

DETERMINAÇÃO DA VAZÃO IDEAL DE CAPTAÇÃO (m³/h) DE GÁS METANO EM DRENOS HORIZONTAIS DE UM ATERRO SANITÁRIO DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA-CE

Eliana Dantas Ribeiro¹ (elianadtr@hotmail.com), Francisco Carlos Henrique Pio de Oliveira¹ (franciscocarlospho@gmail.com), Samara Castro Freire¹ (sosamara505@gmail.com), Gemmele Oliveira Santos¹ (gemmele@ifce.edu.br), Roberto Antônio Cordeiro da Silva² (roberto@det.ufc.br)

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Campus Fortaleza

²Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici

RESUMO

A pesquisa objetivou determinar as condições ótimas de captação de metano (m³/h) em três drenos horizontais do Aterro Sanitário de Caucaia-CE a partir de ajustes e testes na pressão de sucção, vazão e qualidade dos gases. No dreno PH335, a maior concentração de metano (63,6%) ocorreu com a válvula do cabeçote aberta a 25%, ou seja, trabalhando com -1,5 mb de pressão e captando 41,0 m³/h. Acima de 25%, a concentração de metano diminui e mais contaminantes (oxigênio, nitrogênio e outros gases) entram no dreno, prejudicando a qualidade do sistema de aproveitamento. No dreno PH361, a maior concentração de metano (61,4%) ocorreu com a válvula aberta a 75 e 100%, ou seja, sob -5,9 e -7,1 mb de pressão e captando 86,1 e 92,2 m³/h respectivamente. Diferentemente do dreno anterior, a progressiva abertura da válvula nesse dreno não arrasta contaminantes. No dreno PH363, a maior concentração de metano (55,3%) ocorreu com a válvula aberta a 75%, ou seja, a -8,2 mb de pressão e captando 52,2 m³/h. Quanto mais aberta a válvula mais contaminantes entram nesse dreno. Esses dados mostram que: (1) cada dreno possui características únicas, exigindo controle de vácuo específico, (2) a qualidade dos gases captados depende da localização do dreno, (3) as variações observadas podem significar mudanças nas condições de campo, na composição real dos resíduos, nos teores de umidade, no nível de compactação e na temperatura, entre outros parâmetros.

Palavras-chave: Aterro sanitário, Drenagem de Gás, Metano.

DETERMINATION OF METHANE IDEAL FLOW ON HORIZONTAL DRAINS FROM A LANDFILL IN METROPOLITAN REGION OF FORTALEZA-CE

ABSTRACT

This research aimed to determine the optimal methane uptake conditions (m³/h) in three horizontal drains of the Sanitary Landfill from Caucaia-CE, from adjustments and tests on suction pressure, flow and gases quality. In the PH335 drain, the highest concentration of methane (63.6%) occurred with 25% valve aperture, i.e. working at -1.5 mb of pressure and capturing 41.0 m³/h. Above 25%, methane concentration decreases and more contaminants (oxygen, nitrogen and other gases) enter the drain, damaging the quality of the recovery system. In the PH361 drain, the highest methane concentration (61.4%) occurred with the valve opened at 75 and 100%, i.e., under -5.9 and -7.1 mb of pressure, capturing 86.1 and 92.2 m³/h, respectively. Unlike the previous drain, the progressive valve opening does not carry contaminants. In the PH363 drain, the highest methane concentration (55.3%) occurred with the valve open at 75%, that is, at -8.2 mb of pressure and capturing 52.2 m³/h. In this drain the larger the opening, the greater the input of contaminants. The results show that: (1) each drain has unique characteristics, requiring specific vacuum control, (2) the quality of the gases captured depends on the location of the drain, (3) observed variations can mean changes in field conditions, actual composition of residues, moisture contents, compaction level and temperature, among other parameters.

Keywords: Landfill, Gas Drainage, Methane.

1. INTRODUÇÃO

Inúmeros processos que ocorrem no interior de um aterro sanitário, sob influência também das condições externas, resultam na degradação dos resíduos sólidos e na geração de lixiviados e gases.

A extração dos gases e a drenagem dos líquidos são formas de reduzir a pressão interna no maciço de resíduos, permitir a acomodação das camadas (STACHOWITZ, 2001), aumentar a estabilidade do aterro sanitário e viabilizar o tratamento e/ou aproveitamento desses dois subprodutos.

Na maioria dos aterros sanitários, são instalados sistemas de captação de gases compostos por drenos horizontais e/ou verticais interligados (feitos de tubos de PVC, concreto, PEAD) com extração passiva ou ativa (sob pressão de bombeamento).

A captação ativa dos gases de aterro está geralmente associada com algum projeto de aproveitamento do gás metano (para queima direta ou geração de energia térmica ou elétrica) e demanda a escolha de bons materiais para compor o sistema de drenagem (são necessários materiais resistentes, impermeáveis e flexíveis, a exemplo dos tubos de PEAD). É importante ainda determinar com precisão a profundidade de instalação, inclinação (3 a 5% para evitar o acúmulo de líquidos - Stachowitz, 2001) e proteção mecânica de cada dreno, além da pressão de sucção.

A pressão necessária para extrair os gases do interior do aterro sanitário depende de muitos fatores: distância entre o aterro e a planta de aproveitamento (que influencia na perda de carga e em alterações na qualidade dos gases), espaçamento entre os drenos (20 a 30m conforme Stachowitz, 2001), tipo de drenagem (vertical ou horizontal), qualidade do sistema de impermeabilização do aterro, concentração e volume dos gases. Uma pressão inadequada pode gerar explosões em qualquer ponto do sistema (TERRAZA; WILLUMSEN, 2009), aumentar custos com energia elétrica, captar maiores teores de contaminantes (oxigênio, nitrogênio, umidade) ou mesmo subutilizar a planta de aproveitamento energético. O correto é equilibrar a taxa de extração com a taxa de geração (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA, 2009).

No Brasil existem 687 aterros sanitários, sendo que 42 (6,11%) possuem sistema de aproveitamento dos gases (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS, 2016). No Estado do Ceará existem 06 aterros sanitários (SNIS, 2016), sendo que o maior deles fica na Região Metropolitana de Fortaleza: o aterro sanitário de Caucaia, com 123 hectares.

Em 2015, o Aterro Sanitário de Caucaia começou a receber as melhorias necessárias para instalação de um projeto de aproveitamento energético do metano. Em 2017, a planta entrou em operação em caráter experimental. Hoje, 2019, são comercializados aproximadamente 6.000 m³/hora de metano; extraído através de um conjunto de drenos verticais e horizontais interligados ao sistema de bombeamento/sucção.

Visitas técnicas realizadas ao aterro sanitário permitiram observar que a abertura das válvulas dos cabeçotes dos drenos - que na prática significa mudanças na pressão de sucção e vazão de captação - ocorre de forma muito empírica (apesar da larga experiência dos técnicos responsáveis) o que suscitou a importância de desenvolver uma pesquisa piloto voltada à determinação das condições ótimas de captação de metano (m³/h) a partir de sucessivos ajustes e testes na pressão de sucção em relação à vazão e qualidade dos gases. Como bem lembrou Leone (2007), o monitoramento de um poço de gás permite avaliar sua eficácia e decidir sobre a instalação (ou não) de um poço adicional, além de verificar se há configurações ou melhorias operacionais para aumentar a eficiência da coleta e minimizar a migração de gases para fora do aterro.

2. OBJETIVO

Determinar as condições ótimas de captação de metano (m^3/h) em três drenos horizontais do Aterro Sanitário de Caucaia-CE a partir de ajustes e testes na pressão de sucção, vazão e qualidade dos gases.

3. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido no Aterro Sanitário de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza. A Figura 1 mostra o local onde os ensaios foram realizados no contexto da área do Aterro.

Figura 1. Limites do Aterro Sanitário de Caucaia (em amarelo) e localização da área pesquisada (em azul)



A área pesquisada tem $929m^2$ e $125m$ de perímetro. É composta por duas bermas e um talude. Seus limites são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Coordenadas geográficas dos limites da área pesquisada

Pontos	Latitude (S)	Longitude (O)
A	3°47.632'	38°40.308'
B	3°47.625'	38°40.298'
C	3°47.615'	38°40.321'
D	3°47.608'	38°40.310'

Na área pesquisada existem 03 drenos horizontais de aproximadamente 60m de comprimento (01 na berma inferior, chamado PH335, e 02 na berma superior, chamados PH361, PH363), como mostra a Figura 2. A exata localização desses drenos é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Coordenadas geográficas dos drenos horizontais monitorados

Dreno	Latitude (S)	Longitude (O)
PH335	3°47.620'	38°40.306'
PH361	3°47.616'	38°40.319'
PH363	3°47.629'	38°40.308'

Os primeiros 12m de cada dreno são de PEAD (160mm) liso e os 48m seguintes são de PEAD perfurado, envolvido por britas e coberto com resíduos recém coletados (materiais de grande granulometria que devem proteger a integridade do dreno e funcionar como “filtro”), Figura 3. Para a instalação horizontal dos drenos é realizada uma escavação (Figura 4) de aproximadamente 3m de profundidade na extremidade lisa do dreno com 2% de inclinação até o fim da extremidade perfurada (essa inclinação ajuda no escoamento de líquidos). A extremidade lisa (Figura 5)

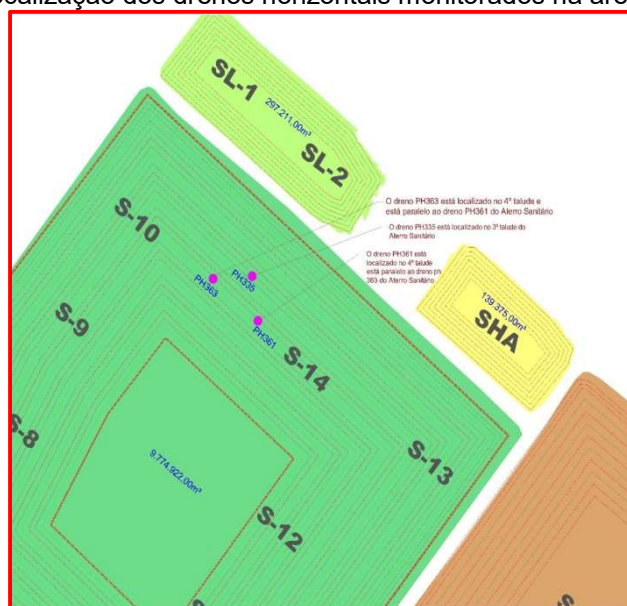
atravessa a camada de cobertura e se conecta a um cabeçote. Esse cabeçote possui 3 conectores (do tipo engate rápido) nas exatas especificações do leitor de gás GEM5000 (Figura 6). Tal equipamento permite a leitura da concentração de oxigênio (%), monóxido de carbono (ppm), dióxido de carbono (%), metano (%) e gás sulfídrico (%). Além disso, permite medir a temperatura (°C), a pressão (mb) e o vazão de gases (m³/h).

Resposta da pergunta quanto à metodologia de medição da vazão dos gases.

Conforme o parágrafo acima, o próprio equipamento GEM5000 realiza a leitura da vazão (m³/h) dos gases; sendo o único equipamento utilizado na pesquisa.

Conforme solicitado, foi confeccionado o layout da localização dos 3 drenos analisados por essa pesquisa (Figura 2).

Figura 2. Localização dos drenos horizontais monitorados na área pesquisada



Nessa pesquisa não aconteceu coleta de material; portanto, as leituras dos parâmetros (realizadas pelo equipamento GEM5000) analisados se sucederam apenas nos drenos de captação forçada do gás já instalados no aterro, conforme Figura 6.

Figura 3. Representação geral dos drenos

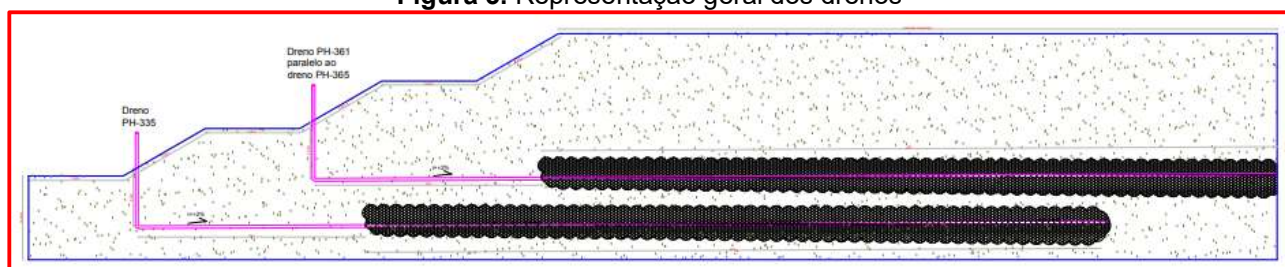


Figura 4. Escavação do aterro sanitário para instalação dos drenos horizontais de PEAD



Cada dreno foi monitorado durante 09 campanhas de campo, que se iniciaram em 18/12/2018 e se encerraram em 25/01/2019, sempre no turno da manhã. Para determinar as condições ótimas de captação de metano (m^3/h) foram realizados ajustes e testes na pressão de sucção observando seus reflexos sobre a vazão e qualidade dos gases, ou seja, abriu-se a válvula do cabeçote de cada dreno e monitorou-se sua qualidade em 04 posições: 25, 50, 75 e 100%.

Após ligar e calibrar o GEM5000 realizou-se a conexão do equipamento ao cabeçote do dreno e a leitura da concentração dos gases durante 120 segundos em cada uma das 04 posições da válvula. Entre as leituras realizou-se uma "purga" de 15 segundos no equipamento (leitura ao ar livre para limpeza)

Figura 5. Vista do tubo de PEAD de 160mm utilizado como dreno



Figura 6. Vista do cabeçote do dreno horizontal conectado ao leitor de gás GEM5000



4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em linhas gerais, observou-se que cada dreno possui características únicas, exigindo controle de vácuo específico para aumentar sua eficiência na coleta dos gases, em particular do metano.

Os três drenos apresentaram maior percentual de metano que de dióxido de carbono, mostrando clara presença da fase metanogênica, mesmo com resíduos depositados há poucos anos. No dreno PH335, a concentração de metano foi até 1,8 vezes maior que a concentração de dióxido de carbono; nos demais, essa diferença foi de 1,7 (dreno PH361) e 1,4 (dreno PH363).

Para Kashyapa, Chughb e Nandakumarc (2016) aterros sanitários de países tropicais atingem a fase metanogênica de degradação dos resíduos muito mais rápido que aterros de países temperados, com boa produção de metano nos 3 primeiros anos, e com quase toda produção de gás dentro de 20 anos após a compactação dos resíduos.

Em dois drenos (PH335 e PH363) a concentração de oxigênio - mesmo estando dentro dos limites da literatura - aumentou com o crescimento da pressão de sucção, o que pode significar um risco de crescimento das taxas de oxidação do metano. Conforme Bo-Feng et al. (2014) a taxa de oxidação depende da composição dos resíduos, tipo de material e espessura da cobertura do aterro, umidade e temperatura. Se o teor de umidade estiver entre 11 e 25% tem-se a condição ideal de oxidação do metano (WHALEN et al., 1990; BOECKX; VAN CLEEMPUT; VILLARALVO, 1996).

O dreno PH361 foi o que apresentou as maiores vazões (m^3/h) por unidade de pressão (mb): entre 13 e 21 m^3/h para cada 1 mb. No extremo oposto ficou o dreno PH363, com 6 - 9 m^3/h por unidade de pressão. Para a EPA (2012) altos níveis de lixiviado em um poço podem reduzir a coleta do biogás, especialmente se o poço estiver submerso (no aterro pesquisado existem alguns drenos nessa situação, inclusive próximos da área pesquisada).

Considerando apenas a concentração média geral das 09 campanhas de campo, o dreno PH335 (que está no talude inferior, portanto envolvido por um maior volume de resíduo) foi o que apresentou a maior teor de metano (61,5%), seguido do PH361 (61,2%) e do PH363 (55,1%). Conforme Santos (2012) a velocidade e o volume da produção de gases, bem como sua composição, são específicos de cada aterro e ao mesmo tempo diferentes em cada ponto do aterro sanitário.

Observou-se também que os drenos PH361 e PH363, apesar de instalados no mesmo talude, apresentaram diferenças de até 11,3% na concentração de CH_4 . Isso significa que os perfis de

concentração tiveram significativa variabilidade em curtas distâncias (o dreno PH361 dista aproximadamente 31,5m do dreno PH363); conclusão semelhante foi realizada por Schroth et al. (2012) e Röwer et al. (2011). Tal variação pode significar, conforme González et al. (2011), mudanças nas condições de campo, na composição real dos resíduos, nos teores de umidade, no nível de compactação e na temperatura (os microrganismos aumentam sua produtividade quando a temperatura está entre 35 e 45°C, conforme Qian et al., 2002).

A maior temperatura média geral dos gases foi observada no dreno PH335 (48,9°C), seguido do dreno PH361 (47,7°C) e do dreno PH363 (43,6°C). Como dito anteriormente, o PH335 está no talude inferior, portanto sob um maior volume de resíduos; o que de certo modo justifica uma geração maior de calor na sua zona de captação/influência. Conforme Hanson, Yesiller e Kendall (2005) temperaturas mais altas são geralmente encontradas em profundidades maiores [...] e para atingir concentrações de até 70% de metano são requeridas temperaturas de até 48°C. Observou-se também que os drenos PH361 e PH363 apresentaram uma leve correlação positiva entre o aumento da temperatura e a concentração de metano.

Como destacou Leone (2007) a qualidade dos gases captados depende da localização do dreno. Já a taxa de migração dos gases depende em grande parte das propriedades físicas do solo (densidade, porosidade, saturação, permeabilidade) e da pressão de sucção, conforme Vigneault, Lefebvre e Nastev (2004) e Röwer et al. (2011). Segundo a United States Army Corps of Engineer - USACE (2008) a migração em aterros sanitários é maior por advecção (gradiente de pressão) que por difusão (gradiente de concentração).

No dreno PH335, a maior concentração média de metano (63,6%) ocorreu com a válvula aberta a 25%, ou seja, trabalhando com -1,5 mb de pressão e captando 41,0 m³/h de biogás. Acima de 25%, a concentração de metano diminui mesmo que aumente a pressão de sucção. Além disso, quanto mais aberta a válvula mais contaminantes (oxigênio, nitrogênio, outros gases, vapor de água) entram no dreno, prejudicando a qualidade do sistema de aproveitamento (Quadro 1). A participação do vapor de água, por exemplo, pode chegar a 7% em volume (USACE, 2008).

Conforme solicitado, a pressão, antes na unidade mb, foi convertida para mbar.

Quadro 1. Composição dos gases, pressão e vazão no dreno PH335, Aterro de Caucaia-CE

Concentração	Abertura da Válvula do Cabeçote			
	25%	50%	75%	100%
%				
CH ₄	63,6	60,9	60,7	60,7
CO ₂	35,0	36,4	36,2	36,0
O ₂	0,2	0,3	0,5	0,7
Outros Gases	1,2	2,4	2,7	2,6
Pressão estática (mbar)	-1,5x10 ⁻⁶	-8,1x10 ⁻⁶	-9,7x10 ⁻⁶	-10,0x10 ⁻⁵
Vazão (m ³ /h)	41,0	64,6	70,3	77,2
Temperatura (°C)	48,4	49,0	49,1	49,0

Conforme Leone (2007) a extração desproporcional de gás em um determinado dreno pode gerar o risco de entrada de ar, diminuindo a qualidade do gás captado em função do impacto negativo do ar sobre os microrganismos anaeróbios. Essa intrusão muda também o volume de coleta (EPA, 2012).

Para Pacheco (2004), se o ar atmosférico (ou oxigênio puro) for borbulhado para o interior do aterro a digestão aeróbia pode se estender por um longo período e grandes quantidades de dióxido de carbono e hidrogênio serão produzidas, principalmente se o aterro estiver seco.

A entrada de ar pela camada de cobertura de um aterro sanitário é provavelmente maior durante os períodos de alta pressão barométrica (USACE, 2008); quando também irá ocorrer redução das fugas de biogás (Xu et al. 2014).

No dreno PH361, a maior concentração média de metano (61,4%) ocorreu com a válvula aberta a 75 e 100%, ou seja, sob -5,9 e -7,1 mb de pressão e captando 86,1 e 92,2 m³/h de biogás respectivamente. Diferentemente do dreno anterior, a progressiva abertura da válvula não arrasta contaminantes para o dreno; na realidade diminui o teor de oxigênio (%) e estabiliza a concentração de outros contaminantes, Quadro 2. Condições muito específicas relacionadas com a composição dos resíduos, tamanho das partículas, temperatura, umidade, pH, idade dos resíduos (SANTOS, 2012) devem justificar o comportamento do dreno PH361, porém não foram determinadas nessa pesquisa.

Quadro 2. Composição dos gases, pressão e vazão no dreno PH361, Aterro de Caucaia-CE

Concentração	Abertura da Válvula do Cabeçote			
	25%	50%	75%	100%
%				
CH ₄	60,8	61,3	61,4	61,4
CO ₂	35,9	37,2	37,5	37,4
O ₂	1,3	0,2	0	0
Outros Gases	2,0	1,3	1,1	1,2
Pressão estática (mbar)	-3,1x10 ⁻⁶	-3,7x10 ⁻⁶	-5,9x10 ⁻⁶	-7,1x10 ⁻⁶
Vazão (m ³ /h)	39,6	76,5	86,1	92,2
Temperatura (°C)	45,7	48,4	48,7	48,0

Considerando apenas a questão da pressão, é mais interessante para o dreno PH361 trabalhar com a válvula aberta a 75% (-5,9 mb), já que a concentração de metano estabiliza a partir dessa condição/abertura. Somente nesse dreno, os teores de oxigênio diminuíram com o progressivo aumento da pressão de sucção. Para a Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2001) uma baixa concentração de oxigênio dentro um aterro sanitário pode significar uma alta compactação dos resíduos [...], completa presença da fase anaeróbia e [...] um bom sistema de isolamento promovido pela camada de cobertura com relação a atmosfera.

No dreno PH363, a maior concentração de metano (55,3%) ocorreu com a válvula aberta a 75%, ou seja, a -8,2 mb de pressão e captando 52,2 m³/h de biogás. Acima de 75%, a concentração de metano diminui (levemente) mesmo que a vazão aumente. Além disso, quanto mais aberta a válvula mais contaminantes entram no dreno (oxigênio, nitrogênio e outros gases), prejudicando o sistema, conforme o Quadro 3.

Quadro 3. Composição dos gases, pressão e vazão no dreno PH363, Aterro de Caucaia-CE

Concentração	Abertura da Válvula do Cabeçote			
	25%	50%	75%	100%
%				
CH ₄	54,8	55,1	55,3	55,2
CO ₂	41,8	41,3	40,9	39,4
O ₂	0,9	1,1	1,2	1,7
Outros Gases	2,5	2,5	2,6	3,7
Pressão estática (mbar)	-3,5x10 ⁻⁶	-7,3x10 ⁻⁶	-8,2x10 ⁻⁶	-8,4x10 ⁻⁶
Vazão (m ³ /h)	32,3	48,1	52,2	53,6

Temperatura (°C)	43,2	43,4	43,6	44,0
------------------	------	------	------	------

Conforme Leone (2007) a eficiência de coleta e a qualidade do gás são afetadas também por parâmetros meteorológicos (precipitação, pressão atmosférica, temperatura, umidade do ar). Para a USACE (2008) a pressão atmosférica, por exemplo, pode diminuir ou aumentar a taxa de liberação de gás de um aterro bem como influenciar o funcionamento dos sistemas de extração de gás.

5. CONCLUSÃO

A geração e captação de gases nos aterros sanitários dependem de muitos fatores (internos e externos, isolados e combinados, temporários e permanentes) e isso transmite aos drenos condições muito particulares em termos de vazão e concentração de metano.

O monitoramento realizado no aterro estudado permitiu, de certo modo, prever a melhor condição de funcionamento para cada dreno, sugerindo melhorias na eficiência de coleta do metano e redução de contaminantes.

A área pesquisada encontra-se na fase metanogênica de degradação dos resíduos, sendo bastante acertada, em termos energéticos, a decisão de instalação dos drenos monitorados.

A concentração de metano variou vertical e horizontalmente em curtas distâncias.

Os valores da temperatura parecem anunciar que a área estudada está com alta taxa de degradação dos resíduos e de geração de gases e lixiviados.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer as empresas GNR Fortaleza e Marquise pelo financiamento dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Landfill Gas Basics**. Division of Health Assessment and Consultation. Chapter 2., 12p., 2001.

BOECKX, P.; VAN CLEEMPUT, O.; VILLARALVO, I. Methane emission from a landfill and the methane oxidising capacity of its covering soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v.28, n.10-11, p.1397-1405, out./nov. 1996.

BO-FENG et al. Estimation of Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfills in China Based on Point Emission Sources. **Advances in Climate Change Research**, v.5., n.2., p.81-91, 2014.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Estimates of Methane Recovery in Landfill Gas Flaring and Utilisation**. Ireland: Fehily Timoney & Co. Ltd, 50p., 2009.

_____. Design, Construction and Operation of Landfill Gas Collection and Control Systems. In: **INTERNATIONAL BEST PRACTICES GUIDE FOR LFGE PROJECTS**. US: Global Methane Initiative, p.21-32., 2012.

GONZÁLEZ et al. Effect of solid wastes composition and confinement time on methane production in a dump. **Journal of Environmental Protection**, v.2, n.10, p.1310-1316, 2011.

HANSON, J. L.; YESILLER, N.; KENDALL, L. A. Integrated Temperature and Gas Analysis at a Municipal Solid Waste Landfill. In: 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, **Proceedings**, 2005.

KASHYAPA, R. K.; CHUGHB, P.; NANDAKUMARC, T. Opportunities & Challenges in Capturing Landfill Gas from an Active and Un-scientificallly Managed Land Fill Site - A Case Study. **Procedia Environmental Sciences**, v.35, p.348-367, 2016.

LEONE, J. The Effects of Atmospheric Pressure Changes on Landfill Gas Collection Efficiency and Quality. 2007. Thesis (Masters of Science in Environment, Health & Safety Management), Rochester Institute of Technology, Rochester, NY, 56p, 2007.

PACHECO, J. R. **Estudo de certas potencialidades de processos oxidativos avançado para o tratamento de percolado de aterro sanitário**. 2004. 97p. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

RÖWER et al. Spatial variability of soil gas concentration and methane oxidation capacity in landfill covers. **Waste Management**, v.31, n.5, p.926-934, may., 2011.

SANTOS, G. O. **Avaliação do cultivo de gramíneas na superfície de aterro sanitário, com ênfase para a redução da emissão de metano e dióxido de carbono para a atmosfera**. 2012. 313p. Tese (Doutorado), Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SCHROTH et al. Above - and below - ground methane fluxes and methanotrophic activity in a landfill-cover soil. **Waste Management**, v.32, n.5, p.879-889, may., 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS. **Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, Brasília, 2016.

STACHOWITZ, W. H. 15 years of experience in the field of landfill gas disposal – standards, problems, solution, and procedures. In: **8th International Landfill Symposium**, Italy, CISA, v.2, p.601-611, 2001.

TERRAZA, H.; WILLUMSEN, H. **Guidance Note on Landfill Gas Capture and Utilization**. Inter-American Development Bank, 68p., 2009.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS - USACE. **Landfill off-gas collection and treatment systems**. Washington, D.C., USACE, may., 15p., 2008.

VIGNEAULT, H.; LEFEBVRE, R.; NASTEV, M. Numerical Simulation of the Radius of Influence for Landfill Gas Wells. **Vadose Zone Journal**, v.3, p.909-916, 2004.

WHALEN et al. Rapid methane oxidation in a landfill cover soil. **Applied and Environmental Microbiology**, v.56, n.11, p.3405-3411, 1990.

XU et al. Impact of Changes in Barometric Pressure on Landfill Methane Emission. **Global Biogeochemical Cycles**, v.28, n.7., p.679-695, 2014.