

Avaliação de Emissões Fugitivas de Biogás em Camadas de Cobertura no Aterro de Seropédica - RJ

Thyago Trocilo Araujo

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, ttauff@gmail.com

Elisabeth Ritter

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, Rio de Janeiro, Brasil, ritteruerj@gmail.com

RESUMO: Os gases oriundos da biodegradação dos resíduos nos aterros sanitários são compostos basicamente por metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), que provocam um sério problema de poluição atmosférica a níveis local e global. Nesse contexto, empregam-se os sistemas de cobertura que possuem dentre os seus objetivos, a retenção das emissões fugitivas de biogás para a atmosfera. A pesquisa foi realizada na fase de operação do aterro sanitário de Seropédica no Rio de Janeiro, e tem por objetivo comparar as emissões fugitivas de biogás, enfocando o metano, em três sistemas de cobertura construídos em célula experimental: convencional, barreira capilar e evapotranspirativa. As investigações de campo consistiram em ensaios de placa de fluxo para mensurar a composição do biogás e o fluxo pelas camadas de cobertura. Os ensaios foram realizados no período de agosto de 2014 a fevereiro de 2016. Os resultados indicaram que as emissões de biogás na camada convencional variaram de 7,5 a 29,9 $\text{g/m}^2\cdot\text{dia}$ para o CH_4 . Os baixos valores encontrados para este tipo de cobertura mostraram-se ser único e específico da célula experimental estudada. Outros estudos foram conduzidos na mesma camada, porém em área mais abrangente, e apresentaram emissões de biogás muito superiores. Na camada de barreira capilar, as emissões de CH_4 variaram de 7,2 a 369,2 $\text{g/m}^2\cdot\text{dia}$. Visto que os valores encontrados para a camada convencional foram pontuais, temos que a camada evapotranspirativa proporcionou o melhor desempenho em relação aos demais sistemas de cobertura, apresentando variação de 5,0 a 68,9 $\text{g/m}^2\cdot\text{dia}$ para as emissões de CH_4 . A vegetação neste tipo de cobertura foi um fator decisivo para a proteção da camada, reduzindo as emissões de biogás para a atmosfera.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário; Camadas de cobertura; Camada evapotranspirativa; Barreira capilar; Fluxo de gás.

1 INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários podem ser considerados grandes reatores bioquímicos, tendo como principais matérias prima os resíduos sólidos e a água e como produtos o lixiviado e os gases (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993).

Os gases gerados pela biodegradação dos resíduos sólidos em aterros sanitários são compostos majoritariamente por metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), sendo esses gases os principais responsáveis pelo aquecimento global.

Uma parcela do biogás gerado no aterro sanitário ultrapassa as camadas de cobertura e escapa para a atmosfera, mesmo quando o aterro sanitário apresenta um sistema de captação de biogás.

O sistema de cobertura dos resíduos atua na minimização da liberação de biogás para a atmosfera. Cada sistema de cobertura está associado a problemas potenciais, portanto, cada aterro sanitário terá a sua particularidade na escolha do tipo de cobertura a ser adotada de forma que atendam as funções requeridas para os quais foi proposto.

No Brasil, a maioria dos aterros possui cobertura com camada homogênea de solo compactado, de preferência usando solos argilosos. Entretanto, pesquisas têm sido realizadas com a utilização de camadas que diferenciam das convencionais (FERNANDES, 2009; LOPES, 2011).

De acordo com Benson et al. (2001), um dos principais problemas que afetam as coberturas convencionais são os danos causados pelo ressecamento, sendo responsáveis pela ocorrência de fluxo preferencial de biogás.

Nesse contexto, é fundamental o estudo de camadas de cobertura de resíduos sólidos que apresentem características que promovam a retenção do biogás, reduzindo assim as emissões para a atmosfera.

Assim, este trabalho, teve como objetivo avaliar as emissões de biogás, enfocando o metano, em camadas de cobertura do tipo convencional, barreira capilar e evapotranspirativa, implantadas em células experimentais no aterro sanitário de Seropédica, Rio de Janeiro.

2 METODOLOGIA

2.1 Local de Estudo

A Central de Tratamento de Resíduos Sólidos – CTR Seropédica está localizada na Estrada de Santa Rosa, no município de Seropédica, Rio de Janeiro e iniciou as operações em abril de 2011. Atualmente, recebe os resíduos dos municípios de Seropédica, Itaguaí e Rio de Janeiro, com média de 10 mil toneladas por dia de resíduos dispostos.

A pesquisa foi conduzida dentro do chamado sub-aterro 01 da CTR Seropédica, área com altura de resíduos aproximada de 70,0 metros. Os resíduos foram dispostos na localidade da célula experimental há aproximadamente três anos, onde desde então, a área não recebeu mais resíduos. O sistema de captação de biogás ainda não estava ativo, sendo composto por 80 poços de extração passiva. A Figura 1 ilustra a visão geral da CTR Seropédica, destacando o sub-aterro 01 e o local do experimento.



Figura 1. Visão geral da CTR Seropédica.

A região se caracteriza por condições climáticas que a classificam como de clima subtropical a tropical chuvoso, apresentando um inverno seco e verão quente. Registros históricos entre 1995 e 2004 indicam médias de precipitação de 50 mm para julho e 300 mm para janeiro. As variações de precipitação no município de Seropédica são de 870 a 1920 mm/ano. A Figura 2 apresenta o índice pluviométrico mensal para os anos de 2013, 2014 e 2015 (até junho) obtidos a partir da Estação Meteorológica Automática Seropédica-Ecologia Agrícola, operada pelo INMET. Verifica-se que para os anos de 2014 e 2015, as precipitações de verão ficaram bem abaixo da média aferida para a região. O ano de 2014 foi caracterizado como um período seco, visto que a precipitação anual foi de 723 mm frente os 1591 mm encontrados para o ano de 2013. Para o ano de 2015, a precipitação média mensal até o mês de junho foi de 76 mm, mostrando que para este ano as precipitações também foram reduzidas, similar ao ano de 2014.

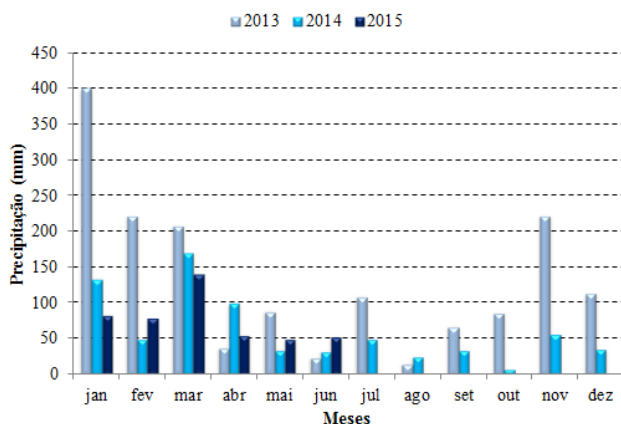


Figura 2. Precipitação mensal de janeiro de 2013 a junho de 2015 na Estação Meteorológica Seropédica-Ecologia Agrícola.

2.2 Células Experimentais

A pesquisa ocorreu em 3 células experimentais (convencional, barreira capilar e evapotranspirativa) construídas por Joaquim Jr. (2015), cada qual com as dimensões de 4,0 m x 7,0 m, totalizando 21,0 m² de área, possuindo um espaçamento de 4,0 m entre si. A Figura 3 apresenta a disposição das células experimentais no sub-aterro 01.



Figura 3. Esquema da disposição das células experimentais.

A camada convencional (C) foi construída com 0,50 m de solo compactado sobre os resíduos. A camada de barreira capilar (BC) foi constituída de 0,20 m de brita, sobreposto por uma manta geotêxtil não tecido de 400 g/m², seguida de uma camada de 0,40 m de areia e por fim com uma camada de 0,50 m de solo compactado. Já a camada evapotranspirativa (ET) possui configuração similar a camada convencional, com 0,50 m de solo compactado, seguida de uma cobertura vegetal de grama do tipo “esmeralda”.

A Figura 4 ilustra esquematicamente as

configurações das coberturas que compõem o experimento.

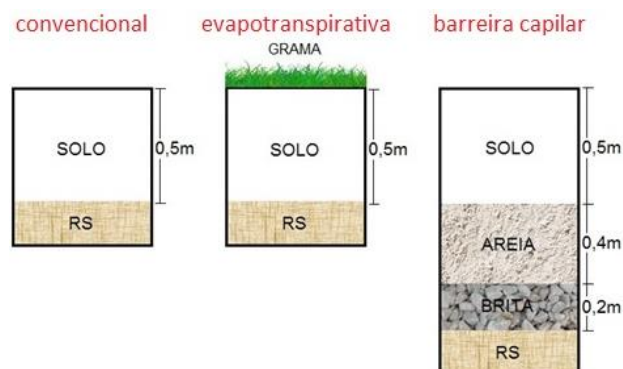


Figura 4. Esquema do perfil das camadas de cobertura do experimento.

O solo utilizado foi o que estava sendo empregado na execução das camadas intermediárias do aterro. Em relação à característica geotécnica do solo, este foi caracterizado como uma areia silto-argilosa com 60% de areia, 30% de silte e 10% de argila) com limite de liquidez de 56,5%, índice de plasticidade de 22,1% e peso específico das partículas de 27,5 kN/m³. O ensaio de Proctor Normal indicou massa específica seca de 15,19 kN/m³ e uma umidade ótima de 23,5%.

2.3 Investigações de Campo

Os ensaios de campo foram realizados de agosto de 2014 a fevereiro de 2016, representando um total de 18 investigações de campo. Todos os ensaios de campo foram realizados em dias com ausência de chuvas, em função das dificuldades encontradas para a realização dos mesmos em dias chuvosos. As temperaturas variaram de 24,0 a 41,0 °C nos ensaios de campo. As maiores temperaturas (35 a 41 °C) foram aferidas nos ensaios de campo realizados nos meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015. Já as menores temperaturas (24 a 25 °C) foram medidas nos ensaios do mês de outubro de 2015.

As determinações dos fluxos de gases oriundos dos sistemas de cobertura foram realizadas utilizando-se a metodologia do ensaio de placa de fluxo estática (MACIEL, 2003; MARIANO, 2008; TEIXEIRA et al., 2009; LOPES, 2011).

Foram utilizadas duas placas de fluxo nas investigações de campo. Uma das placas de fluxo foi construída com chapa de aço galvanizado de 2 mm de espessura e topo em acrílico cristal com 8 mm de espessura, possuindo dimensões de 0,16 m² de área e 8,3 L de volume (MACIEL, 2003; OLIVEIRA, 2013). A outra placa de fluxo foi construída com aço inox, possuindo dimensões de 1 m² de área e 50,0 L de volume (BORBA, 2015). A escolha de uma placa maior foi para ter uma área de abrangência maior para as fissuras presentes no solo dos sistemas de cobertura. Ambas as placas foram cravadas no solo de cobertura, tendo suas extremidades seladas com solo e água para que não houvesse o escape do biogás para a atmosfera. Após a etapa de cravação, os equipamentos utilizados nos ensaios foram conectados a placa de fluxo. A Figura 5 ilustra as etapas de instalação da placa de fluxo de 1 m² e dos respectivos equipamentos de leituras utilizados nos ensaios de campo.

A escolha inicial para a instalação da placa de fluxo foi baseada em pontos providos de rachaduras e fendas (fissuras) na área das células experimentais, onde o escape do biogás é preferencial.



5.1. Local com fissura na camada barreira capilar.



5.2. Placa de fluxo.



5.3. Placa cravada.



5.4. Placa selada e equipamentos instalados.

Figura 5. Etapas da instalação da placa de fluxo e dos equipamentos de leitura nos ensaios de campo.

As leituras das concentrações dos gases foram realizadas com a utilização do detector portátil Dräger X-am 7000 que detecta simultaneamente e de forma contínua até 5 (cinco) gases: (CH₄, CO₂, CO, H₂S e O₂). Além disso, foram

realizadas medições de pressão e temperaturas internas e externas a placa ao longo do tempo do ensaio.

O intervalo das leituras das concentrações dos gases foi de 5 minutos para a placa menor. Já para a placa maior, adotaram-se intervalos de 2 minutos até o oitavo minuto e, posteriormente em intervalos de 4 minutos até o minuto final. A duração dos ensaios de ambas as placas de fluxo foram de 60 minutos.

O fluxo de gás (J) foi determinado a partir dos resultados obtidos nos ensaios de placa de fluxo estática por meio da equação 1: CZEPIEL et al. (1996).

$$J = \frac{V_p \times \rho}{A} \times \left(\frac{\Delta C}{\Delta t} \right) \quad (1)$$

Onde J representa o fluxo de gás (kg/m².s); V_p é o volume útil da placa de fluxo (m³); A é a área de solo coberta pela placa (m²); ρ é a massa específica do gás a determinada temperatura (kg/m³); ΔC/Δt é a variação da concentração do gás (% vol) com o tempo (s).

3 RESULTADOS

3.1 Emissões de Biogás

A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados obtidos para as emissões de CH₄ conjuntamente com a caracterização dos pontos em relação à existência de fissuras no momento dos ensaios de campo. Conforme já dito, as investigações de campo foram realizadas em um período com baixas precipitações, sendo caracterizado como um período seco. Os meses de novembro e dezembro de 2014 apresentaram precipitações de 56 mm e 35 mm, respectivamente. O mês de janeiro de 2015 apresentou precipitação de 83 mm e o mês de fevereiro do mesmo ano apresentou precipitação de 78 mm. Apesar da ausência de dados de precipitação a partir do mês de junho de 2015, verificou-se nas idas ao aterro sanitário, que para este período, as precipitações foram similares às encontradas para o ano de 2014.

Tabela 1. Resumo das emissões de CH₄ e caracterização dos pontos em relação à existência de fissuras.

Ponto	Data	Fluxo de CH ₄ (g/m ² .dia)	Placa	Presença de Fissuras no ensaio
BC1	13/11/14	349,5	PP	Sim (média)
C1	13/11/14	8,2	PP	Não
ET1	13/11/14	8,8	PP	Não
ET2	27/11/14	49,8	PG	Não
BC2	16/12/14	369,2	PG	Sim (média)
C2	16/12/14	29,9	PG	Sim (grande)
ET3	16/12/14	5,0	PG	Não
BC3	16/01/15	86,0	PG	Sim (pequena)
C3	16/01/15	14,0	PG	Sim (grande)
BC4	26/01/15	7,2	PG	Sim (pequena)
C4	26/01/15	7,5	PG	Sim (pequena)
C5	10/02/15	9,3	PG	Não
ET4	10/02/15	43,3	PG	Não
BC5	01/09/15	67,5	PG	Sim (pequena)
BC6	22/10/15	51,0	PG	Sim (pequena)
C6	22/10/15	14,7	PG	Sim (pequena)
BC7	03/02/16	66,8	PG	Sim (pequena)
ET5	03/02/16	68,9	PG	Não

PP – placa pequena; PG – placa grande.

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos para as emissões de CH₄ medidas em g/m².dia, para os três tipos de camadas de cobertura estudados.

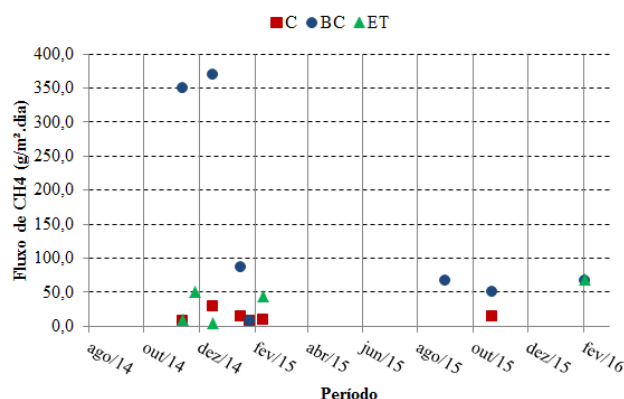


Figura 6. Emissões de CH₄ pelas camadas de cobertura.

Observa-se que a camada de barreira capilar apresentou maior dispersão nas emissões de

CH₄ com variação de 7,0 a 369,0 g/m².dia. Excetuando-se os dois ensaios que apresentaram maiores fluxos de CH₄, a variação das emissões de CH₄ neste tipo de camada é de até 86,0 g/m².dia. A camada evapotranspirativa apresentou emissões de CH₄ que variaram de 5,0 a 68,9 g/m².dia e a camada convencional apresentou emissões de CH₄ que variaram de 7,5 a 29,9 g/m².dia.

As Figuras 7 e 8 apresentam as emissões de CH₄ em relação à existência de fissuras nos pontos em que foram realizados os ensaios de campo. Observa-se que os fluxos de CH₄ nos ensaios realizados em pontos com fissuras (7,2 a 369,2 g/m².dia) apresentaram valores mais elevados do que os ensaios realizados em pontos sem fissuras (5,0 a 68,9 g/m².dia), conforme o esperado.

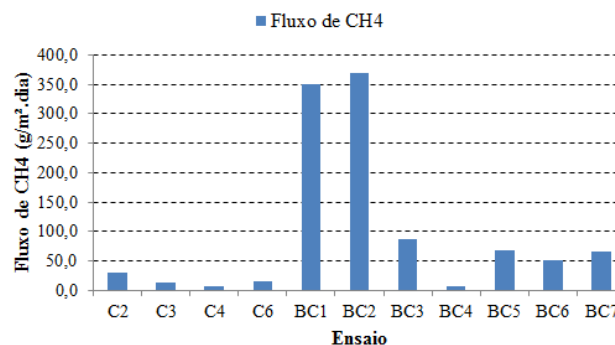


Figura 7. Fluxos de CH₄ nos ensaios que continham fissuras.

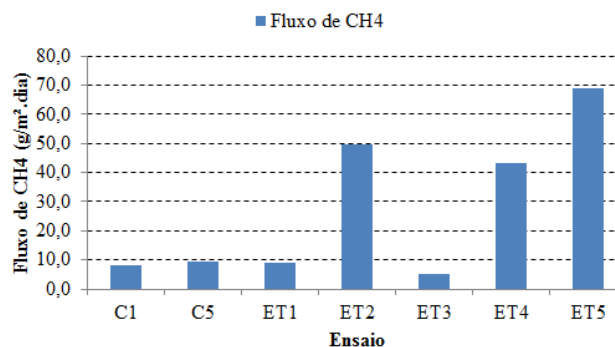


Figura 8. Fluxos de CH₄ nos ensaios que não continham fissuras.

Os ensaios BC1 e BC2 apresentaram os maiores valores para o fluxo de CH₄ dentre os ensaios realizados em fissuras, sendo de 249,5 g/m².dia e 369,2 g/m².dia respectivamente. As fissuras de ambos os ensaios foram caracterizadas como de médio porte, ao passo que todos os demais ensaios realizados na mesma camada de cobertura tiveram as fissuras

caracterizadas como de pequeno porte. Comparativamente aos ensaios BC1 e BC2, os ensaios C2 e C3 apresentaram valores abaixo de $30,0 \text{ g/m}^2\cdot\text{dia}$ em pontos caracterizados por grandes fissuras.

Nos ensaios realizados em pontos sem fissuras, observa-se que o ponto ET5 apresentou o maior fluxo de CH_4 , que foi de $68,9 \text{ g/m}^2\cdot\text{dia}$. Destaca-se que neste ensaio, a camada evapotranspirativa estava bastante depreciada em função do número de ensaios realizados, das condições climáticas e operacionais do aterro sanitário. A Figura 9 mostra a situação da vegetação nos ensaios ET2 e ET5, realizados em 27/11/2014 e 03/02/2016 respectivamente.



Figura 9. Característica física da grama nos ensaios ET2 e ET5; (a) ensaio ET2; (b) ensaio ET5.

A cobertura evapotranspirativa ficou livre dos problemas relacionados às fissuras, o que representou sua principal vantagem. Outro benefício desta cobertura residu na estrutura da superfície do solo. Observou-se que a vegetação atuou benéficamente na construção de uma estrutura coesa entre o solo e às raízes da grama. Esta estrutura apresenta maior resistência ao escape do biogás. A Figura 10 apresenta a condição do solo sob as raízes da vegetação que evidencia uma espessura significativa de solo aderido na região do sistema radicular da grama.



Figura 10. Estrutura do solo sob as raízes da camada evapotranspirativa. (Fonte: Joaquim Jr, 2015).

Nos dias 13/11/14 e 16/12/14 foram realizados ensaios de placa de fluxo em cada uma dos 3 tipos de células experimentais e, os resultados encontrados para o fluxo de CH_4 nesses ensaios são apresentados nas Figuras 11 e 12 respectivamente.

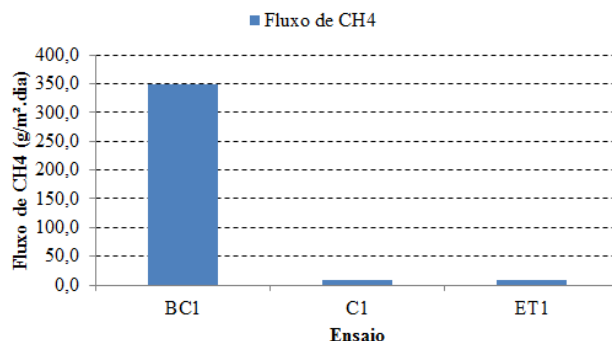


Figura 11. Fluxo de CH_4 nos ensaios realizados no dia 13/11/14.

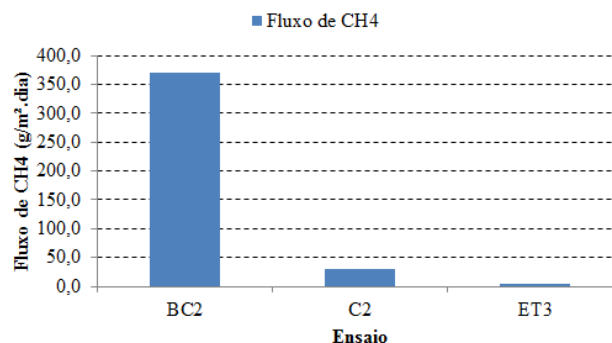


Figura 12. Fluxos de CH_4 nos ensaios realizados no dia 16/12/14.

A análise revela que em ambos os dias, os ensaios realizados na camada de barreira capilar apresentaram valores elevados. Uma justificativa para tais resultados é a profundidade da fissura presente nos pontos BC1 e BC2. Uma vez que a profundidade da fissura alcance a camada de areia da barreira capilar, a emissão fugitiva é facilitada em função da elevada permeabilidade ao ar deste tipo de granulometria.

Os resultados encontrados para o fluxo de CH_4 na camada convencional mostraram-se ser pontuais para a área na qual se encontra esta célula experimental. Borba (2015) realizou pesquisa na mesma camada de cobertura do sub-aterro 01 no Aterro Sanitário de Seropédica - RJ, porém em outros locais fora do perímetro da célula experimental e, encontrou valores que variaram de $0,1$ a $575,0 \text{ g/m}^2\cdot\text{dia}$ para o fluxo de CH_4 . Independentemente da existência ou não

de fissuras, os ensaios realizados na atual pesquisa na camada convencional apresentaram valores muito reduzidos. Borba (2015) apresentou resultados para o fluxo de CH₄ que variaram de 181,0 a 575,0 g/m².dia para ensaios realizados em pontos com fissuras e de 0,1 a 59,5 g/m².dia para os pontos sem fissuras. Esses resultados indicam que os baixos valores encontrados para o fluxo de CH₄ nesta camada se referem a uma especificidade da célula experimental em estudo, não representando a realidade das emissões de biogás normalmente encontradas neste sistema de cobertura. Mariano (2008) encontrou valores que variaram de 0 a 401,0 g/m².dia para o fluxo de CH₄ na camada convencional do Aterro Controlado de Aguazinha - PE. Fernandes (2009) encontrou valores que variaram de 23,3 a 337,7 g/m².dia para o fluxo do mesmo gás na camada convencional instalada no Aterro Experimental de Belo Horizonte - MG. Em Lopes (2011), as variações encontradas foram ainda maiores, sendo de 2,1 a 984,7 g/m².dia para o fluxo de CH₄ em camada convencional instalada em célula experimental no Aterro da Muribeca - PE.

Considerando este resultado pontual encontrado na célula experimental da camada convencional, as demais medidas de emissões indicam que a camada evapotranspirativa apresentou melhor desempenho na minimização da emissão do biogás para a atmosfera.

4 CONCLUSÕES

O solo empregado na camada de cobertura apresentou características granulares inadequadas (alto teor de areia) para a minimização das emissões fugitivas de biogás.

A cobertura do tipo convencional e a barreira capilar apresentaram danos por ressecamento (fissuras). Já a cobertura evapotranspirativa apresentou vantagem por ficar livre dos problemas relacionados às fissuras, além de atuar de forma eficaz na construção de uma estrutura que contribui para a retenção do biogás.

As emissões de CH₄ nos ensaios realizados em pontos com fissuras foram maiores do que

aqueles realizados em pontos sem fissuras.

Apesar da depreciação da vegetação, a camada evapotranspirativa foi mais eficaz do que a barreira capilar na retenção do biogás.

Em relação à camada convencional, a mesma apresentou baixos valores para o fluxo de CH₄, porém mostrou-se ser específico para a área na qual estava localizada a célula experimental.

REFERÊNCIAS

- Benson, C.; Abichou, T.; Albright, W.; Gee, G.; Roseler, A. (2001) Field evaluation of alternative earthen final covers, *International Journal of Phytoremediation*, Vol. 3, p. 1-21.
- Borba, P.F.S. (2015) *Avaliação das emissões de GEE e BTEX em aterro sanitário de grande porte*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 135 p.
- Czepiel, P.M.; Mosher, B.; Crill, P.M.; Harriss, R.C. (1996) Quantifying the effect of oxidation on landfill methane emissions, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, n. D11, p. 16.721-16.730.
- Fernandes, J.G. (2009) *Estudo da emissão de biogás em um aterro sanitário experimental*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 101 p.
- Joaquim Junior. (2015) *Comparação de desempenho de sistemas de cobertura em relação à infiltração de água pluvial no aterro sanitário de Seropédica (RJ)*, Tese de Doutorado em Ciências, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 215 p.
- Lopes, R.L. (2011) *Infiltração de água e emissão de metano em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos*, Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 250 p.
- Maciel, F.J. (2003) *Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 173 p.
- Mariano, M.O.H. (2008) *Avaliação da retenção de gases em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos*, Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 243 p.
- Oliveira, A.C.E. (2013) *Diagnóstico e avaliação de emissões fugitivas de biogás na camada de cobertura final da central de tratamento de resíduos de Nova Iguaçu e do lixão de Seropédica, Rio de Janeiro*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental,

Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 142 p.

Silva, T.N.; Freitas, F.S.N.; Candiani, G. (2013) Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte, *Eng. Sanit. Ambient.*, Vol. 18, n. 2, p. 95-104.

Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S.A. (1993) Integrated Solid Waste Management – Engineering principles and management issues, *MCGraw-Hill International Editions*, 978 p.

Teixeira, C.E.; Torves, J.C.; Finotti, A.R.; Fedrizzi, F.; Marinho, F.A.M.; Teixeira, P.F. (2009) Estudos sobre a oxidação aeróbia do metano na cobertura de três aterros sanitários no Brasil, *Eng. Sanit. Ambient.*, Vol. 14, n. 1, p. 99-108.