

## **III-716 - IMPACTOS DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS SOBRE A GERAÇÃO DE BIOGÁS E METANO EM ATERRO SANITÁRIO**

**Fernanda C. de Campos Sacramento<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Escola Politécnica da UFBA (EPUFBA). Consultora da Eolus Ltda.

**Viviana Maria Zanta<sup>(1)</sup>**

Professora Titular do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP (1997).

**Luciano Matos Queiroz<sup>(1)</sup>**

Professor Associado do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA. Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2009).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Prof. Aristides Novis, 02, 4º andar, sala 9, Federação, Salvador, Bahia - e-mail: fernandasacramento07@gmail.com

### **RESUMO**

O conhecimento dos impactos dos fatores meteorológicos sobre a produção e composição de biogás gerado nos aterros sanitários possibilita a manutenção regular e estável do fornecimento de energia elétrica durante todo o ano, por meio da adoção de procedimentos operacionais adequados. Uma análise da correlação estatística de Pearson entre variações na produção e na composição do biogás gerado no Aterro Metropolitano Centro (AMC), localizado na cidade do Salvador, Bahia, frente às variações das condições meteorológicas foi realizada neste trabalho. Para tanto, foram extraídas séries históricas de dados do período compreendido entre os anos de 2015 e 2020 do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e dos relatórios internos da empresa operadora do AMC. Os resultados indicaram correlações positivas e estatisticamente fortes entre o valor da média mensal de vazão de metano captado e a umidade relativa do ar ( $r = 0,87$ ) e precipitação mensal acumulada ( $r = 0,79$ ). Verificou-se, ainda, que a concentração de metano na composição do biogás foi mais significativamente impactada pelas variações de temperatura, apresentando correlação forte e negativa entre as séries históricas de dados ( $r = - 0,76$ ). A ocorrência de temperaturas amenas, alta pressão atmosférica na estação chuvosa resulta na umidificação da massa de resíduos aterrada, aumento da transferência de massa e redução da permeabilidade da camada de solo de cobertura, reduzindo as emissões fugitivas de biogás e aumentando a produção e qualidade do biogás captado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro Sanitário, Biogás, Metano, Meteorologia, Resíduos Sólidos Urbanos.

### **INTRODUÇÃO**

A preocupação com os efeitos do aquecimento global, a necessidade de redução do uso de combustíveis fósseis e o preço crescente da energia elétrica oriunda da matriz energética tradicional têm motivado a busca fontes renováveis de energia (GETAHUN, 2014).

O biogás gerado em aterros sanitários é uma mistura de gases resultante da decomposição anaeróbia da matéria orgânica aterrada por ação de micro-organismos e da volatilização de compostos químicos presentes nos resíduos sólidos urbanos (RSU). Sob o ponto de vista ambiental, o metano é o gás mais importante dentre os que compõem o biogás, visto que apresenta elevado potencial causador de efeito estufa, sendo cerca de 28 vezes mais agressivo que o CO<sub>2</sub>, considerando um horizonte de 100 anos (IPCC, 2014). Portanto, é desejável que esse biogás gerado dentro das células de um aterro sanitário seja capturado e queimado ou coletado por uma rede de drenagem com pressão negativa, viabilizando seu aproveitamento, evitando o lançamento direto na atmosfera.

Segundo relatório da Agência Internacional de Energia (IEA, 2019), o país com maior produção de energia elétrica a partir do aproveitamento de biogás é a Alemanha, que ultrapassa a marca de 10.000 plantas de

biogás, das quais, apenas 4% são relacionadas à valorização de RSU em aterros sanitários. Logo em seguida, está o Reino Unido que conta com 913 plantas de biogás, dentre as quais, aproximadamente, 50% estão instaladas em aterros sanitários. O mesmo relatório indica que nos países como Reino Unido, Brasil e Coreia do Sul, onde registra-se forte tendência de encaminhar resíduos mistos (orgânicos e inorgânicos) para os aterros sanitários, se destacam as plantas de aproveitamento de biogás de aterro sobre outras opções como biodigestores de resíduos da agropecuária ou de reatores anaeróbios de tratamento de esgotos sanitários, por exemplo (IEA, 2019).

As tecnologias de aproveitamento de biogás tecnicamente consolidadas e amplamente utilizadas são a geração de energia elétrica e/ou térmica por motores a gás estacionários, geração de calor por caldeiras, fornos ou estufas a gás, injeção na rede de gás natural e uso como combustível veicular após purificação do biogás e conversão a biometano (BRASIL, 2017). O nível de purificação do biogás é tanto maior, quanto à exigência tecnológica de aproveitamento energético. No Brasil, apesar do reconhecido potencial, o aproveitamento de biogás de aterros sanitários como combustível para a geração de energia elétrica ainda é incipiente e representa 0,16% de toda a matriz energética do país (BRASIL, 2020).

Diversos fatores influenciam a geração de metano em aterros sanitários, desde variações da geometria e técnicas de operação, até características dos RSU e fatores ambientais. Considerando as características do ambiente externo, merecem destaque os efeitos da precipitação e infiltração de águas pluviais no maciço, da pressão atmosférica e da temperatura ambiente (CALDAS, 2017). Wreford et al. (2000) concluíram que a precipitação prolongada sobre o maciço de resíduos em um aterro sanitário construído em país de clima temperado, causava um aumento da umidade levando ao estímulo do metabolismo de micro-organismos anaeróbios e resultando na diluição de substâncias potencialmente tóxicas para a população microbiana, favorecendo a produção de biogás com maiores concentrações de metano. Porém, a investigação do efeito das variações meteorológicas sobre a geração de metano em aterros construídos em países de clima tropical é escassa.

Portanto, o objetivo deste estudo foi analisar a variação temporal da produção e composição do biogás coletado na rede de captação do Aterro Metropolitano Centro (AMC), localizado na cidade do Salvador, Bahia, Brasil, bem como, investigar os efeitos das condições meteorológicas sobre a produção de metano. Destaca-se que este trabalho não levou em consideração os efeitos das variações de composição do RSU aterrado, nem tão pouco, das condições operacionais do aterro.

## MATERIAL E MÉTODOS

O AMC possui um sistema de coleta ativa que direciona toda a vazão de biogás captada para uma estação centralizada de pré-tratamento do biogás. Posteriormente, o biogás livre de impurezas é encaminhado para uma usina termoelétrica. O sistema está em operação desde o ano de 2011 e está equipado com 19 grupos motogeradores com potência instalada total igual a 19,74 MW, suficiente para o abastecimento de 200 mil habitantes.

As concentrações de metano, dióxido de carbono e oxigênio que compõem o biogás captado no AMC são determinadas continuamente por meio de um analisador de gás infravermelho com célula eletroquímica para determinação de oxigênio, do tipo *X-STREAM X2 Series* (precisão de  $\pm 2\%$  em volume), do fabricante *Emerson Electric Co.* A frequência de calibração do instrumento exigida em projeto é quinzenal, sendo realizada na própria Estação de Biogás do AMC. A temperatura do ar, vazão volumétrica de biogás em base úmida e pressões estática e diferencial foram medidas por transmissores multivariáveis do tipo Rosemount 3051S, do fabricante *Emerson Electric Co.*, com precisão de  $\pm 1\%$ , em diferentes pontos da tubulação de biogás. O primeiro transmissor foi instalado na tubulação de descarga de biogás, imediatamente à jusante dos sopradores centrífugos multiestágios e à montante do ponto de distribuição do gás para os queimadores e para os motogeradores. Os 21 (vinte e um) transmissores de vazão idênticos foram utilizados para medir a vazão volumétrica de biogás enviada para cada um dos dois queimadores e dos 19 (dezenove) motogeradores de combustão interna a gás em operação.

Nos limites da estação de pré-tratamento existem dois queimadores destinados para queima do gás excedente e geração de créditos de carbono. As medições de vazão de biogás, pressão na tubulação de descarga,

concentrações de metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ) em fração volumétrica, consumo elétrico e geração de energia são realizadas, processadas e salvas automaticamente minuto a minuto a partir do uso de instrumentos de medição específicos. Todos os dados gerados são integrados a um sistema supervisorio que permite realizar a operação assistida do processo.

Para este estudo, foram selecionadas as séries históricas de dados de vazão de metano ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ ), calculadas por meio do produto entre vazão de biogás ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ ) e composição percentual de metano em volume relativas ao período compreendido entre os anos de 2015 e 2020, segundo relatórios extraídos do banco de dados da operadora do AMC. Para fins de estudo da variação meteorológica e de seus impactos sobre a geração de biogás, neste trabalho foram considerados como dados de pluviometria as médias aritméticas dos registros diários dos dois pluviômetros analógicos instalados no AMC. As séries históricas de dados de temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa do ar, referentes ao período entre os anos de 2015 e 2020, foram extraídos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para classificação climática da região metropolitana de Salvador, Bahia, aplicou-se a metodologia de Köppen-Geiger, sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizada em geografia, climatologia e ecologia (PEEL et al., 2007). Nesse método, os climas são divididos em 5 grandes grupos e diversos tipos e subtipos. Cada clima é representado por um conjunto variável de letras com 2 ou 3 caracteres, definidos seguindo critérios de avaliação dos valores das médias de precipitação e temperatura.

Considerando que as variáveis estudadas são quantitativas contínuas, optou-se por correlacioná-las pelo método de Pearson e analisá-las pelos diagramas de dispersão, classificando o grau da correlação segundo critérios sugeridos por Jacques Callegari (2009). Além disso, também foram gerados Diagramas de Dispersão, que auxiliaram na compreensão do grau de correlação entre as variáveis e na avaliação da linearidade da dispersão dos resultados.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos dados encontrados, a cidade de Salvador, segundo o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger (2007), teve o clima classificado como do tipo Tropical de Monções ou Tropical Úmido, caracterizando-se pelas temperaturas elevadas ao longo de todo o ano, com baixas variações de amplitude térmica diária e anual e elevado índice pluviométrico acumulado, que chega à média anual de 1.870 mm. O valor da média da temperatura do mês mais frio é sempre superior a  $18^\circ\text{C}$  e observa-se uma estação seca de pequena duração que é compensada pelos totais elevados de precipitação. A temperatura média anual do município é igual a  $(26,0 \pm 1,3)^\circ\text{C}$ , alcançando médias iguais a  $(27,6 \pm 0,5)^\circ\text{C}$  no mês mais quente e  $(24,0 \pm 0,4)^\circ\text{C}$  no mês mais frio do ano. O período chuvoso concentra-se entre as estações de outono, durante os meses de abril a junho, enquanto os meses mais secos vão de dezembro a fevereiro.

Verificou-se que a umidade relativa do ar atinge o valor máximo igual a  $(81,9 \pm 3,0)\%$  no mês de maio, quando, também, há a maior incidência de chuvas ( $368 \pm 175$ ) mm. O mês de dezembro é o mais seco do ano, apresentando valor da média da umidade relativa igual a  $(73,3 \pm 1,8)\%$ , acompanhado da menor ocorrência de chuvas ao longo do ano, igual a  $(55 \pm 43)$  mm. A correlação entre as séries de precipitação média mensal e de umidade relativa tem coeficiente de correlação de Pearson igual a +0,93, o que indica correlação muito forte. A amplitude de variação da umidade relativa na cidade de Salvador, Bahia, ao longo do ano, é de 8,6%. Como previsto no método de classificação climática de Köppen-Geiger, em climas tropicais de monções há estações seca e úmida bem definidas.

Outro dado meteorológico estudado foi a pressão atmosférica no nível da estação. A variação média mensal da pressão atmosférica apresenta amplitude anual de 5,6 mbar. O valor mínimo foi registrado no mês de março, quando a pressão atmosférica foi igual a  $(1.007,0 \pm 0,8)$  mbar, enquanto, o valor máximo da pressão atmosférica ocorre no mês de julho, com valor igual a  $(1.012,6 \pm 1,1)$  mbar. Observou-se correlação inversa muito forte entre as séries de pressão atmosférica e de temperatura média mensal, com coeficiente de correlação de Pearson igual a -0,97, de forma que nos meses em que houve elevada temperatura, registou-se baixa pressão atmosférica. A variação de pressão atmosférica decorre da alteração da massa específica do ar, que por sua vez varia inversamente às mudanças de temperatura e do teor de umidade da massa de ar. A

influência da precipitação sobre a vazão de metano captado pôde ser descrita por uma correlação positiva e estatisticamente forte (coeficiente de relação de Pearson  $r = +0,79$ ), indicando que nos meses em que ocorreram maiores índices pluviométricos foi registrado aumento na vazão de metano captado, como nos meses de maio e junho como pode ser visto na Figura 1.

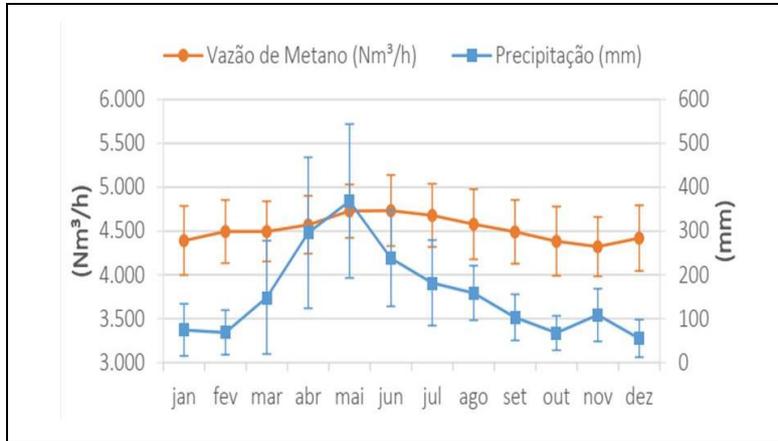


Figura 1: Comportamento da precipitação e vazão de metano (variação mensal).

Por outro lado, a correlação estatística encontrada entre a precipitação média ocorrida e a concentração média de metano foi classificada como fraca ( $r = +0,41$ ), sugerindo que, embora a precipitação possa gerar aumento na quantidade de biogás gerado, não é verificado aumento significativo da qualidade do biogás em termos de concentração de metano (Figura 2).

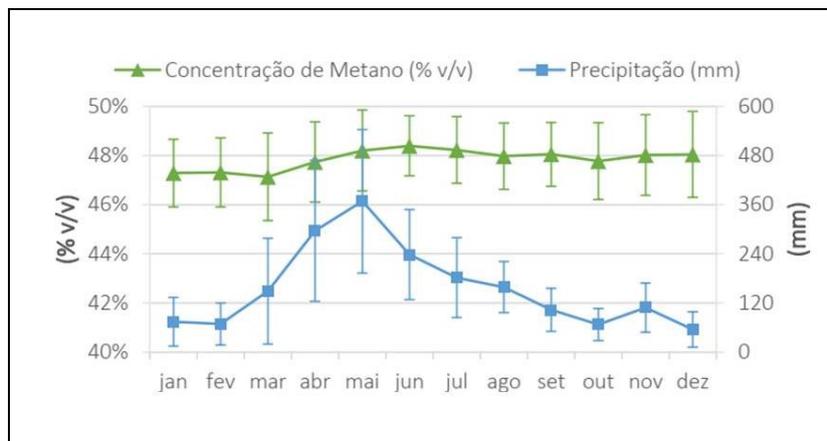


Figura 2: Comportamento da precipitação e concentração de metano (variação mensal).

A relação observada entre os índices de precipitação pluviométrica e a quantidade de biogás capturada na AMC indica a relevância da transferência de massa sobre o aumento de vazão em detrimento do aumento do percentual de metano na composição do biogás. Além disso, fatores de ordem operacional podem interferir na produção de biogás, visto que na estação chuvosa, algumas técnicas são alteradas para minimizar os impactos sobre a operação do aterro, como a compactação das células, por exemplo. Essa relação, também, foi observada por Wreford et al. (2000), que consideraram a precipitação como fator mais relevante para a produção de biogás, já que a umidade do resíduo misto estimula o metabolismo dos micro-organismos anaeróbios, facilita a mistura do substrato e aumenta a disponibilidade de matéria orgânica biodegradável para consumo microbiano. Além disso, com o aumento da precipitação, aumenta o volume de lixiviado, que, desempenhando o papel de solvente, favorece a solubilidade de maior volume de biogás aprisionado nos interstícios do resíduo, facilitando a transferência de massa e o direcionamento do fluxo do gás para o sistema de drenagem. Quanto à influência da pressão atmosférica, observaram-se valores dos coeficientes de correlação muito próximos entre a pressão atmosférica e as médias de vazão e concentração de metano no biogás,  $r = +0,63$  e  $r = +0,66$ , respectivamente (Figura 3 e Figura 4). Portanto, as correlações entre os dois pares de variáveis foram classificadas como positivas e fortes.

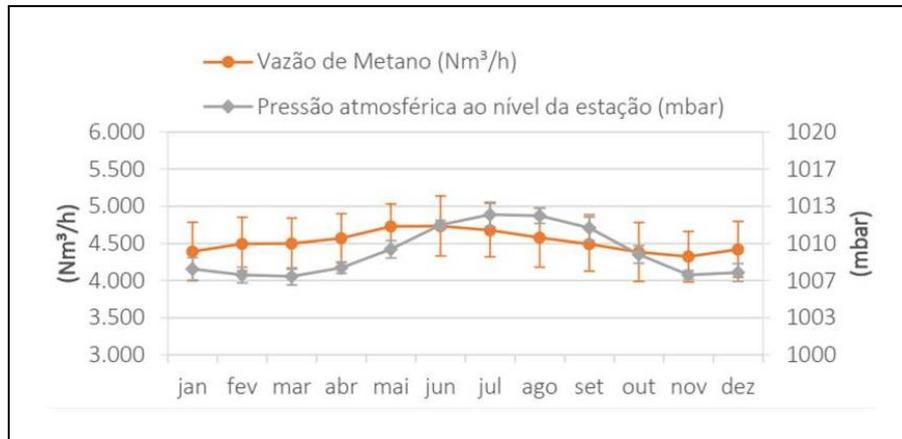


Figura 3: Comportamento da pressão atmosférica e vazão de metano (variação mensal).

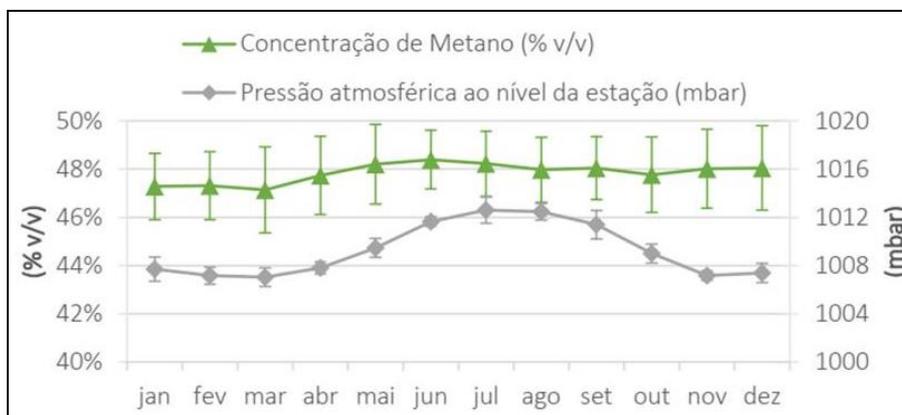


Figura 4: Comportamento da pressão atmosférica e concentração de metano (variação mensal).

Nos meses entre junho e setembro, quando ocorreram temperaturas menores do que 25°C, foram observados aumentos na produção e na qualidade do biogás (Figura 5 e Figura 6). Esses resultados sugerem, portanto, que a captação e a qualidade do biogás estão correlacionadas de maneira inversa com as alterações da temperatura ambiente. Essa relação foi prevista pelo coeficiente de correlação, igual a -0,53 para a vazão de metano, e -0,76 para concentração de metano, sugerindo fortes e negativas correlações entre as variáveis.

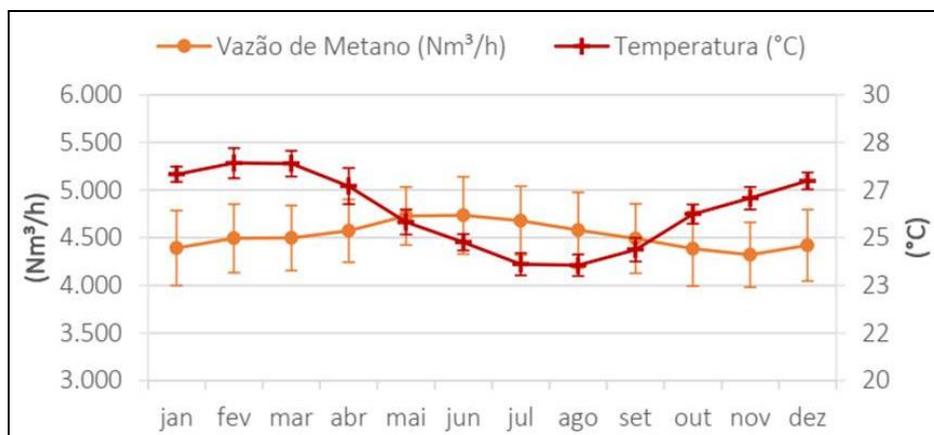
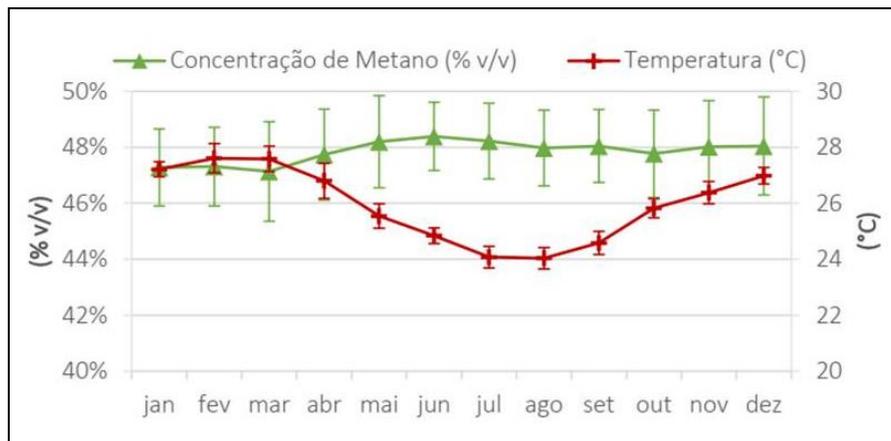


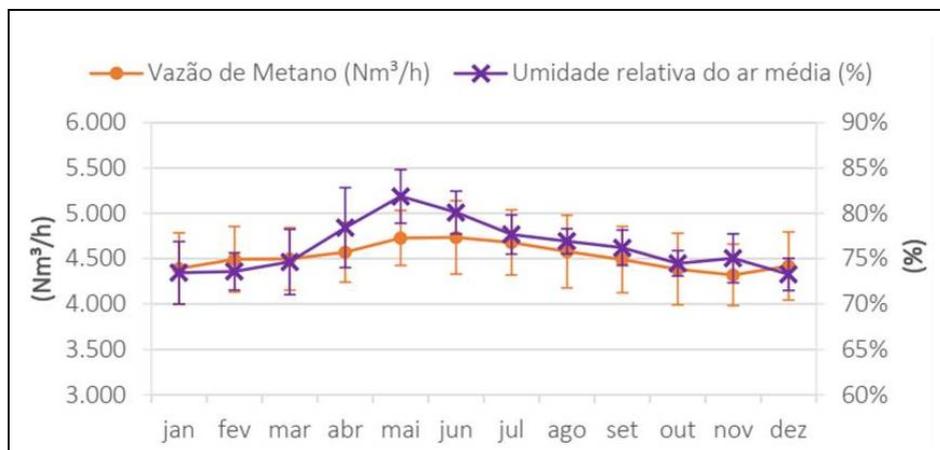
Figura 5: Comportamento da temperatura e vazão de metano (variação mensal).



**Figura 6: Comportamento da temperatura e concentração de metano (variação mensal).**

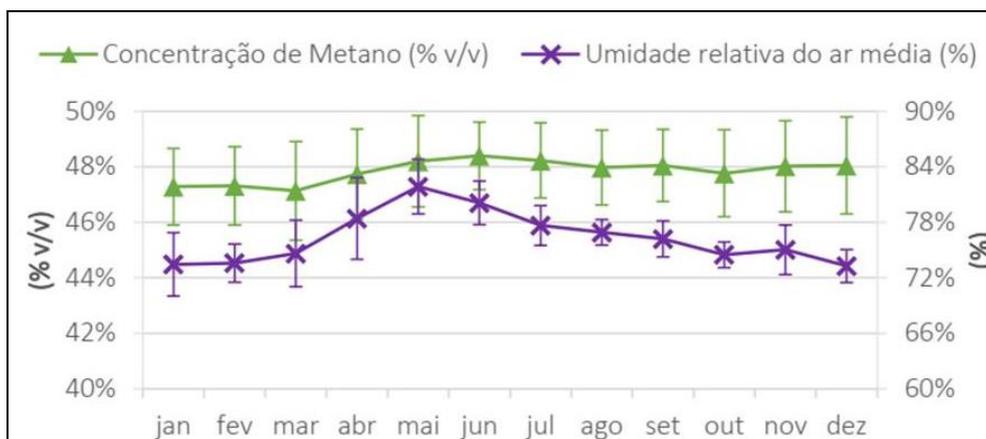
No AMC, a temperatura ambiente foi o fator mais significativo para a qualidade do biogás, estando inversa e fortemente relacionada à concentração de metano. É importante destacar que o aumento da temperatura do ar gera maior agitação das partículas atmosféricas, o que favorece a transferência de massa do interior da célula de resíduos (onde é maior a concentração de biogás) para a atmosfera (onde a concentração é reduzida), ou seja, a ocorrência de temperaturas elevadas favorece as emissões fugitivas de biogás e metano, consequentemente. Esse fenômeno de transporte confirma a correlação inversamente proporcional entre alterações na temperatura ambiente e na quantidade e qualidade de metano captado.

Assim como a precipitação, a variação do percentual de umidade relativa do ar resultou em correlações estatisticamente fortes e positivas sobre a captação de metano (Figura 7 e Figura 8). Dentre os aspectos meteorológicos avaliados, a umidade do ar foi o fator mais significativo sobre a vazão de metano, com coeficiente de correlação igual a +0,87, enquanto para a concentração de metano, o coeficiente foi de +0,64.



**Figura 7: Comportamento da umidade relativa do ar e da vazão de metano (variação mensal).**

Relacionando as condições ambientais, nota-se que a ocorrência simultânea de temperaturas acima de 25°C, baixa umidade relativa do ar (<75%), pressão atmosférica abaixo de 1.010 mbar e estação seca exercem considerável influência sobre a produção de metano, quer seja em termos volumétricos ou em termos qualitativos. Essas condições favorecem emissões fugitivas de biogás e possibilita a intrusão de ar atmosférico no maciço de resíduo, prejudicando seriamente a atividade anaeróbia nesse ambiente e resultando em queda na concentração de metano.



**Figura 8: Comportamento da umidade relativa do ar e a concentração de metano (variação mensal).**

Variações no volume de metano captado e na composição do biogás ao longo do ano indicaram fortes relações com as variações sazonais. A vazão média de metano captada varia entre  $(4.321,5 \pm 339,6)$  Nm<sup>3</sup>/h e  $(4.733,2 \pm 404,1)$  Nm<sup>3</sup>/h, nos meses de novembro e junho, respectivamente. Em termos de composição, o biogás captado no Aterro é composto por  $(47,8 \pm 1,5)$  % de metano,  $(36,5 \pm 0,4)$  % de dióxido de carbono e  $(2,2 \pm 0,3)$  % de oxigênio. A concentração média de metano variou em até 0,2% ao longo do ano.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Ao analisar os efeitos das condições meteorológicas sobre a captação de metano, observou-se que a precipitação e a umidade relativa do ar são os dois fatores que estão mais fortemente correlacionados à vazão de metano captada através da rede de pressão negativa. Isso pode ser explicado pela redução da permeabilidade da camada de cobertura de resíduos, responsável por manter as condições adequadas à decomposição anaeróbia, e pelo aumento de umidade no substrato, o que estimula a transferência de massa pela infiltração do lixiviado.

Os efeitos da temperatura sobre o volume de metano captado se mostraram moderados, ao passo que, quando se trata de percentual de metano na composição do biogás, a temperatura se mostrou como fator mais relevante, guardando relação forte e inversamente proporcional, ou seja, nos meses mais quentes do ano, são verificadas as menores concentrações de metano, e vice versa.

Na estação mais seca do ano, entre outubro e fevereiro, ocorrem simultaneamente elevadas temperaturas, baixa umidade relativa do ar, baixas pressões atmosféricas e poucas chuvas, resultando nas condições menos favoráveis à produção de metano. Atribuem-se a essa temporada as maiores emissões fugitivas de biogás e maior contato do resíduo com o ar atmosférico, o que prejudica significativamente a atividade anaeróbia. Na estação mais fria do ano, por outro lado, são verificadas melhoras na qualidade e aumento do volume de metano captado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Biogás no Brasil: Visão Atual. VII Fórum de Biogás. Evento online. 05 nov. 2020.
- BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás/Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; autores, Oliver Jende ... [et al.]. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2017. 83 p.
- CALDAS, A. Produção de Metano em Aterro Sanitário: Influência das Técnicas Operacionais no Aterro Metropolitano em Salvador - BA. Salvador, 2017. 263 p.

4. CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.
5. GETAHUN, T.; GEBREHIWOT, M.; AMBELU, A.; VAN GERVEN, T.; VAN DER BRUGGEN, B. (2014). The potential of biogas production from municipal solid waste in a tropical climate. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 186, p. 4637 – 4646.
6. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Bioenergy Task 37: Country Reports Summary, 2019.
7. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014.
8. PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology And Earth System Sciences*, v. 11, n. 5, p. 1633-1644.
9. WREFORD K., ATWATER J., LAVKULICH L. (2000). The effects of moisture inputs on landfill gas production and composition and leachate characteristics at the Vancouver Landfill Site at Burns Bog. *Waste Management and Research*, v 18, p. 386 - 392.