

## TÉCNICAS UTILIZADAS NO MONITORAMENTO DE BIOGÁS EM UM LISÍMETRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Kellianny Oliveira Aires<sup>1</sup>; Raul Batista Araujo de Sousa<sup>2</sup>; Jeovana Jisla das Neves Santos<sup>3</sup>; Maria Josicleide Felipe Guedes<sup>4</sup>; Márcio Camargo de Melo<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual da Paraíba, e-mail: kelliannyaires@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: raulbatista01@gmail.com

<sup>3</sup> Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: jeovana\_jisla@hotmail.com

<sup>4</sup> Universidade Federal Rural do Semi-Árido, mjosicleide@ufersa.edu.br

<sup>5</sup> Universidade Federal de Campina Grande, e-mail: melomc90@gmail.com

**RESUMO:** A biodegradação nos aterros sanitários é realizada por diversas comunidades microbianas, gerando o biogás, que é composto principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O objetivo deste trabalho é avaliar três técnicas utilizadas para o monitoramento das concentrações do biogás, verificando suas diferenças e compatibilidade com as fases de biodegradação dos resíduos sólidos urbanos dispostos em um lisímetro. Desta forma, foi construído um lisímetro de 11 m<sup>3</sup>, dotado de um sistema de drenagem de gases e líquidos, e posteriormente, realizado o planejamento estatístico para obtenção da amostra representativa de resíduos sólidos urbanos. Após essa etapa foi realizada a coleta de biogás e o monitoramento a partir de 3 (três) metodologias: Kit Biogás com Biofoto, Dräger e Cromatografia Gasosa. Baseado nos resultados obtidos pelo Kit Biogás verificou-se que as concentrações de CO<sub>2</sub> variaram entre 12% e 27,5% e, por volta do dia 137, as concentrações de CO<sub>2</sub> se encontravam em níveis dentro do limite esperado para a fase de transição do processo de digestão dos RSU. As concentrações observadas com o Dräger variaram entre 3% a 19,5 % para CH<sub>4</sub> e 7,4% a 33% para CO<sub>2</sub>. As concentrações de CO<sub>2</sub> verificadas pela Cromatografia Gasosa apresentaram uma média em torno de 43%. O monitoramento de gases indicou que o lisímetro entrou na fase metanogênica após 391 dias. As três técnicas se mostraram eficientes, sendo a Cromatografia Gasosa a mais precisa para monitorar as concentrações de biogás.

**Palavras-chave:** Biogás, Resíduos Sólidos Urbanos, Lisímetro.

### INTRODUÇÃO

A busca de soluções para a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos tem se constituído um desafio para as Engenharias civil, sanitária e ambiental. Nesse contexto, os aterros sanitários se apresentam como uma das soluções mais completas para a disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Para que os aterros sanitários se configurem como unidades de tratamento de resíduos que não causem danos ao meio ambiente e à saúde, devem possuir um monitoramento adequado da disposição de RSU, à luz das tecnologias existentes e normas previstas para tal.

A biodegradação dos RSU em aterros sanitários é realizada por diversas comunidades microbianas que incluem bactérias hidrolíticas e fermentativas, acidogênicas, acetogênicas e arqueas metanogênicas, além de bactérias redutoras de sulfato, fungos e protozoários

(MATA-ALVAREZ, 2002). Um dos produtos gerados a partir da decomposição dos resíduos em aterro é o biogás, composto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). O biogás, basicamente é um gás derivado da digestão anaeróbica das bactérias, e é gerado em larga escala em aterros sanitários, em função da alta atividade microbiana presente no meio de decomposição da parte orgânica dos RSU (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993).

A biodegradação dos resíduos sólidos urbanos envolve diferentes processos ao longo do tempo, podendo ser dividida basicamente por 5 fases: Ajuste Inicial (fase I), Transição (fase II), Ácida (fase III), Metanogênica (fase IV) e Maturação (fase V) (TCHOBANOGLIOUS et al, 1993).

Segundo Tchobanoglous et al. (1993) na fase aeróbia inicial, o  $\text{CO}_2$  é produzido numa taxa proporcional ao consumo de  $\text{O}_2$ , enquanto a redução do  $\text{N}_2$  é relativamente pequena. Após o consumo de  $\text{O}_2$  e o estabelecimento inicial de condições anaeróbicas, 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  $\text{H}_2$ , 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 intensifica-se na Fase IV, a atividade das arqueas metanogênicas 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 e maturação final caracterizada pela redução considerável da taxa de geração de gás e pelo ressurgimento de  $\text{N}_2$  e  $\text{O}_2$ .

Devido à existência de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  em sua composição, o biogás contribui diretamente para o aumento do efeito estufa, sendo um dos principais poluentes do meio ambiente (USEPA, 1998). Tendo em vista a grande incerteza na estimativa das emissões de gases, devido à variedade de processos que ocorrem dentro da massa de resíduos, torna-se importante a necessidade de analisar a concentração de biogás produzida em aterros sanitários para avaliar o potencial produtivo e viabilizar o seu uso, proporcionando uma alternativa de energia renovável para a população, além de contribuir com a prevenção do efeito estufa, já que no processo de aproveitamento do biogás, o metano presente é eliminado através de sua queima (MACIEL, 2003; SOUSA et al., 2013).

Diversas técnicas são utilizadas no monitoramento do biogás gerado a partir da biodegradação dos RSU. As concentrações de biogás podem ser medidas com equipamentos *in situ* e/ou por meio de amostras coletadas para análise em laboratório. O monitoramento do

biogás pode ser realizado através de equipamentos detectores que fazem uso de sensores capazes de identificá-los no ambiente. Para que um monitoramento seja o mais confiável possível, há a necessidade de um conhecimento prévio das características dos sensores e do ambiente a ser monitorado. Acrescentam-se ainda em um monitoramento de gases, além da resposta rápida, a sensibilidade e o custo do equipamento (AIRES, 2013).

Neste trabalho o monitoramento do biogás foi realizado em um lisímetro com estrutura cilíndrica de alvenaria com volume de  $11\text{m}^3$ , que consiste em uma célula experimental que simula o comportamento de uma célula de aterro sanitário. Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar três técnicas utilizadas no monitoramento das concentrações do biogás (Kit Biogás com Biofoto, Dräger e Cromatografia Gasosa), verificando suas diferenças e compatibilidade com as fases de biodegradação dos resíduos sólidos dispostos no lisímetro.

## METODOLOGIA

### Construção, instrumentação e enchimento do lisímetro

Para avaliar as técnicas utilizadas no monitoramento do biogás, foi necessária a construção de um lisímetro nas dependências da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em Campina Grande-PB. Ele foi construído em alvenaria de tijolos manuais, com diâmetro interno de 2,0 m e altura 3,5 m, possuindo volume aproximado de  $11\text{ m}^3$  (Figura 1), é dotado de sistemas de drenagens de líquidos e gases, medidores de nível dos líquidos, medidores de recalque superficiais e profundos e medidores de temperatura ao longo da profundidade. Nas camadas de base e de cobertura foi escolhido um solo com características de baixa permeabilidade ( $k=10^{-7}\text{ cm/s}$ ).

**Figura 1** – Lisímetro construído na UFCG.



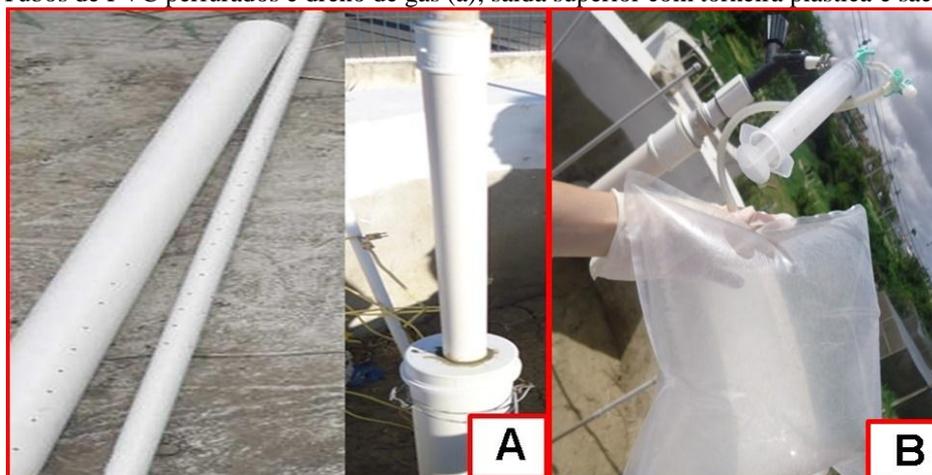
Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Logo após a disposição da camada de base do solo e da instrumentação necessária para o monitoramento, foram acondicionados no lisímetro, resíduos sólidos provenientes de doze bairros da cidade de Campina Grande - PB, obtendo com base em estudos estatísticos, uma amostra representativa dos resíduos produzidos na cidade. Em seguida, os RSU foram compactados e impermeabilizados superiormente por uma camada de cobertura de solo.

### Coleta do biogás

Concluída a etapa de construção e preenchimento do lisímetro, foi iniciada a fase de monitoramento das concentrações do biogás. A coleta do biogás gerado no interior do lisímetro foi realizada através de um dreno formado por tubos de PVC e inserido verticalmente na massa de resíduos (Figura 1). O tubo externo possui diâmetro de 100 mm e é utilizado para proteção de um segundo tubo com 40 mm de diâmetro, localizado no interior do tubo de maior diâmetro. Ambos possuem pequenos orifícios por toda extensão para entrada do biogás (Figura 2a). O espaço entre os tubos é preenchido com pedregulhos (brita) para minimizar a obstrução dos furos do tubo interior e, assim viabilizar a passagem do biogás dos resíduos para os drenos. A saída superior do tubo de biogás possui uma torneira plástica com rosca que permite a conexão de uma mangueira de saco coletor (Figura 2b).

**Figura 2** – Tubos de PVC perfurados e dreno de gás (a); saída superior com torneira plástica e saco coletor (b).



Fonte: Dados da pesquisa (2015).

O método de coleta do biogás foi desenvolvido pelo Grupo de Geotecnia Ambiental (GGA) e é composto por um bico de mangueira acoplado a uma válvula de três saídas, uma

seringa plástica de 50 ml para sucção do biogás e um saco coletor, onde foi armazenado o biogás, impedindo que os gases escapassem até a condução da amostra para o laboratório.

### Monitoramento das concentrações de biogás

O monitoramento das concentrações de biogás no lisímetro foi realizado através de três métodos: equipamento Dräger X-am 7000, Kit de Análise de Biogás com Biofoto e Cromatografia Gasosa, cujas características estão apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1** - Características dos equipamentos de medição das concentrações do biogás.

Equipamento	Gases	Parâmetro	Faixa de medição
Dräger X-am 7000	CO <sub>2</sub>	Concentração	0 – 100%
	CH <sub>4</sub>		0 – 100%
	O <sub>2</sub>		0 – 25 %
Kit Analisador de Biogás com Biofoto	CO <sub>2</sub>	Concentração	0 – 100%
	CH <sub>4</sub>		0 – 100%
Cromatógrafo a Gás	CO <sub>2</sub>	Concentração	0 – 100%
	CH <sub>4</sub>		0 – 100%
	N <sub>2</sub>		0 – 100%

Fonte: Aires (2013).

- Monitoramento através do Dräger

As leituras da concentração dos gases (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) no lisímetro foram realizadas pelo detector portátil e automático de gases com infravermelho Dräger, modelo X-am 7000. O equipamento é dotado de uma pequena bomba que faz a sucção do gás e direciona o fluxo para os sensores de leitura. O resultado é obtido em torno de 5 minutos com as faixas de medição de acordo com o Quadro 1. Este equipamento torna as análises viáveis pela praticidade, rapidez e pela margem de erro que é de 5%, além de possibilitar medições *in situ*.

- Monitoramento através do Kit de Análise de Biogás com Biofoto

O Kit de Análise de Biogás com Biofoto foi desenvolvido por meio de uma parceria entre a Embrapa Suínos e Aves e a empresa Alfakit Ltda. Este “Kit” permite determinar de

forma simples e rápida as concentrações de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. O Kit é composto por um amostrador de biogás, seringas coletoras, mini-orsat, reagentes, manual de instruções e acessórios. Devido ao baixo custo, o tempo de análise que é em torno de 30 minutos e o fácil manuseio do Kit, as análises podem ser feitas diariamente, ou sempre que se julgar necessário. Para as análises das concentrações do biogás por meio desse método, amostras de biogás foram coletadas pelo saco coletor e transportadas para o laboratório de Geotecnia Ambiental da UFCG, permitindo a leitura dos principais constituintes do biogás encontrados no lisímetro de RSU.

- Monitoramento através da Cromatografia gasosa

Para realizar a análise cromatográfica, o biogás coletado do lisímetro e armazenado no saco coletor foi encaminhado para o laboratório do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS), localizado no campus da Universidade Federal de Pernambuco, em Recife- PE. Tal método permitiu a determinação da composição do biogás em termos de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>.

O cromatógrafo a gás utilizado na pesquisa é um Appa modelo Gold, devidamente calibrado e conectado a um computador. Esse modelo possui detector de condutividade térmica (TCD) próprio para análises de biogás. A coluna cromatográfica (empacotada) de aço inoxidável possui 3 m de comprimento e é preenchida com Porapak N, 80/100. As temperaturas do injetor, detector e forno foram de 120°C, 150 °C e 50 °C, respectivamente. O fluxo de hidrogênio (gás de arraste) possui uma vazão pela coluna de 30 mL.min<sup>-1</sup>.

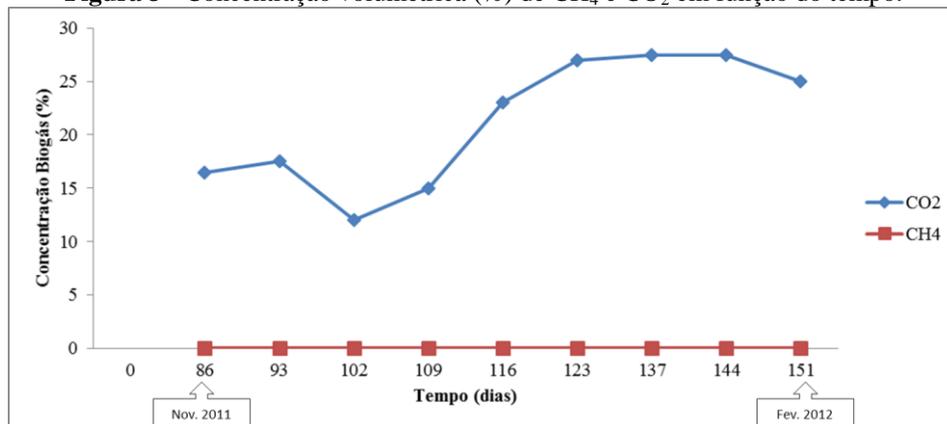
Para a realização da análise, foi utilizada uma seringa de 1 mL para recolher uma amostra de biogás do saco coletor. Em seguida, tal amostra foi injetada no cromatógrafo. Os cromatogramas forneceram as áreas dos picos de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>. A área de cada pico foi convertida por uma curva de calibração para valores em mL. Com o volume de biogás injetado (1 ml) e fazendo-se a razão entre esses valores, obteve-se o percentual (volumétrico) de cada tipo de gás na amostra de biogás.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O monitoramento das concentrações de biogás no lisímetro foi iniciado com o uso do kit de análise de biogás com biofoto. A princípio, a frequência das análises foi semanal para todos os gases analisados. Porém, as análises de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> tiveram que ser interrompidas após 151 dias de monitoramento, pois o equipamento sofreu avaria, inviabilizando assim, a leitura das concentrações desses dois gases.

Os resultados obtidos pela análise do Kit Biogás são apresentados na Figura 3. As concentrações de  $\text{CO}_2$ , observadas no período do monitoramento, variaram entre 12% e 27,5%, já a presença de  $\text{CH}_4$  não foi detectada no lisímetro ao longo dos 151 dias. Por volta do dia 137, as concentrações de  $\text{CO}_2$  se encontravam em níveis dentro do limite esperado para a fase de transição do processo de digestão dos RSU. Nessa fase, há uma intensificação da produção de  $\text{CO}_2$ . Além disso, por ser gerado como um subproduto da fermentação da matéria orgânica, essa fase também é caracterizada pelo aumento do pH, passando por valores ácidos até atingir a neutralidade, isso ocorre devido ao acúmulo de ácidos orgânicos, e às elevadas concentrações de  $\text{CO}_2$  no interior da massa de resíduos, em virtude da intensa atividade de microrganismos hidrolíticos-fermentativos e da baixa atividade das arqueas metanogênicas.

**Figura 3** - Concentração volumétrica (%) de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  em função do tempo.



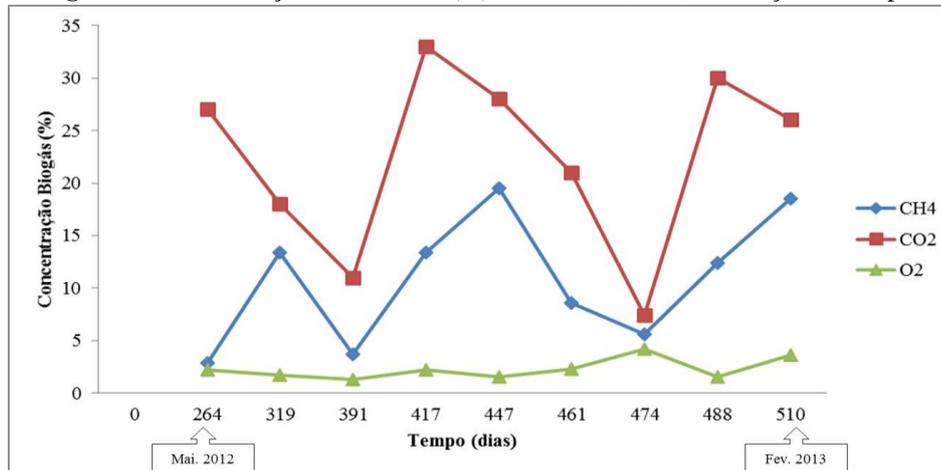
Fonte: Dados da pesquisa (2015).

A maioria dos modelos conceituais, principalmente o apresentado por Tchobanoglous et al. (1993) e Pohland & Harper (1985), procuram estabelecer tendências de geração de gás em função das fases de degradação, onde a concentração de  $\text{CO}_2$  cresce rapidamente nas fases iniciais, até atingir um pico máximo, decrescendo à medida que aumenta a concentração de  $\text{CH}_4$ . Portanto, as concentrações de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , durante o período compreendido entre os dias 86 e 151, tendem a seguir uma trajetória próxima da curva teórica indicadas por esses autores.

Em condições anaeróbias, o  $\text{CH}_4$  e o  $\text{CO}_2$  são os principais gases gerados durante a biodegradação de RSU. Normalmente, a soma das concentrações desses gases, representa, em volume, mais de 95% do biogás (USEPA, 1995). A produção de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ , bem como a proporção entre eles, dependem do equilíbrio dinâmico entre os diversos grupos microbianos que atuam na degradação dos resíduos e de diversos parâmetros físicos e químicos. Além disso, a formação de metano é considerada a etapa final do processo de bioconversão da matéria orgânica sob condições anaeróbias (TCHOBANOGLIOUS et al., 1993).

As leituras das concentrações de biogás com o detector portátil de gases Dräger X-am 7000, só foi possível após 264 dias do enchimento do lisímetro. O monitoramento das concentrações de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> através desse método está ilustrado na Figura 4.

**Figura 4** - Concentração volumétrica (%) de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> em função do tempo.



Fonte: Dados da pesquisa (2015).

Observa-se na Figura 4 que, nos períodos em que foi possível mensurar a concentração dos gases, verificou-se o aparecimento de CH<sub>4</sub>, indicando um possível processo de metanização dos RSU dispostos no lisímetro. As concentrações observadas no período do monitoramento variaram entre 3% e 19,5 % para CH<sub>4</sub> e 7,4% a 33% para CO<sub>2</sub>. O O<sub>2</sub> teve uma concentração máxima de 4,2% e mínima de 1,3% ao longo do período monitorado.

Até o dia 151, não foi detectada a presença de CH<sub>4</sub> no lisímetro com o método analítico do Kit biogás. Entretanto, aos 264 dias de monitoramento, o Dräger registrou uma concentração de 3% de CH<sub>4</sub>. Por volta do dia 447, verificam-se valores mais elevados de CH<sub>4</sub>, indicando que houve possivelmente a transição da fase ácida. Dessa forma, os valores estão adequados para a fase inicial de geração de metano, na qual as concentrações atingiram o valor máximo de 19,5% de CH<sub>4</sub> utilizando essa técnica analítica.

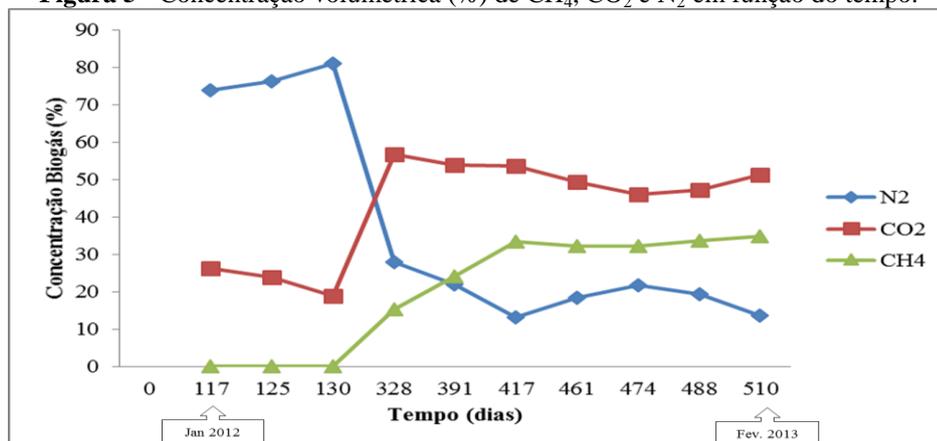
Durante o período de monitoramento com o Dräger, os valores de CO<sub>2</sub> tiveram média de 22%, o que não é típico de aterros de RSU na fase metanogênica, pois sugere-se um patamar de 40%. Conforme apresentando por Tchobanoglous et al. (1993) e Pohland & Harper (1985), as concentrações de CO<sub>2</sub> tendem a estabilização à medida que o CH<sub>4</sub> aumenta. O monitoramento no lisímetro apresentou um comportamento diferente desses modelos. Notou-se que as concentrações de CH<sub>4</sub> oscilaram muito mais que as de CO<sub>2</sub>, o que pode ser explicado pelas características dos grupos microbianos envolvidos na produção desses gases, além das relações de dimensões do lisímetro e as condições climáticas locais. Como se sabe,

as arqueas metanogênicas são bem mais sensíveis as variações das condições do meio, como mudanças de pH, temperatura, teor de umidade e oxigênio. Já o grupo dos microrganismos fermentativos possui espécies bem mais versáteis que podem crescer em faixas mais amplas de pH, temperatura e na presença ou ausência de oxigênio molecular.

Os resultados das concentrações de gases aferidas pelo Dräger sugerem que a fase metanogênica do processo de digestão anaeróbia dos resíduos foi atingida a partir do dia 417, uma vez que, foram verificadas elevadas concentrações de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>. Nos dias 461 e 474, percebe-se que o aumento da concentração de O<sub>2</sub> corresponde a uma redução de CH<sub>4</sub>, indicando, possivelmente, o efeito do oxigênio na redução da atividade metanogênica. Elevadas concentrações de O<sub>2</sub> podem ser prejudiciais ao sistema, mas pequenas concentrações podem até ser úteis, desde que não afetem o metabolismo dos anaeróbios estritos, pois poderia otimizar a taxa de hidrólise da celulose, criando microambientes aeróbios (ALCÂNTARA, 2007). Desta forma, o oxigênio normalmente proveniente do ar atmosférico também está presente na fase gasosa dos resíduos, e a medida de sua concentração pode ser útil como indicador de entrada de ar no sistema e, portanto, das condições de aerobiose do meio.

As análises das concentrações de biogás por meio da cromatografia gasosa tiveram início aos 117 dias decorridos do enchimento do lisímetro. A frequência das análises, a princípio, foi semanal para os gases CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>. Porém, por problemas técnicos e operacionais, tais análises foram interrompidas e voltaram a ser realizadas mensalmente. Os resultados obtidos pela cromatografia gasosa são apresentados na Figura 5.

**Figura 5** - Concentração volumétrica (%) de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub> em função do tempo.



Fonte: Dados da pesquisa (2015).

De acordo com a Figura 5, as concentrações observadas até o dia 130 são de 0% para o CH<sub>4</sub>. Diversos fatores podem ter contribuído para que isso aconteça, tais como: pH ácido,

temperatura e umidade inadequada e a ausência de arqueas metanogênicas. Com o passar do tempo, nota-se que entre os dias 328 e 510 as concentrações de  $\text{CH}_4$  variaram de 15% a 35%.

As concentrações de  $\text{CO}_2$  verificadas pela cromatografia estão dentro do esperado, com média de 43%, atingindo no dia 328 o ponto máximo com 57%. Considerando o modelo apresentado por Tchobanoglous et al. (1993) e Pohland & Harper (1985), é possível perceber na Figura 5 que o comportamento do lisímetro segue o modelo proposto, nas quais as concentrações de  $\text{CO}_2$  crescem rapidamente nas fases iniciais, atingem um ponto máximo, e decrescem depois, à medida que o  $\text{CH}_4$  aumenta, essa conduta é típica da fase metanogênica.

Segundo Tchobanoglous et al. (1993), as concentrações típicas de  $\text{N}_2$  em aterros variam de 2 a 5%. De acordo com a Figura 5, o comportamento do nitrogênio seguiu quase que fielmente ao modelo proposto por Tchobanoglous et al. (1993) e Pohland & Harper (1985). As concentrações desse gás atingiram o pico máximo de 81% em torno do dia 130 após o preenchimento do lisímetro, caracterizando a fase acidogênica, que apresenta valores máximos de nitrogênio. Após os 510 dias, o comportamento do  $\text{N}_2$  indica o acontecimento da fase metanogênica, pois, apresenta um valor relativamente baixo de 14% comparando com início do processo. Segundo Garcez (2009), concentrações elevadas de nitrogênio podem afetar o processo de degradação, deixando o meio tóxico para as arqueas metanogênicas, inibindo suas atividades. O estudo do monitoramento de gases pela cromatografia gasosa, associado ao tempo de disposição dos resíduos indicou a fase metanogênica iniciou por volta dos 391 dias de monitoramento após o enchimento do lisímetro.

## CONCLUSÕES

De um modo geral, as três diferentes técnicas de medidas de concentrações de gases se mostraram eficientes para o monitoramento do lisímetro, sendo o kit biogás com biofoto o método menos eficaz para análises com RSU e a cromatografia gasosa a metodologia mais precisa para monitorar o biogás. Com relação ao detector portátil de gases – Dräger, sugere-se que esse tipo de equipamento esteja melhor adaptado a medições *in situ*, evitando assim, que concentrações de biogás sejam perdidas ao serem armazenadas.

Comparando-se os modelos conceituais encontrados na literatura, os quais estabelecem uma relação entre as concentrações do biogás com as etapas de degradação, pode-se dizer que, os valores de concentração de gases foram compatíveis com o esperado para aterros de RSU, indicando que o lisímetro estudado encontra-se na fase metanogênica.

Os ensaios realizados forneceram resultados consistentes e mostraram que as metodologias utilizadas nessa pesquisa para quantificar os gases encontrados no lisímetro são eficientes e economicamente viáveis para estudos com monitoramento de gases de RSU, servindo de subsídio para projetos destinados a aterros em escala real.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AIRES, K. O. **Monitoramento das concentrações de gases em uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos na cidade de Campina Grande – PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013, 118 p.

ALCÂNTARA, P. B. **Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

GARCEZ, L. R. **Estudo dos componentes tóxicos em um biorreator de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande – PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009. 114 p.

MACIEL, F. P. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MATA-ALVAREZ, J. Biomethanization of the organic fraction of municipal solid waste. 2 ed. **Iwa Publishing**, 2002. 323 p.

POHLAND, F. G.; HARPER, S. R. **Critical review and summary of leachate and gas production from landfill**. Cincinnati, OH: USEPA, 1985. 212 p.

SOUSA, R. B. A.; MONTEIRO, V. E. D. **Estudo do biogás gerado a partir de uma célula experimental de aterro com base em parâmetros físico-químicos**. In: X Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A. **Integrated solid waste management. Engineering principles and management issues.** New York. 1993.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. AP 42 Section 2.4 – **Municipal Solid Waste Landfills, Related Information.** Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch02/related/c02s04.html>.> Acesso em setembro 2014.