



ANÁLISE POR COMPONENTES PRINCIPAIS PARA O VOLUME DE BIOGÁS GERADO EM ATERRO SANITÁRIO E A CORRELAÇÃO COM VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS

Waldir Nagel Schirmer¹, Maria Isabel Coltro Crovador², Kelly Geronazzo Martins³, Rafaela Franqueto⁴, Alexandre Rodrigues Cabral⁵, Marlon André Capanema⁶, José Fernando Thomé Jucá⁷

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a estrutura de correlação do volume de biogás gerado com as variáveis físico-químicas umidade, pH, alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos totais voláteis (STV), mediante uma análise de componentes principais (ACP). As repetições de cada tratamento, tanto para o inóculo quanto para o substrato, foram submetidas à análise de correlação de Pearson para se determinar se poderiam ser tratadas como réplicas. Para tanto, foram utilizadas 92 unidades amostrais (número de medições diárias referentes à produção de biogás). A produção de biogás dos dois tratamentos (inóculo e substrato) foi avaliada durante 91 dias e entre os tratamentos mediante uma análise de variância (ANOVA). Os tratamentos foram aninhados dentro do tempo, constituindo uma ANOVA com delineamento hierarquizado, com 5% de significância. Os resultados mostraram que a geração de biogás estava mais relacionada com o pH, seguido dos STV, umidade e DQO. A soma da ACP 1 e 2 explicou 98% dos dados de produção de biogás.

PALAVRAS-CHAVE: ACP; aterro sanitário; biogás; correlação de Pearson.

1. Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), E-mail: wanasch@hotmail.com
2. Centro Estadual Florestal de Educação Profissional Presidente Costa e Silva, E-mail: isabelcrovador@hotmail.com
3. Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), E-mail: kellygm77@gmail.com.
4. Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), E-mail: rafaela.eng@meioambiente.eng.br
5. Université de Sherbrooke, Canadá. E-mail: Alexandre.cabral@usherbrooke.ca
6. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), E-mail: marloncapanema@gmail.com
7. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), E-mail: jftjucah@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O biogás é composto majoritariamente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) (IMRE et al., 2009). O gás de aterro pode ser empregado como combustível de baixo rendimento, porém, isso exige um mínimo de processamento do gás, como uma câmara de remoção de condensado, para reduzir a quantidade de umidade presente no gás. Após, o gás pode ser transportado até um usuário, geralmente por um gasoduto, seja no próprio aterro ou externo a ele, para ser utilizado no aquecimento de espaços e processos, como combustível de caldeiras na produção de vapor para calefação ou de energia elétrica por meio de turbinas a vapor, além do uso para aquecer estufas, fornos dentre outros (ABRELPE e MGM INNOVA, 2013).

A recuperação do biogás para uso de energia promove a sustentabilidade dos aterros sanitários (SILVA, 2010), mas, para que esse isso ocorra, são necessários estudos acerca do potencial de geração de metano relativo a cada aterro sanitário em questão, o que possibilita ainda as análises de viabilidade econômico-financeira, fundamentais para a implantação deste tipo de projeto.

O rendimento teórico da vida útil de um aterro deve estar no intervalo de 150 a 300 m^3 de biogás por tonelada de resíduo sólido urbano (RSU), com 50 a 60% em volume de metano. Em termos energéticos, isso equivale a 5 a 6 GJ por tonelada de lixo. Salienta-se que, na prática, o rendimento deve ser menor, uma vez que as condições são mais diversas em campo do que em um biodigestor, por exemplo, com temperatura e umidade menores, o que resulta em um processo mais lento, que se estende por anos e não em semanas (IMRE et al., 2009), como é o caso dos biodigestores de bancada, em que as condições de operação são controladas a fim de acelerar o processo de biodegradação da matéria orgânica e a produção de biogás.

A avaliação do potencial de geração de metano também pode ser feita mediante estudos experimentais, podendo ser realizada em reatores de bancada (estudo em escala de laboratório), em lisímetros ou em células piloto (in situ) (MACIEL, 2009). Contudo, além dos métodos realizados em laboratório e em células piloto é importante o uso de um tratamento estatístico adequado para que a precisão

dos resultados seja avaliada de forma fidedigna (ZAR, 1999). Diante dessa problemática várias técnicas estatísticas e matemáticas são utilizadas, e a escolha é determinada, principalmente, conforme o objetivo da pesquisa e a natureza dos dados produzidos. Por exemplo, se uma amostra é avaliada várias vezes em diferentes períodos de tempo, não poderão ser aplicados testes que tenham como premissa que as amostras sejam distintas, ou seja, independentes. Outros problemas comuns referem-se à falta de homogeneidade das variâncias, presença de muitos zeros na matriz. Nesses casos, os modelos lineares generalizados mistos (MLGM) são considerados as ferramentas mais indicadas.

Os MLGM são ferramentas de análise que testam com robustez efeitos aleatórios de amostras dependentes em função de diversos fatores. A técnica consiste basicamente em especificar uma distribuição, uma função de ligação e o delineamento experimental. A partir disso, é possível determinar a magnitude das interações entre fatores e, caso existam, as diferenças dos efeitos dos mesmos em uma variável resposta (STROUP, 2013).

Quando o objetivo da pesquisa é avaliar mais de uma variável ao mesmo tempo, a análise de componentes principais (ACP), proposta por PEARSON (1901) e aperfeiçoada por HOTELLING (1933), é um exemplo de técnica amplamente utilizada, pois consiste em ordenar as unidades amostrais em um hiperespaço n -dimensional. Isso ocorre mediante o cálculo dos autovetores da matriz de dados; estes formam combinações lineares não-correlacionadas das “ p ” variáveis originais. Embora “ p ” componentes sejam necessários para reproduzir a variabilidade total do sistema, muito dessa variabilidade pode ser explicada por um número pequeno “ k ” de componentes principais (JOHNSON e WICHERN, 1988).

Nesse contexto, os objetivos do presente estudo foram: a) avaliar, mediante uma análise de variância de medidas repetidas, se existem diferenças estatísticas na geração diária e acumulada de biogás a partir de dois substratos (lodo de estação de tratamento de efluentes e resíduo sólido municipal); b) ordenar, mediante uma análise de componentes principais, os tratamentos (lodo e resíduo) em função da produção de biogás e as variáveis físico-químicas umidade, pH, alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos totais voláteis (STV); c) discriminar, mediante uma análise de componentes principais, qual dos parâmetros físico-

químicos apresenta maior correlação com a produção do biogás.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Ensaio experimental - Montagem e partida dos biodigestores anaeróbios de bancada

A etapa experimental consistiu na montagem e monitoramento de biodigestores anaeróbios de bancada, próprios à verificação do potencial de geração de biogás. Cada biodigestor consistiu-se de um frasco de borossilicato de 250 mL, contendo tampa de nylon com rosca, equipada com uma válvula de saída de gás e uma válvula com manômetro para monitoramento da pressão interna, com range de leitura de 2,5 kgf.cm⁻² e escala de 0,10 kgf.cm⁻².

Para o resíduo fresco, foram utilizados dois tratamentos (todos conduzidos em 5 repetições):

a) Tratamento 1: Substrato (nos biodigestores aqui denominados de S1, S2, S3, S4,S5), constituído por 2,0 g do resíduo fresco seco e moído inoculado com 100 mL de lodo;

b) Tratamento 2: Inóculo (denominados I1, I2, I3, I4, I5), que foram os biodigestores de controle (brancos), cada um composto por apenas 100 mL de lodo.

Após cada frasco receber a respectiva amostra de inóculo ou substrato (inóculo + resíduo), as tampas foram fixadas nos vidros. Uma corrente de gás nitrogênio foi circulada no *headspace* de cada biodigestor por cerca de quatro minutos, de modo a garantir a anaerobiose do meio.

Em seguida, os manômetros foram acoplados à tampa e os biodigestores colocados em uma estufa bacteriológica a uma temperatura constante e igual a 36°C, onde permaneceram por um período de 91 dias.

2.2 Análise estatística

A possível diferença estatística entre a produção de biogás do inóculo e do substrato, em todos os dias de experimento, foi verificada por meio de modelos

lineares generalizados mistos (MLGM). Como as medidas de produção de biogás durante os 91 dias não são independentes, o fator tempo foi considerado medida repetida em uma matriz de covariância dentro do MLGM. O fator principal foi representado pelos tratamentos inóculo e substrato. A variável resposta foi a geração de biogás (diária e acumulada).

No MLGM, a escolha do modelo da matriz de covariância foi determinada pelo critério de informação Akaike e a variância estimada pelo método máxima verossimilhança (LAIRD e WARE, 1982). A gaussianidade de resíduo foi verificada pelo teste de Shapiro–Wilks, (PIMENTEL-GOMES, 1990). Diferenças com valores de $p < 0,05$ foram consideradas significativas.

Para o cálculo da análise de componentes principais, utilizou-se a matriz de correlação da produção de biogás após 91 dias e as variáveis físico-químicas umidade, pH, alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos totais voláteis (STV) do substrato (Resíduo + Inóculo), também referentes ao nonagésimo segundo dia de experimento. Foram consideradas significativas as componentes principais que apresentaram maior autovalor e que somadas explicam, no mínimo, 95% da variação total dos dados (MARDIA, KENT e BIBBY, 1978).

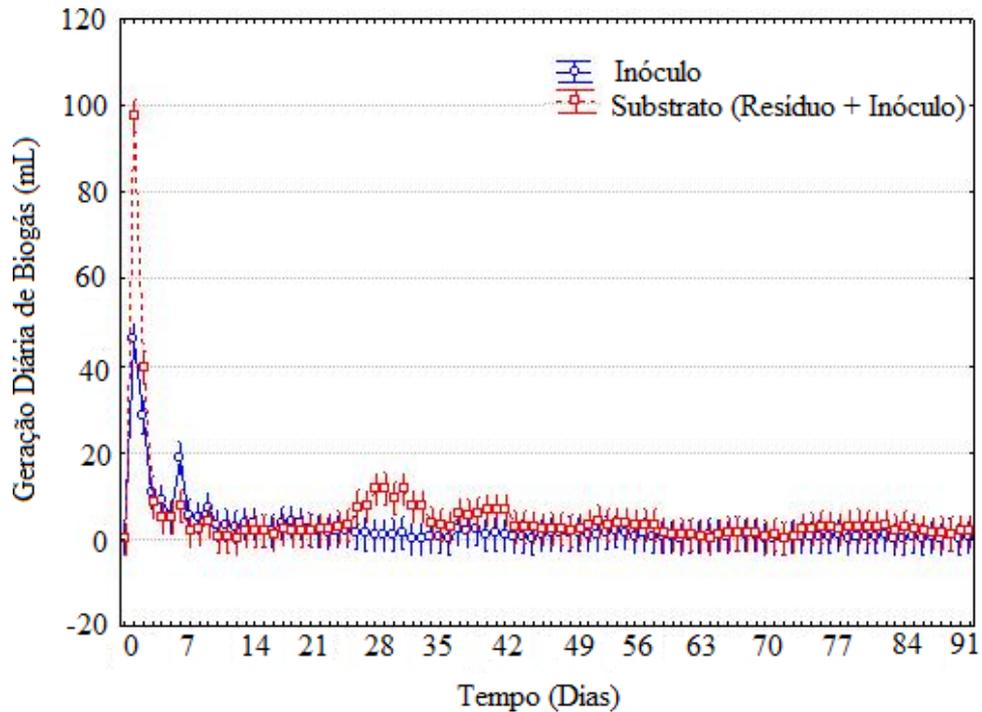
Todas as análises foram calculadas com o auxílio do Software SAS/STAT versão 9.13.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Geração diária e acumulada de biogás no inóculo e no substrato.

As produções diárias e acumuladas de biogás (figuras 1 e 2) foram significativamente maiores nas amostras Substrato (resíduo sólido orgânico + inóculo).

Figura 1 - Médias e intervalos de confiança (95%) da geração diária de biogás



Fonte: Elaborada pelos autores, 2016.

O valor de $F_{\text{calculado}}$ (da análise de variância) foi de 20,38. Este valor indica que existe diferença estatística ($p < 0,05$) na geração diária de biogás entre o inóculo e o substrato (resíduo seco inoculado). Pela Figura 1, é possível observar que especificamente para os dias 1 ao 3, e do dia 27 ao 32 a geração diária foi significativamente maior.

Para o substrato, a taxa máxima de produção diária média de biogás foi igual a $97,56 \text{ mL.dia}^{-1}$. Subtraindo a geração média dos biodigestores de controle (brancos), de $48,11 \text{ mL.dia}^{-1}$, a taxa máxima de produção diária média de biogás atribuída apenas ao resíduo foi igual a $49,45 \text{ mL.dia}^{-1}$.

Segundo Von Sperling (1996), quanto maior a quantidade de DBO remanescente no meio, mais rapidamente se processa a taxa de estabilização (ou biodegradação). Após algum tempo, onde a concentração da DBO já se encontra reduzida, pois parte foi estabilizada, a taxa de diminuição da DBO restante, e geração de metano, serão menores, devido à menor concentração de matéria orgânica no meio. Isso explica o pico de geração de biogás, e a consequente remoção da matéria orgânica em forma de metano, logo nos primeiros dias de incubação das amostras, já que no início a quantidade de matéria orgânica era

maior, possibilitando maior rapidez na geração de biogás. À medida que essa disponibilidade se reduz, o ritmo de conversão e remoção da carga orgânica também se reduz, conforme observado na curva ao longo dos 91 dias de monitoramento dos biodigestores.

O pico de geração de biogás logo no primeiro dia também pode ser explicado pela ausência de oxigênio desde o início do experimento, pois a circulação da corrente de nitrogênio gasoso no *headspace* dos biodigestores garantiu a anaerobiose do meio, otimizando a produção de biogás. Ainda, a alta geração no primeiro dia deve-se às substâncias facilmente biodegradáveis presentes no substrato e ao grande volume de inóculo utilizado (PARAWIRA et al., 2004) proporcionalmente à quantidade de resíduo. Observa-se que, após convertida a fração facilmente biodegradável, o processo seguiu em um ritmo mais lento, denotando a presença de materiais de mais difícil degradação por parte dos microrganismos.

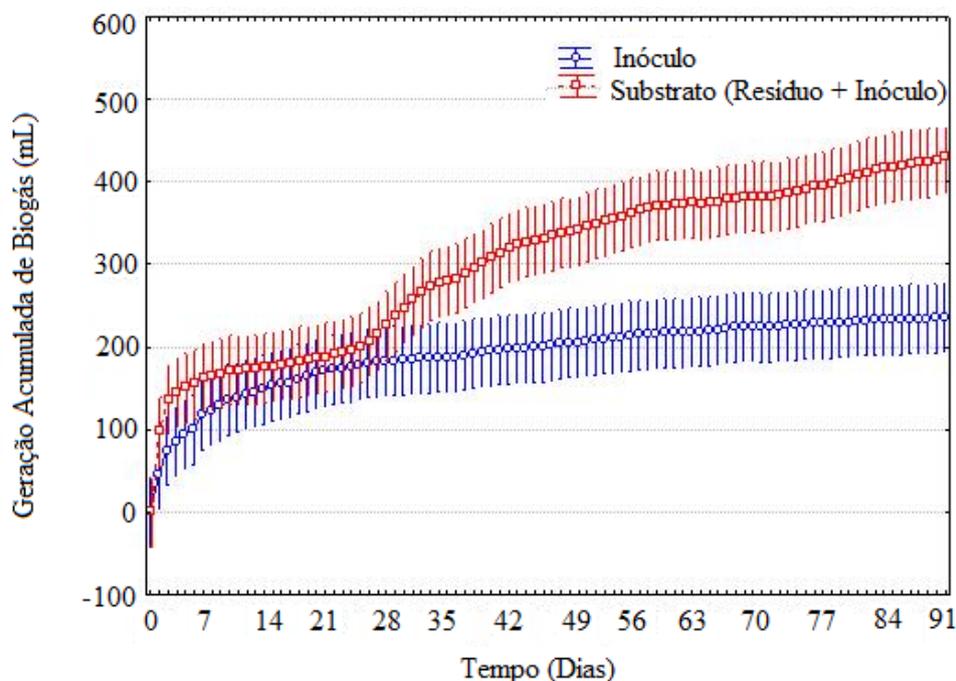
Nos ensaios de *biochemical methane potential* (BMP) de Alves (2008), a maior produção de biogás foi obtida até o quinto dia, o que está de acordo com os resultados deste trabalho. A autora ainda justifica que essa rápida geração pode ser devida à pequena quantidade de resíduo utilizada (2,5 g), pois, no ensaio com biodigestor de bancada, utilizando 550 g de amostra, o período de geração da maior quantidade de biogás foi mais extenso, entre o primeiro e o décimo dia, já que uma quantidade maior de resíduo, pela maior complexidade do meio, tende a demandar maior tempo para sua biodegradação.

No estudo de Hansen et al., (2004), que abordou o potencial de metano a partir de resíduos sólidos orgânicos, em reatores com 10 g de sólidos voláteis, 400 mL de inóculo, período de incubação de 50 dias e temperatura controlada de 55°C, a maior parte do biogás foi produzida nos primeiros dez dias de ensaio, o que também vem ao encontro dos resultados obtidos no presente trabalho. Da mesma forma, Schirmer et al., (2014) obtiveram uma curva semelhante para a taxa de produção diária de biogás, em que o pico de geração foi atingido nos primeiros 5 dias de experimento.

Esses resultados estão em consonância com os obtidos no presente estudo.

Na Figura 2 podem ser verificados os resultados da ANOVA para a geração acumulada de biogás, ao longo dos 91 dias.

Figura 1 - Médias e intervalos de confiança (95%) da geração acumulada de biogás



Fonte: Elaborada pelos autores, 2016.

O valor de $F_{\text{calculado}}$ foi igual a 12,81. Este valor indica que existe diferença estatística ($p < 0,05$) na geração acumulada de biogás entre o inóculo e o substrato. Observa-se que as médias entre os tratamentos são numericamente distintas durante todo o período, porém a diferença estatística ($p < 0,05$) é verificada a partir do 32º dia até o final do experimento, período em que a produção de biogás referente ao substrato se distancia da produção do inóculo.

Schirmer et al., (2014) conduziram experimento (semelhante ao do presente trabalho) cujo platô foi atingido com aproximadamente 60 dias. Esses dois períodos são mais curtos do que o necessário para este estudo, em que com 91 dias ainda não havia um platô para a geração de biogás pelo substrato. Tal fato pode ter ocorrido devido ao grande percentual de STV remanescente no substrato (55%) ao final do período, indicando que a produção de biogás ainda aumentaria, embora em menor taxa diária.

As curvas de produção acumulada de biogás apresentadas por Schirmer et al., (2014) e Parawira et al., (2004) mostram a forma semelhante e a mesma tendência observadas neste estudo.

3.2 Ordenação espacial por componentes principais das características físico-químicas e da produção de biogás no Inóculo e Substrato.

Na avaliação multivariada dos resultados expressada graficamente pela figura 3, é possível observar que os substratos utilizados para a geração de biogás (inóculo, I e substrato, S) estão separados pela primeira componente principal (ACP 1, eixo horizontal).

Das seis componentes principais geradas pela análise foram consideradas significativas apenas duas, já que segundo o critério escolhido a soma das duas primeiras ultrapassa 95% de explicação de toda a matriz de dados.

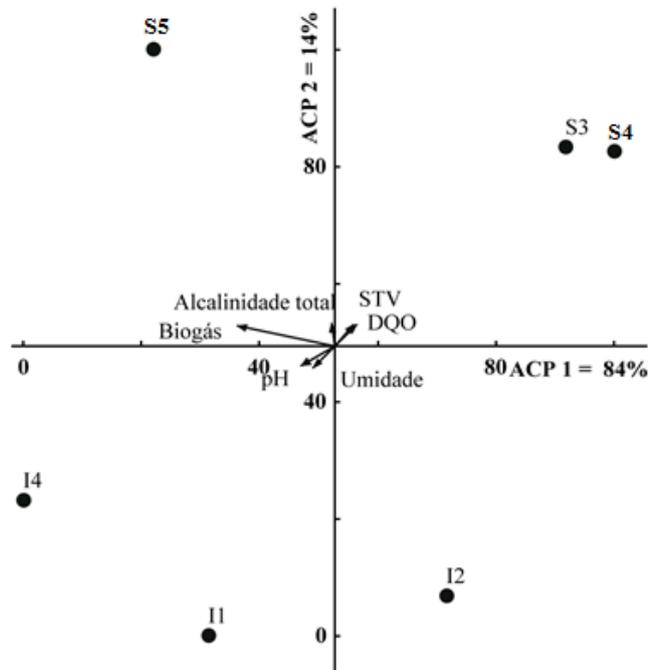
As componentes principais são variáveis latentes construídas por meio de combinações lineares das variáveis amostradas, seus coeficientes são os autovetores da matriz de correlação, os quais podem ser expressos pelas equações 1 para componente 1 e 2 para a componente 2:

$$y_{ACP\ 1} = (0,44 \times \text{umidade}) + (-0,44 \times \text{STV}) + (-0,44 \times \text{DQO}) + (0,44 \times \text{pH}) + (-0,22 \times \text{Alcalinidade Total}) + (-0,42 \times \text{biogás})$$

$$y_{ACP\ 2} = (-0,12 \times \text{umidade}) + (0,13 \times \text{STV}) + (0,10 \times \text{DQO}) + (-0,24 \times \text{pH}) + (-0,94 \times \text{Alcalinidade Total}) + (-0,10 \times \text{biogás})$$

Outro resultado importante a ser destacado é que a unidade amostral S5 apresentou comportamento sensivelmente distinto das unidades de mesmo substrato (S3 e S4), tal fato é evidenciado pela distância entre as unidades. As unidades do substrato I (inóculo) revelaram um comportamento mais homogêneo.

Figura 2 - Correlação das variáveis com as componentes principais: ACP



Fonte: Elaborada pelos autores, 2016.

3.3 Influência de parâmetros físico-químicos na produção de Biogás

Conforme é possível verificar na tabela 1, a ACP 1 possui autovalor (λ) igual a 5,03 e na ACP 2 o autovalor é igual a 0,83. Os sinais positivos denotam uma correlação direta com a componente e os sinais negativos significam uma correlação inversa. A ACP 1 possui a maior porcentagem de explicação dos resultados (84%) e, portanto, maior peso. O pH inicial do experimento, que para o substrato era de 6,14 e para o inóculo igual a 6,62, ficou dentro do desejável, próximo da neutralidade e possui uma correlação alta com as duas componentes (maior coeficiente, portanto, é uma variável que exerce grande influência na produção de biogás).

Observa-se ainda que as variáveis com maior peso na ACP 1 são (em ordem de importância) o pH, STV e umidade; na ACP 2, as variáveis com maior peso são a alcalinidade total, pH e STV. Analisando pelos coeficientes, pode-se dizer que as variáveis que mais influenciaram na geração de biogás foram o pH (em primeiro

lugar), seguido pelos STV, umidade e DQO. Assim, na ACP 1, o pH, STV e a umidade explicam em conjunto 84% da variação dos resultados; na ACP 2, alcalinidade total, pH e STV explicam juntos 14% dessa variação. Somando os dois eixos, a ACP 1 e a ACP 2 explicam 98% dos dados gerados (produção de biogás).

Tabela 1 - Correlação das variáveis com as componentes principais (*loading*)

Variáveis	ACP 1	ACP 2
	$\lambda = 5,03$	$\lambda = 0,83$
pH	0,99	-0,22
STV	-0,99	0,12
DQO	-0,98	0,10
Biogás produzido	-0,95	-0,10
Umidade	0,99	-0,11
Alcalinidade total	-0,50	-0,86

Fonte: Elaborada pelos autores, 2016.

Segundo Bidone e Povinelli (1999), a maioria dos microrganismos apresenta melhor crescimento em pH neutro, pois, valores de pH acima de 7,6 ou abaixo de 6,0 podem levar à inibição da atividade dos microrganismos. Segundo Paes (2003 apud ALVES, 2008), o pH ideal para a digestão anaeróbia deve estar na faixa de 6,3 e 7,8, que apresenta maior eficiência da fase metanogênica, o que se aproxima dos valores obtidos no presente ensaio. A alcalinidade total é a que apresenta menor correlação com a ACP 1, logo, mesmo sendo verificado um coeficiente alto na ACP 2, não é a variável que mais interfere na produção de biogás.

No presente estudo, foi observada a produção de alcalinidade durante os 91 dias de experimento, sendo que a alcalinidade total aumentou mais de 300% tanto nos biodigestores de controle quanto nos que continham resíduo inoculado, passando de inicialmente 593 mg.L⁻¹, no substrato, e terminando o ensaio com 2740 mg.L⁻¹, o que fica dentro da faixa considerada ideal por Piveli e Kato (2006). Isso provavelmente ocorreu devido à formação de sais de ácidos voláteis, já que os mesmos também aumentaram significativamente nos biodigestores com substrato e também nos biodigestores com inóculo, embora em menor escala. Essa produção

de alcalinidade e ácidos voláteis indica a conversão de matéria orgânica com a produção de ácidos orgânicos a partir do material orgânico complexo. Outra razão para o aumento da alcalinidade, segundo Von Sperling (2005) é a reação do gás carbônico com a água resultando na produção de bicarbonato. A presença de amônia também é apontada como possível motivo para o aumento da alcalinidade, já que a mesma exerce efeito tampão sobre os ácidos voláteis formados na fase ácida da degradação (CHO, PARK e CHANG, 1995; GEORGACAKIS, SIEVERS e IANNOTTI, 1982; RAPOSO, 2006; SCHIRMER et al., 2014). A alcalinidade parcial (alcalinidade falsa para reatores anaeróbios), que é medida quando o pH está no intervalo de 5,75 a 8,0, também aumentou do início para o final no substrato (160%) e no inóculo (482%).

Sobre a matéria-orgânica, houve um aumento na DQO durante os 91 dias de ensaio, de quase 20% no substrato e quase 10% no inóculo. Um fato que converge para esse resultado e pode justificá-lo foi a diminuição no teor de sólidos fixos (9% no substrato e 6% no inóculo), os quais são compostos por material inerte, cuja redução indica que esses inertes passaram a ser oxidáveis e, portanto, detectáveis na DQO. Além disso, para explicar o aumento da DQO cabe analisar a composição do biogás e as características do lixiviado ao longo da biodegradação (como o lixiviado não foi drenado dos biodigestores, este foi considerado como parte do substrato e inóculo caracterizados ao final do experimento, para fins de análise).

Após 91 dias de monitoramento, a geração de biogás estava mais relacionada com o pH, seguido dos STV, umidade e DQO. Isso é verificado pelo ângulo formado entre a produção de biogás e as demais variáveis. No caso do pH e da umidade, a correlação com a produção de biogás fica clara devido ao ângulo agudo. Já no caso da DQO e sólidos voláteis, a correlação com a produção de biogás é verificada pelo ângulo obtuso, ou seja, nenhuma forma ângulo de 90°, o que significaria ausência de correlação.

A porcentagem de STV no total de matéria sólida do substrato era inicialmente 65%, chegando a 55% no final do experimento (base seca). Já o percentual de STV do inóculo foi de 51% a 44% durante o período de degradação. De acordo com Decottignies et al., (2005), um resíduo pode ser considerado estabilizado na faixa de sólidos voláteis de 10 a 17,4%; já segundo Kelly (2002),

amostras podem ser consideradas estabilizadas quando as concentrações de sólidos voláteis são menores que 20% (já que contêm pouco material degradável), portanto, bem abaixo dos valores finais observados nesse trabalho após os 91 dias de digestão. Ao longo desse período de incubação, observou-se percentuais de redução de 39% e 30% para o substrato e inóculo, respectivamente, indicando um potencial remanescente de sólidos voláteis no substrato (55%) passíveis de degradação e geração de biogás, a exemplo do reportado por Schirmer et al., (2014), que, em estudo semelhante, obteve um teor de sólidos voláteis remanescente igual a 46% para resíduo fresco (novo), o que é considerado um valor elevado diante das faixas de 10 a 17,4% e 20% supracitadas.

4 CONCLUSÕES

Apesar de simples e de baixo custo, a técnica empregada utilizando-se de pequenos biodigestores de bancada para avaliação da degradação de resíduos orgânicos municipais tem mostrado ser um método bastante eficiente e de rápida resposta na determinação do potencial de geração de metano em condições específicas de monitoramento.

Ainda, a partir das análises estatísticas concluiu-se que:

- As repetições dos dois tratamentos (substrato e inóculo) podem ser consideradas réplicas e, portanto, possuem confiabilidade estatisticamente comprovada.

- As variáveis com maior peso na ACP 1 são (em ordem de importância) o pH, STV e umidade; na ACP 2, as variáveis com maior peso são a alcalinidade total, pH e STV. A ACP demonstrou que, após 91 dias de ensaio, a geração de biogás estava mais relacionada com o pH, seguido dos STV, umidade e DQO. A soma da ACP 1 e 2 explica 98% dos dados de produção de biogás.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem à Fundação Araucária do Paraná, à Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Paraná (SETI) e à Fundação

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no âmbito do Ciências Sem Fronteiras (CsF), pelo suporte financeiro.

PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA) TO THE VOLUME OF BIOGAS GENERATED IN LANDFILL AND THE CORRELATION WITH PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the correlation structure of the biogas volume generated with the physical and chemical variables moisture, pH, alkalinity, chemical oxygen demand (COD) and total volatile solids (STV), through a principal component analysis (PCA). The replicates of each treatment, for both the inoculum and for the substrate were subjected to Pearson correlation analysis to determine if they could be treated as replicas. To this end, we used 92 sampling units (number of daily measurements on the production of biogas). The biogas production of the two treatments (inoculum and substrate) was evaluated for 91 days and between treatments using an analysis of variance (ANOVA). The treatments were nested within time, constituting an ANOVA with hierarchical design, with 5% significance. The results showed that the generation of biogas was more related to the pH, followed by STV, moisture and COD. The sum of the ACP 1 and 2 explained 98% of the biogas production data.

KEY-WORDS: PCA; landfill; biogas; Pearson correlation

REFERÊNCIAS

ALVES, I. R. F. S. **Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Civil, CTG - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS – ABRELPE; MGM INNOVA. **Atlas brasileiro de emissões de GEE e potencial energético na destinação de resíduos sólidos**. São Paulo: ABRELPE, 2013.

BIDONE, F. R. A; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. 1.ed. São Carlos: EESC/USP, 1999. 109p.

CHO, J. K.; PARK, S. C.; CHANG, H. N. Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of korean food wastes. **Bioresource Technology**, v.52, n.03, p.245-253, 1995.

DECOTTIGNIES, V.; GALTIER, L.; LEFEBVRE, X; VILLERIO, T. Comparison of analytical methods to determine the stability of municipal solid waste and related wastes. In: **Proceedings Sardinia**, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, 2005.

GEORGACAKIS, D.; SIEVERS, D. M.; IANNOTTI, E. L. Buffer stability in manure digesters. **Agricultural Wastes**, v.4, n.06, p. 427-41, 1982.

HANSEN, T. L.; SCHMIDT, J. E.; ANGELIDAKI, I.; MARCA, E.; JANSEN, J. L. C.;

HOTELLING, HAROLD. Analysis of a Complex of Statistical Variables Into Principal Components, **Journal of Educational Psychology**, v. 24, n 06 e 07. p. 417-441 e 498-520. 1933.

IMRE, E.; KOVÁCS, K. L.; BAGI, Z.; ÁCS, N.; PEREI, R. K.; BARTHA, I.; TRANG P. Q.; TELEKES, G. Biotechnological methods to increase landfill gas production. In: **Proceedings Sardinia 2009.TWELFTH INTERNATIONAL WASTE MANAGEMENT AND LANDFILL SYMPOSIUM**, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 2009.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate analysis**. Englewood Clifs: Prentice Hall, 1988. 607 p.

KELLY, R. J. **Solid waste biodegradation enhancements and the evaluation of analytical methods used to predict waste stability**. Master Thesis (Master of Science in Environmental Science and Engineering) - Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg-Virginia, 2002. 66p.

LAIRD, N.M., WARE, J.H. Random effects models for longitudinal data. **Biometrics** v. 38, 963–974. 1982.

MACIEL, F. J. **Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos**. 2009. 333 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. M. **Multivariate Analysis**. New York: Academic Press, 1978.

PAES, R. F. C. **Caracterização do chorume produzido no Aterro da Muribeca-PE**. 2003. 150f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2003.

PARAWIRA, W.; MURTO, M.; ZVAUYA, R.; MATTIASSON, B. Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves. **Renewable Energy**, v.29, n.11, p.1811-1823, 2004.

PEARSON, KARL. On lines and planes of closest fit to systems of points in space, **Philosophical Magazine**, Series 6, v. 2, n. 11, p. 559-572. 1901.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. ABES, 2006.

RAPOSO, F.; BANKS, C. J.; SIEGERT, I.; HEAVEN, S.; BORJA, R. Influence of inoculum to substrate ratio on the biochemical methane potential of maize in batch tests. **Process Biochemistry**, v.41, n.06, p.1444-1450, 2006.

SCHIRMER, W. N.; JUCÁ, J. F. T.; SCHULER, A. R. P.; HOLANDA, S.; JESUS, L. L. Methane production in anaerobic digestion of organic waste from Recife (Brazil) Landfill: evaluation in refuse of different ages. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.31, n.02, p.373-384, April - June, 2014.

SILVA, W. R. **Biogás: potencialidade dos aterros sanitários do Estado do Paraná**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Tecnologia - PRODETEC, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)/Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), Curitiba, 2010.

STROUP, W.W. **Generalized linear mixed models: Modern Concepts, Methods and Applications**. CRC Press, Boca Raton, FL. 2013. 519p.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos**. 1.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 211 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 2).

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 1).

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 1999. 666p.