa volumétrica média de geração de metano obtida é $1,12 \times 10^{-5}$ moles CH_4/m^3 (m^3 do aterro) após 1,1 ano de deposição.

A Tabela 6 resume os resultados obtidos do balanço de metano na célula experimental. Os resultados mostram que do total de metano produzido na célula, apenas 69% flui pelo dreno e 31 % escapa pela interface célula-atmosfera. O alcance do dreno é de aproximadamente 15 m.

Taxa de escape de metano, F	0,0100+0,0004 moles CH_4/s
Taxa de escape de metano pelo dreno central, Q	0,0221+0,0019 moles CH_4/s
Taxa de oxidação de metano em toda a célula, A	0 moles CH_4/s
Taxa de produção de metano, R	0,0321+0,0023 moles CH_4/s
Razão Q/R	0,69
Taxa volumétrica média de geração de metano após 1,1 ano de deposição	$1,12 \times 10^{-5}$ moles CH_4/m^3 (m^3 do aterro)

Tabela 6: Resultado do balanço de metano na célula experimental.

CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvido o balanço de metano na célula experimental do aterro sanitário. Foram medidas as velocidades de saída do biogás no topo do dreno, a temperatura e a taxa de vazão do biogás no topo do dreno. Também foram medidas as frações molares do CH_4 , CO_2 e O_2 , e o escape de metano na interface aterro-atmosfera. As medidas de fluxo de CH_4 para a atmosfera foram realizadas em 55 locais de medição distribuídos de modo a cobrir toda a superfície externa da célula

Foram obtidos os parâmetros taxa de oxidação de CH_4 no aterro, taxa produção total de metano no aterro, escape de metano através da interface atmosfera-aterrro e vazão de metano no dreno. Foi realizado um balanço de metano na célula experimental do aterro CTR-Caieiras e com estes parâmetros foi obtida a taxa de produção de metano, R .

Os maiores fluxos foram medidos nos locais marcados P25, P42 e P23. Todos estes locais são cerca de 10 a 14 m distantes do dreno e perto dos limites da célula. O fluxo de metano médio em toda célula experimental é de $9,5 \times 10^{-6}$ moles CH_4/m^2s . Os resultados mostram que do total de metano produzido na célula, apenas 69 % fluem pelo dreno e 31 % escapam pela interface célula-atmosfera. A taxa de geração de metano média por unidade de volumes é de $1,12$ moles CH_4/m^3s para resíduo com idade de 1,1 ano. Um resultado importante é que o dreno central, sem sucção, é capaz de coletar o biogás em um raio de 15 m, uma vez que para um raio menor não foi detectada emissão através da interface aterro-atmosfera.

Agradecimentos: os autores agradecem a CTR-Caieiras pelo apoio ao trabalho.

REFERÊNCIAS

- Abichou, T.; Mahieu, K.; Yuan, L.; Chantond, J.; Hater, G. (2009). Effects of compost biocovers on gas flow and methane oxidation in a landfill cover. *Waste Management* 29, 1595-1601.
- Bogner, J.; Spokas, K. (1995). The landfill methane balance: model and practical applications. *International Landfill Conference, Cagliari, Sardinia (Italy) 1995*.
- Christophersen, M., Holst, H., Chanton, J.; Kjeldsen, P. (2001). Lateral gas transport in soil adjacent to an old landfill: factors governing emission and methane oxidation. *Waste Management and Research* 19, 595-612.
- De Visscher, A. and Van Cleemput, O (2003). Simulation model for gas diffusion and methane oxidation in landfill cover soils. *Waste Management* 23, 7, 581-591.
- Ensinas, A. V. (2003). Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas -SP. 2003. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas.
- Hettiarachchi, V. C.; Hettiaratchi, J. P. A.; Mehrotra, A. K. (2007). Comprehensive One-Dimensional Mathematical Model for Heat, Gas, and Moisture Transport in Methane Biofilters. *Waste Management* 11, 4, 226-233.
- Maciel, F. J. (003). Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos na Muribeca/PE. 2003. 173f. Tese (Mestre em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Mariano, M. O. H. (2008). Avaliação da retenção de gases em camadas de cobertura de aterros de resíduos. 243f. Tese (Mestre em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Perera, L. A. K.; Achari, G.; Hettiaratchi, J. P. A. (2002). Determination of source strength of landfill gas: A numerical modeling approach. *Journal of Environmental Engineering* 128, 5, 461-471.

Silva, E. R. (2010). Modelagem Matemática da Produção e Transporte de Biogás em Aterros Sanitários. 82f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do ABC, Santo André, 2010.

Spokas, K.; Bogner, J.; Chanton, J. P.; Morcet, M.; Aran, C.; Graff, C.; Moreau-Le Golvan, Y.; Hebe, I. (2006). Methane mass balance at three landfill sites: what is the efficiency of capture by gas collection system? *Waste Management*, 26, 516-525.

Stein, V. B.; Hettiaratchi, J. P. A.; Achari, G. (2001). Numerical model for biological oxidation and migration of methane in soils. *Practice Periodical of Hazardous Toxic, and Radioactive Waste Management* 5, 4, 225-234.

ABSTRACT

This article presents the balance of methane in an experimental cell with 35 x 30 m² with a central well with 0.6 m diameter, located in the CTR-Caieiras residue treatment center in São Paulo, SP. The balance was performed utilizing measurements of methane escape rates from the central well and from interface between the cell and the atmosphere. The methane flow rate through the well is 0.0221 ± 0.0019 moles/s, the total methane emission through the cell-atmosphere interface is 0.0100 ± 0.0004 moles CH₄/s, and the total methane generation rate is 0.0321±0.0023 moles CH₄/s. The possible methane oxidation was neglected since the oxygen molar fraction was low, 0.27 %. The results show that 69 % of the generated methane flow through the central well, 31 % escapes through the atmosphere-cell interface, and that the well range with passive extraction is about 15 m.

Keywords: landfill, experimental cell, methane, balance.