

### III-261 – INVESTIGAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS GERADO EM LIXÕES DA REGIÃO METROPOLITANA DO CARIRI

**Érika Romana Gomes**

Graduando do curso de Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE – Campus Juazeiro do Norte).

**Francisco Gleson dos Santos Moreira**

Graduando do curso de Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE – Campus Juazeiro do Norte).

**José Cássio Ferreira de Sales**

Graduando do curso de Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE – Campus Juazeiro do Norte).

**Perboyre Barbosa Alcântara<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil. Doutor em Geotécnica pela Universidade Federal de Pernambuco. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE – Campus Juazeiro do Norte), Departamento de Engenharia Ambiental.

**Armando Borges de Castilhos Junior**

Engenheiro Sanitarista. Doutor em Gestão e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos pelo INSA de Lyon. Professor Associado III do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Plácido Aderaldo Castelo, 1649 – Planalto – Juazeiro do Norte – CE – CEP: 63040-540 - Brasil – Tel.: + 55 (088) 2101 5300 - e-mail: pbalcantara@msn.com; perboyre@ifce.edu.br.

#### RESUMO

O estudo da geração e da composição do biogás tem sido feito principalmente em aterros sanitários ou em aterros controlados, entretanto são poucas as informações sobre as suas concentrações em lixões, especialmente, em áreas do semiárido brasileiro. Sabe-se que nos lixões o manejo dos resíduos sólidos é feito de forma diferenciada do observado em aterros sanitários e, portanto, a evolução do processo de biodegradação, bem como a composição do biogás pode ser alterada em relação aos aterros sanitários. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo determinar as concentrações dos principais componentes do biogás ( $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ) nos lixões da Região Metropolitana do Cariri (RMC) localizado no semiárido do estado do Ceará. A investigação de campo, realizada no período de fevereiro de 2011 a março de 2013, consistiu da instalação de dispositivos para o monitoramento das concentrações do biogás por meio de um detector de gases (Eagle Series Portable Multi-Gas Detector). Os resultados obtidos indicaram que nos pontos analisados as concentrações de metano e dióxido de carbono são variáveis de acordo com a dinâmica de operação de cada vazadouro a céu aberto. Observou-se que em alguns pontos os valores médios medidos para o metano variou de 53 % a 56 % e para o dióxido de carbono 40 % a 42 %, que estão dentro da faixa observada em aterros sanitários, entretanto em outros pontos os valores medidos foram muito baixos ou nulos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos Sólidos Urbanos, Lixões, Geração de Biogás.

#### INTRODUÇÃO

No Brasil observa-se que mais de 90%, em massa, dos resíduos são destinados para a disposição final em aterros sanitários, aterros controlados e lixões (BRASIL, 2012). Na Região Nordeste a situação da destinação final dos RSU ainda é muito crítica. Na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2008, foi possível identificar que 89,3 % dos municípios nordestinos ainda tinham os lixões como destino final dos referidos resíduos o que representava um total 23.461,50 toneladas por dia, a exemplo do que ocorre em todos os municípios que compõe a Região Metropolitana do Cariri (RMC) que destinam diariamente, para os lixões municipais, cerca de 450 t resíduos e rejeitos.

A lei Federal 12.305 que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos qualificou e deu novos rumos à discussão sobre o tema e vem promovendo debates nos diversos setores da sociedade, especialmente, em relação às diretrizes e metas do Plano Nacional de Resíduos Sólido. Em relação aos lixões o referido Plano

Nacional estabelece nas diretrizes a eliminação e recuperação dos mesmos e apresenta como metas a eliminação total dos lixões até 2014 com reabilitação gradativa das áreas, entre os anos de 2015 e 2031, incluindo a queima pontual e captação de gases para geração de energia mediante estudo de viabilidade técnica e econômica. Neste sentido torna-se importante o estudo da geração e das concentrações de gases gerados nos lixões brasileiros.

A degradação dos resíduos sólidos urbanos aterrados ocorre, principalmente, pela bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas. Nos aterros sanitários a fase gasosa é constituída, inicialmente, em grande parte, pelo ar atmosférico incorporado aos vazios dos resíduos durante os procedimentos operacionais de aterramento. Com a evolução do processo de biodegradação há uma alteração na composição da fase gasosa, devido à atuação dos diversos grupos microbianos que promovem a transformação de compostos orgânicos complexos em substâncias gasosas mais simples (ALCÂNTARA, 2007). Como bem afirma El-fadel et al. (1997), o aterro é um meio de interações multifase no qual cada uma das fases apresenta significativa variação no tempo e no espaço. Na fase aeróbia inicial, o  $\text{CO}_2$  é produzido numa taxa proporcional ao consumo de oxigênio ( $\text{O}_2$ ), enquanto a redução do nitrogênio é relativamente pequena. Após o consumo de  $\text{O}_2$  e o estabelecimento inicial de condições anaeróbias, verifica-se uma redução brusca das concentrações de  $\text{N}_2$  e já são produzidas quantidades relativamente altas de  $\text{CO}_2$ . Apesar da redução de  $\text{N}_2$  e da produção de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), o metano ainda não é produzido na fase de transição. Na fase ácida, intensifica-se a atividade microbiana, e o  $\text{CO}_2$  é o principal gás gerado. Também são produzidas pequenas quantidades de  $\text{H}_2$  e em alguns casos, já se verifica o início da produção de metano. Com a evolução do processo de degradação, se intensifica, na fase seguinte, a atividade dos microrganismos metanogênicos que convertem ácido acético,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$  em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . Após a conversão em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  de praticamente todo o material biodegradável, segue a fase de maturação final caracterizada pela redução considerável da taxa de geração de gás e pelo ressurgimento de  $\text{N}_2$  e  $\text{O}_2$  (FARQUHAR & ROVERS, 1973; REES, 1980; POHALAND e HARPER, 1985; TCHOBANOGLIOUS, *et al.*, 1993).

A geração e a composição do biogás nos aterros dependem, fundamentalmente, da composição dos resíduos, mas a taxa de bioconversão do material orgânico em biogás pode ser influenciada por diversos outros fatores que incluem aspectos ambientais, o manejo do aterro e os parâmetros físico-químicos, que estão na maioria das vezes, relacionados entre si (ALCÂNTARA e JUCÁ, 2011). Nos lixões, como o manejo dos resíduos é feito de forma diferenciada do observado em aterros sanitários, a evolução do processo de biodegradação, bem como a composição do biogás pode ser alterada em relação aos aterros sanitários. O estudo da geração e da composição do biogás tem sido feito principalmente em aterros sanitários ou em aterros controlados, entretanto são poucas as informações sobre as suas concentrações em lixões, especialmente, em áreas do semiárido brasileiro. O presente trabalho tem como objetivo determinar as concentrações dos principais componentes do biogás (metano e dióxido de carbono) em lixões na Região Metropolitana do Cariri, contribuindo assim para uma melhor compreensão do processo de biodegradação do lixo urbano depositado nos vazadouros a céu aberto e para uma melhor avaliação do potencial de emissão de gases de efeito estufa. Dados recentes da comunicação brasileira à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima indicam que as emissões de  $\text{CH}_4$  provenientes do setor de resíduos somaram 1,7 Tg nos anos de 2000 e 2005, representando 10 % de participação em relação às emissões totais de metano do Brasil (SABBAG et al, 2012).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

O presente trabalho foi desenvolvido na Região Metropolitana do Cariri (RMC) localizada na Mesorregião Sul Cearense. A Mesorregião do Sul se inscreve na porção meridional do Estado do Ceará entre os paralelos 060 46' 07'' a 070 51' 25'' latitude sul e 380 22' 09'' a 400 35' 59'' de longitude oeste de Greenwich, com uma área em torno de 14.800 km<sup>2</sup>, limitando-se ao sul com o Estado de Pernambuco, ao oeste com o Piauí e ao leste com a Paraíba. Trata-se de uma área que abrange uma parcela muito significativa da bacia sedimentar do Araripe, circundada parcialmente, por terrenos paleozóicos, e na quase totalidade por terrenos pré-cambrianos do embasamento cristalino (Carvalho et. al, 2007).

Nos municípios de Barbalha, Jardim, Crato e Santana do Cariri predominam os climas quente subúmido e semiárido brando, nos demais municípios predominam os climas semiárido e semiárido brando. As precipitações médias anuais (média histórica) variam entre 682 mm em Nova Olinda e 1153 mm no município de Barbalha (CEARA, 2010).

A RMC, criada através da lei complementar nº 78, 26 de junho de 2009 – Governo do Estado do Ceará, é constituída por nove municípios: Barbalha, Caririáçu, Crato, Farias Brito, Jardim, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri (Figura1). Na referida região, conforme Carvalho et. al, (2007), são identificados os sistemas ambientais da Chapada do Araripe, Vales Úmidos e Vales Secos, Maciços e Cristas Residuais e Sertões da Depressão Periférica Meridional do Ceará. As áreas na Chapada do Araripe e no seu entorno imediato estão submetidas a um clima tropical subúmido e as demais áreas têm clima quente semi-árido e semi-árido brando.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE).

**Figura 1: Mapa da Região Metropolitana do Cariri (RMC).**

Todos os municípios da região apresentam elevados índices de pobreza (Tabela 1) e o pólo de desenvolvimento econômico fica nos municípios de Juazeiro, Crato e Barbalha, que concentram 75,6 % da população e têm as principais indústrias e o comércio de atacado e varejo e, conseqüentemente, também concentram os principais geradores de resíduos sólidos.

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	DENSIDADE (Hab./Km <sup>2</sup> )	PIB PER CAPITA A PREÇOS CORRETES (R\$) <sup>2</sup>	INCIDÊNCIA DA POBREZA (%) <sup>3</sup>
Juazeiro do Norte	249.936	248, 223	1006,91	8060,35	52,14
Crato	121.462	1157, 914	104,87	5569,48	44,30
Barbalha	55.373	599, 307	92,31	5527,71	52,51
Missão Velha	34.258	650, 538	52,69	3316,23	54,66
Jardim	26.697	519, 101	51,41	3127,99	58,41
Caririaçu	26.387	637, 353	41,41	2877,29	62,88
Farias Brito	19.007	503, 619	37,74	3021,25	63,78
Santana do Cariri	17.181	855, 558	20,07	3151,01	71,78
Nova Olinda	14.256	284, 399	50,13	3408,64	60,12

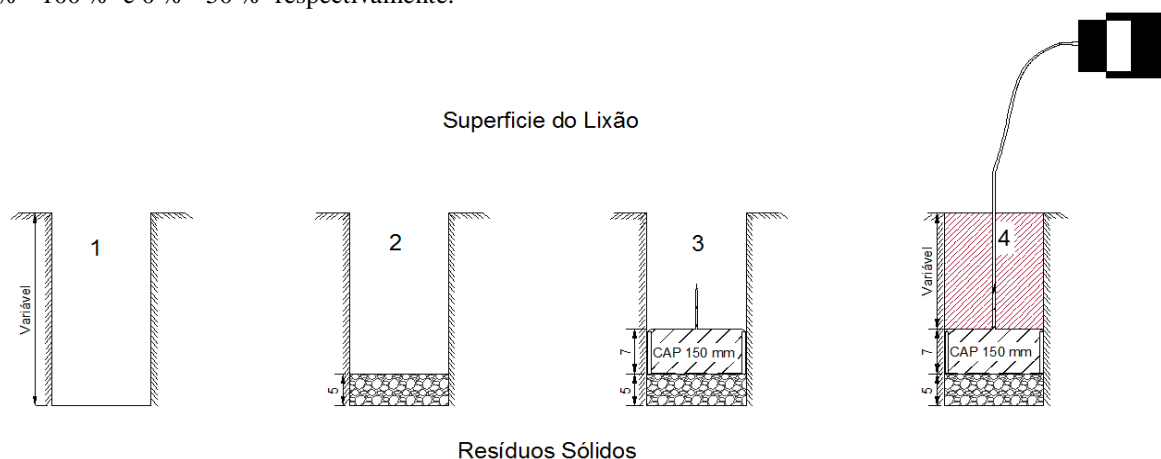
Fonte: IBGE - Censo 2010; Produto Interno Bruto dos Municípios 2008; 3Mapa de Pobreza e Desigualdade - Municípios Brasileiros 2003.

**Tabela 1: Dados geográficos dos municípios da Região Metropolitana do Cariri.**

### Procedimentos de investigação de campo

A investigação de campo teve como principal objetivo a determinação das concentrações de gases provenientes do processo de biodegradação dos resíduos sólidos depositados inadequadamente em vazadouros a céu aberto. Para isso, inicialmente, foi feito um levantamento nas áreas de estudo visando à localização dos pontos para a medição das concentrações de gases. Foram analisados cinco pontos (P1, P2, P3, P4 e P5) no lixão do município de Juazeiro do Norte-CE e dois pontos (P1e P2) nos lixões dos municípios de Crato-CE, Barbalha-CE, Missão Velha-CE e Jardim-CE. Os referidos pontos foram definidos conforme as características e a dinâmica de operação do vazadouro. Para a instalação do dispositivo foi feito um furo superficial na camada de cobertura de solo até atingir a massa de lixo sobre a qual se colocou uma camada de brita com espessura de, aproximadamente, 5 cm. Em seguida foi inserido um CAP de PVC (diâmetro de 150 mm e altura de 70 mm) com uma tela na parte inferior para evitar obstrução do mesmo. Na parte superior do CAP instalou-se um tubo flexível para a conexão do equipamento de leitura do biogás, conforme ilustrado na Figura 2.

A estimativa das concentrações de metano (CH<sub>4</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), fez-se por meio de um detector de gases (Eagle Series Portable Multi-Gas Detector) dotado de um sistema de sucção acionado automaticamente. As leituras foram realizadas em todos os pontos, sendo os valores expressos em porcentagem de volume (% vol.) e, para baixas concentrações, em partes por milhão (ppm). A detecção de metano e de dióxido de carbono é feita através de um sensor IR com faixa máxima de leitura de 0 % - 100 % e 0 % - 50 % respectivamente.



**Figura 2: Esquema ilustrativo da instalação dos dispositivos para a leitura das concentrações do biogás.**



A Figura 3 exibe uma vista geral dos sistemas de disposição final de resíduos sólidos urbanos analisados nos municípios da Região Metropolitana do Cariri.



**Figura 3: Vista geral dos lixões analisados: Juazeiro do Norte (a), Crato (b) Barbalha (c) Missão Velha (d) e Jardim (e).**

Inicialmente foi previsto um monitoramento semanal de cada um dos pontos, por um período mínimo de dois meses em todos os municípios da RMC. Entretanto devido às dificuldades enfrentadas durante o período de estudo para a instalação e manutenção dos dispositivos de leitura, as medidas das concentrações dos gases foram realizadas conforme as possibilidades de acesso aos pontos. Por se tratar de lixão onde ocorre um fluxo diário de catadores e a disposição dos resíduos é feita de forma quase aleatória, sem delimitações de áreas e sem fiscalização adequada, frequentemente, ocorriam perdas dos dispositivos, inviabilizando as leituras em períodos regulares. Em épocas de chuvas e durante várias ocorrências de queima dos resíduos era inviável o monitoramento dos gases. Nos lixões dos municípios de Caririáçu, Farias Brito, Santana do Cariri e Nova Olinda ainda não foi possível o monitoramento devido, principalmente, a perda dos dispositivos instalados, devido a queima frequente de áreas dos lixões e/ou sobreposição de resíduos nos pontos de instalação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

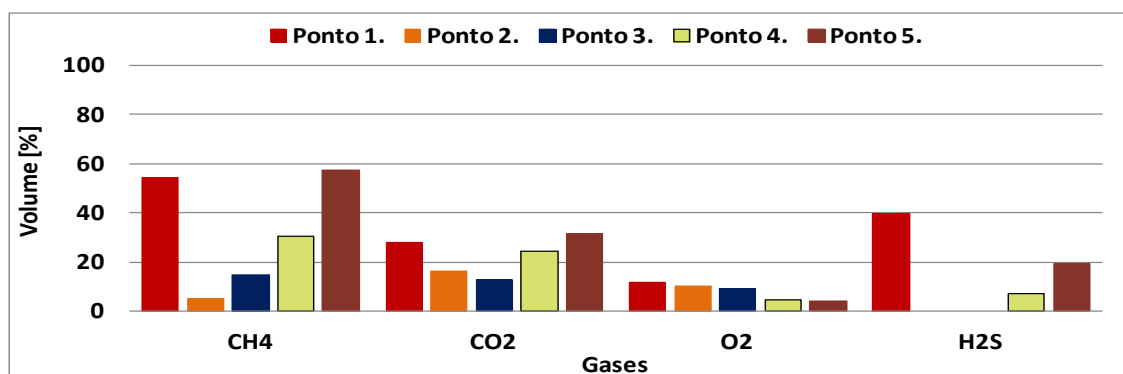
As análises realizadas indicaram que o biogás nos pontos P1, P4 e P5 no lixão de Juazeiro do Norte - CE apresentaram valores médios medidos na ordem de 58,16 %, 35,8% e 59,4 % para o metano, 35,6 %, 24,7% e 38,7 % para o dióxido de carbono, respectivamente (Figura 4a). Nesses pontos as concentrações de metano e de dióxido de carbono são próximas daquelas observadas em aterros sanitários. Em um aterro experimental na Região Metropolitana do Recife, Brasil, Maciel e Jucá (2011) observaram concentrações médias de CH<sub>4</sub>, e CO<sub>2</sub> de  $54,3 \pm 2,7\%$  e  $40,7 \pm 2,9\%$  respectivamente, durante um período de monitoramento de 18 meses. Os valores relativamente elevados observados nesses pontos podem ser justificados por se localizarem em áreas com maior espessura de lixo proveniente, essencialmente, da coleta regular e com elevado teor de matéria orgânica biodegradável. A composição média do lixo determinada logo após a descarga dos RSU no lixão, apresentou teores de matéria orgânica de 58,5 % e de papel e papelão em torno de 6,8 %.

Os pontos P2 e P3 apresentou concentrações de metano de 5 % e 17 %, dióxido de carbono de 18 % e 15 %, respectivamente. Os baixos valores de  $\text{CH}_4$  e de  $\text{CO}_2$  também podem ser decorrentes da presença de uma elevada concentração de resíduos industriais nas proximidades dos pontos de leitura, especialmente resíduos da indústria de calçados e de cortumes, que são de difícil biodegradação. Vale ainda ressaltar que frequentemente ocorre a queima do lixo em pequenos focos ou de forma generalizada, envolvendo grande parte da área de disposição. Os incêndios ocorrem espontaneamente, principalmente nos meses de setembro a dezembro, período mais quente e seco do ano, devido à presença de materiais que refletem e concentram a luz solar. Mas também ocorre queima intencional promovida pelos catadores, conforme relato dos mesmos, como forma de facilitar, posteriormente, a retirada de metais. Com a queima frequente dos resíduos ocorre uma redução dos materiais biodegradáveis em algumas áreas o que também contribuiria para a redução das concentrações do biogás.

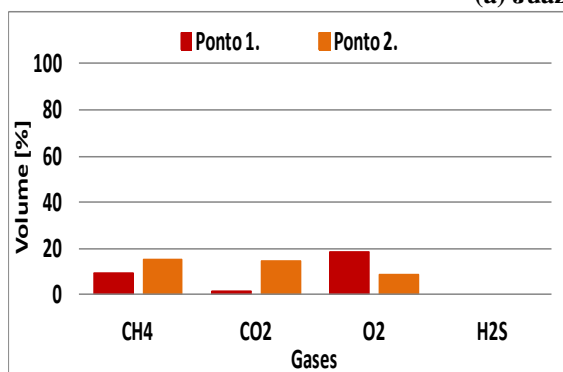
Nos lixões dos municípios de Crato, Barbalha, Missão Velha e Jardim os valores de  $\text{CH}_4$  variaram bastante com o tempo, mesmo considerando as leituras de um mesmo ponto, e ficaram na faixa de 1% a 19,4%, 5% a 18%, 5% a 45 % e 1% a 13 %, respectivamente. De modo geral, os valores de dióxido de carbono obtidos em um mesmo ponto apresentaram uma menor variação: Crato (P1 – 1% a 2 %; P2 – 7% a 18% ), Barbalha (P1 e P2 – 1% a 3 % ), Missão Velha (P1 – 1% a 10 %; P2 – 1% a 7 % ) e Jardim (P1 – 2% a 16 %; P2 – 7% a 10%). A produção de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  e a proporção entre eles depende do equilíbrio dinâmico entre os diversos grupos microbianos que atuam na degradação dos resíduos e de diversos parâmetros físicos e químicos.

Os valores obtidos sugerem que o processo de biodegradação é bastante instável devido, possivelmente, as alterações nas condições climáticas (períodos secos, períodos úmidos) e, especialmente, à falta de planejamento e controle do manejo dos resíduos no vazadouro o que provoca problemas como a queima frequente do lixo. Em todas as áreas foram verificados indícios ou flagrantes da queima do lixo o que é muito comum nos lixões da região, especialmente, no período mais seco. Outro aspecto que deve influenciar na variação das leituras é o percentual da área do vazadouro que possui cobertura com solo, que variam muito ao longo do tempo. Isso contribui para alterações bruscas no fluxo dos gases e para mudanças frequentes na evolução do processo de biodegradação que pode alternar entre digestão aeróbia, semianaeróbia e anaeróbia.

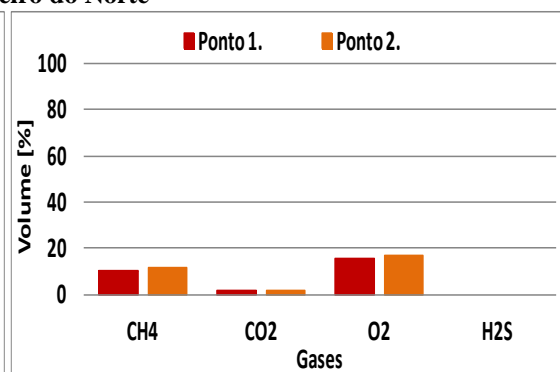
Em ambientes predominantemente anaeróbios, na presença de uma fonte de carbono orgânico e sob condições favoráveis de oxirredução e pH, as denominadas bactérias redutoras de sulfato utilizam o sulfato e sulfitos como receptor final de elétrons, produzindo o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Esse gás, além de ser um dos principais responsáveis pelo odor desagradável proveniente de aterros de RSU, pode causar danos à saúde e ao meio ambiente. Nos vazadouros analisados observa-se que apenas em de Juazeiro do Norte, em três pontos, foram observadas concentrações de sulfeto de hidrogênio. Nos demais lixões em que predominam ambientes aeróbios e semianaeróbios não foram observadas concentrações de  $\text{H}_2\text{S}$  dentro do limite de detecção do equipamento utilizado.



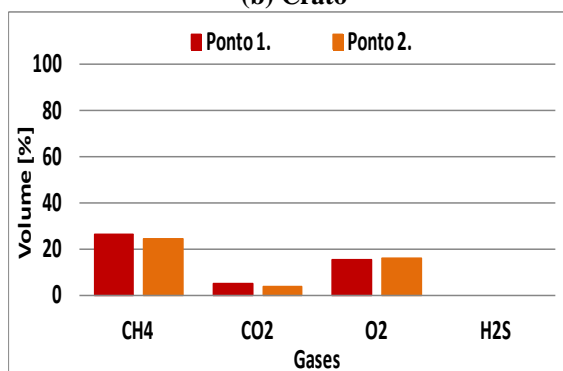
(a) Juazeiro do Norte



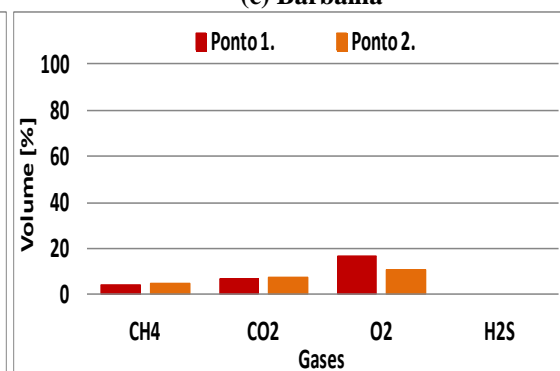
(b) Crato



(c) Barbalha



(d) Missão Velha



(e) Jardim

Figura 4: Valores médios das concentrações de gases nos lixões municipais (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> em % vol e H<sub>2</sub>S em ppm).

## CONCLUSÃO

No lixão de Juazeiro que apresenta um volume considerável de resíduos aterrados em profundidades maiores, em alguns pontos, são estabelecidas condições para um processo de digestão anaeróbia como sugerem as concentrações de CH<sub>4</sub> e de CO<sub>2</sub>. Os resultados revelaram que apesar da “construção” e da dinâmica de operação do lixão de Juazeiro diferir bastante do observado em aterros sanitários, o biogás produzido em alguns pontos, apresenta concentrações de metano e de dióxido de carbono dentro da faixa de valores relatados na literatura para aterros sanitários (50 % - 60 % de CH<sub>4</sub> e 40 % - 50 % de CO<sub>2</sub>). Entretanto, nos demais vazadouros, no período e nos pontos analisados, as concentrações de oxigênio (O<sub>2</sub>) foram relativamente maiores e as concentrações de CH<sub>4</sub> relativamente menores o que sugere que o processo de biodegradação ocorre, predominantemente, em condições aeróbias e semianaeróbias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALCÂNTARA, P.B. Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados. Tese (doutorado) Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2007.
2. ALCÂNTARA, P. B, JUCÁ, J. F. T. Recalque em aterros: influência da composição dos resíduos sólidos urbanos, do clima e da biodegradação. Geotecnia (Lisboa), 2010.
3. BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, MMA – Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, agosto 2012.
4. BRASIL, MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Programa de Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. Diagnóstico do Município de Juazeiro Do Norte, 1998.
5. CARVALHO, G. M. B. S.; SOUZA, M. J. N.; SANTOS, S. M.; ALMEIDA, M. A. G.; FREITAS FILHO, M. R. Compartimentação Geoambiental da Mesorregião do Sul Cearense. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3797-3803.
6. CEARÁ, Secretaria do Planejamento e Gestão (SEPLAG), Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) **Perfil Básico Municipal - Juazeiro do Norte**, Fortaleza-CE, 2010.
7. EL-FADEL, M.; FINDIKAKIS, A. N.; LECKIE, J. O. Gas simulation models for Solid Waste Landfills”. **Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.** v. 27, n.3, p. 237-283, 1997.
8. FARQUHAR, G. H.; ROVERS, F. A. Gás production during refuse decomposition. **Water Air Soil Pollut.** v.2, p.483-495, 1973.
9. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008 – PNSB. Rio de Janeiro 2010.
10. MIRANDA, E. E. de; GOMES, E. G. GUIMARÃES, M. Mapeamento e estimativa da área urbanizada do Brasil com base em imagens orbitais e modelos estatísticos. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005.
11. MACIEL, F. J. Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE. 158 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2003.
12. MACIEL, F. J., & JUCÁ, J. F. T. (2011). Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW large-scale Experimental Cell in Brazil . *Waste Management* , 31 966–977
13. POHLAND, F.G.; HARPER, S.R. **Critical review and summary of leachate and gas production from landfills**. Cincinnati: US Environmental Protection Agency, 1985. EPA/600/2-86/07
14. TCHOBANOGLOUS, G.; THEISEN, H.; VINIL S. **Integrated solid waste management : engineering principles and management issues**. New York : Irwin MacGraw-Hill, 1993. 978 p.
15. REES, J.F. The fate of carbon compounds in the landfill disposal of organic matter. **J. Chem. Technol. Biotech.** v. 30, p. 161-175, 1980.