

MONITORAMENTO DE LAGOA ANAERÓBIA E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE AVÍCOLA

Nathiely Catharine de Moraes Silveira¹

Marcio Antonio Vilas Boas²

Eliane Hermes³

RESUMO: O efluente de abatedouro avícola apresenta grande potencial poluidor, necessitando de tratamento para atender aos padrões de lançamento vigentes. A digestão anaeróbia é uma opção viável para este resíduo, pois requer pouco espaço para a sua implementação, produz energia e apresenta baixa produção de lodo. Diante disso, este estudo objetivou monitorar uma lagoa anaeróbia e estimar o potencial de produção de biogás no tratamento do efluente gerado em um abatedouro avícola da região Oeste do Paraná. Os pontos de coleta foram a entrada e saída da lagoa, perfazendo um total de 20 amostras, coletadas em dias alternados, no período de setembro a outubro de 2016. As análises realizadas foram: temperatura do líquido, pH, DQO, ST e SV, sendo estes dados submetidos a estatística descritiva e aplicação do controle estatístico de qualidade tendo como ferramenta o gráfico de Shewhart para medidas individuais. Para estimar o potencial de produção de metano e biogás, utilizou-se o valor da vazão média diária e da carga orgânica removida estimada, em função da DQO total na lagoa anaeróbia. Grande parte das variáveis analisadas obteve alta variabilidade, causada possivelmente pela inconstância do processo de abate de aves e problemas operacionais no sistema de tratamento físico-químico que antecede a lagoa anaeróbia. Os gráficos de controle de Shewhart apresentam-se como uma boa alternativa no monitoramento do tratamento de efluentes, pois permitem a visualização de mudanças e erros no processo, auxiliando na detecção de falhas. Considerando-se a produção volumétrica média de metano de 3225,61 m³ dia⁻¹, o volume teórico médio de biogás gerado seria de 4608,02 m³ dia⁻¹, podendo este ser uma fonte alternativa de energia para o abatedouro avícola além de reduzir a emissão de gases na atmosfera.

¹ Mestre em Bioenergia pela UFPR, Palotina (PR), Brasil.

² Doutor em Agronomia pela UNESP. Docente no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola na UNIOESTE, Cascavel (PR), Brasil.

³ Doutora em Engenharia Agrícola pela UNIOESTE. Docente no Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia na UFPR, Palotina (PR), Brasil. E-mail: elianehermes@yahoo.com.br

PALAVRAS-CHAVE: Digestão anaeróbia; Gráfico de controle de Shewhart; Metano.

MONITORING OF ANAEROBIC LAKE AND PRODUCTION CAPACITY OF BIOGAS IN THE TREATMENT OF FOWL EFFLUENTS

ABSTRACT: Abattoir effluents have a great pollution capacity and require treatment to comply with current standards. Anaerobic digestion is a viable option for the residue since it needs a small space for its implementation, energy production, low sludge production. Current study monitored an anaerobic lake and estimated the capacity of biogas production in the treatment of effluent generated by the fowl abattoir in the western region of the state of Paraná, Brazil. Collection sites comprised the lake entrance and exit, with a total of 20 samples, collected in alternate days, between September and October 2016. Analyses comprised temperature of the liquid, pH, DQO, ST and SV. Data underwent descriptive statistics and application of quality statistic control with Shewhart graph for individual measurements. Mean daily discharge and estimated removed organic load as a function of total DQO in the anaerobic lake were employed to estimate the capacity of methane and biogas production. Most variables had high variability, probably caused by inconstancy in the laying down of fowls and operational problems in the physical and chemical treatment system that precedes the anaerobic lake. Shewhart's control graphs are a good alternative in the monitoring of effluent treatment since they permit the visualization of changes and mistakes in the process and thus in the detection of flaws. If the mean volumetric production of methane is $3225.61 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$, mean theoretical volume of biogas produced will be $4608.02 \text{ m}^3 \text{ day}^{-1}$. The above may be an alternative source of energy for fowl abattoir and the reduction of gas emission into the atmosphere.

KEY WORDS: Anaerobic digestion; Methane; Shewhart control graph.

INTRODUÇÃO

Os efluentes provenientes de abatedouros avícolas contêm elevada demanda química de oxigênio (DQO), alta concentração de nitrogênio, óleos e graxas e presença de sólidos suspensos e dissolvidos (GONÇALVES; PAIXÃO; SILVA, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2016). Pelo seu alto grau de complexidade, faz-se necessário o uso de uma combinação de diversos níveis de tratamento para atender aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação vigente, ou seja, a Resolução CONAMA

430/2011 (LEONETI; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2010; BUSTILLO-LECOMPTE; MEHRVAR, 2017; RAJAB *et al.*, 2017).

As lagoas anaeróbias são amplamente utilizadas na indústria de processamento de carne, pois podem atingir reduções de até 90% de DQO (MCCABE *et al.*, 2014). Neste processo a decomposição da matéria orgânica é realizada por microrganismos anaeróbios, tornando-se uma opção viável para aqueles efluentes mais facilmente biodegradáveis (WU; CHEN, 2011; RODRIGUES *et al.*, 2016).

Diversas variáveis podem influenciar nas características do efluente, como alterações na carga afluente, condições ambientais, natureza do resíduo a ser tratado, presença de substâncias tóxicas, variabilidade inerente aos sistemas de tratamento biológico e falhas mecânicas e humanas nestes. Todos esses fatores podem levar a problemas e instabilidade nos processos de tratamento, ocasionando efeitos adversos na qualidade final do efluente (ORSSATTO *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2014; ORSSATTO; VILAS BOAS; EYNG, 2015).

Uma alternativa para o monitoramento do tratamento de efluentes líquidos é o uso do controle estatístico de qualidade que gera gráficos e índices de fácil interpretação demonstrando se os processos estão sendo eficientes ou se existem variações que possam comprometê-los (HARSTELN; AMARAL FILHO; WERNER, 2010). Dentre estas ferramentas destaca-se o gráfico de controle de Shewhart, construído por meio de avaliações das variáveis de interesse em pontos espaçados no tempo (ORSSATTO *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2014; ANDRADE *et al.*, 2017).

Orssatto *et al.* (2015) avaliaram o desempenho de uma estação de tratamento de esgotos através de cartas de controle e concluíram que as mesmas se apresentam como uma boa alternativa para o monitoramento do processo. Henning *et al.* (2014) utilizaram gráficos de Shewhart para medidas individuais e estes mostraram-se adequados na avaliação de dados de uma estação de tratamento de água e esgoto. Silva *et al.* (2014) constataram falta de controle estatístico de processo no tratamento de efluentes de uma agroindústria de óleo vegetal.

O efluente proveniente de abatedouro avícola apresenta características bastante favoráveis à digestão anaeróbia, além de ser um meio para a produção de energia renovável que tem como principal produto o metano que pode ser utilizado em caldeiras para a geração de calor e em motores para produção de energia elétrica (FEROLDI *et al.*, 2014; BILOTTA; ROSS, 2016; CROVADOR *et al.*, 2018).

Diante disso, objetivou-se com este estudo, aplicar o controle estatístico de qualidade no monitoramento de uma lagoa anaeróbia e estimar o potencial de produção de metano e biogás no tratamento do efluente gerado em um abatedouro avícola da região Oeste do Paraná.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O efluente utilizado na presente pesquisa foi proveniente de um abatedouro de aves localizado na região Oeste do Paraná. Este resíduo apresenta em sua composição sangue, conteúdo estomacal e intestinal, o que resulta em altas concentrações de matéria orgânica, sólidos, gorduras e nutrientes.

O sistema atual de tratamento de efluentes aplicado na indústria é composto por peneiras seguido de um tanque equalizador que recebe todo o efluente bruto. Este é bombeado para flotores por ar dissolvido, onde adiciona-se cloreto férrico que age como coagulante e floculante de sólidos suspensos e óleos e graxas, havendo a formação de um lodo que é raspado e enviado para posterior processamento. O efluente líquido pré-tratado é encaminhado para o tratamento biológico, composto por quatro lagoas de estabilização: duas anaeróbias, uma aerada facultativa e uma de polimento final, sendo posteriormente o efluente lançado no corpo receptor.

As coletas do efluente foram realizadas no período de setembro a outubro de 2016, em dias alternados, para se obter um número de amostras significativo, sendo os pontos de coleta a entrada e saída da primeira lagoa de tratamento da indústria, esta uma lagoa anaeróbia com 4,5 m de profundidade e tempo de detenção hidráulica (TDH) de 7 dias (Figura 1).

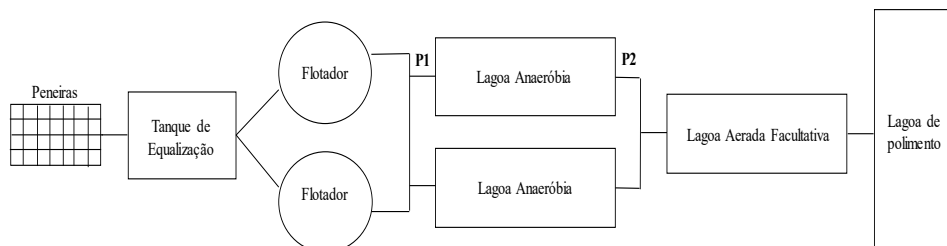


Figura 1. Sistema de tratamento utilizado na indústria e pontos de coleta P1: entrada da lagoa anaeróbia e P2: saída da lagoa anaeróbia

As amostras foram coletadas em frascos de 200 ml, perfazendo um total de 20 amostras para cada ponto de coleta. Estas foram armazenadas e refrigeradas segundo a NBR 9898 (ABNT, 1987) e conduzidas para o Laboratório de Química Analítica e Análises Ambientais da Universidade Federal do Paraná (UFPR) - Setor Palotina, para caracterização.

Os parâmetros determinados foram: temperatura do líquido, mensurada no momento da coleta, pH por método potenciométrico, DQO, sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), utilizando-se metodologias descritas pelo Standard Methods (APHA, 2012).

Para as variáveis analisadas, aplicou-se estatística descritiva com registro de médias, desvio padrão, coeficiente de variação, mínimo e máximo, além da técnica de controle estatístico de qualidade tendo como ferramenta o gráfico de controle de Shewhart para medidas individuais.

Para o uso deste gráfico, é necessário que os dados apresentem distribuição normal (p -valor $> 0,05$) e independência entre si. Os testes de normalidade aplicados no presente estudo foram de Anderson-Darling e Ryan-Joiner e a verificação da autocorrelação ocorreu utilizando-se a função de autocorrelação amostral (MONTGOMERY, 2009).

O gráfico de controle de Shewhart é composto de limites superior (LSC) e inferior de controle (LIC), estes calculados a partir das equações 1 e 2:

$$\text{LSC} = \bar{x} + \frac{3AM}{d_2} \quad \text{Eq. (1)}$$

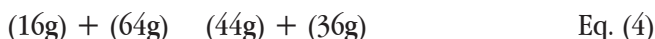
$$\text{LIC} = \bar{x} - \frac{3AM}{d_2} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que LSC = limite superior de controle; LIC = limite inferior de controle; \bar{x} = média; AM = amplitude móvel das observações; d_2 = valor pré-determinado (tabelado), de acordo com o número de repetições.

Tanto a estatística descritiva quanto os gráficos de controle foram obtidos utilizando-se o *software Minitab 16*[®].

Para a estimativa teórica da produção de metano e biogás, foram utilizados os valores da vazão média diária ($9120 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$) e da respectiva carga orgânica

removida, em função da DQO na lagoa anaeróbia (CHERNICHARO, 1997), de acordo com a equação (5):



Sabe-se que um mol de metano requer dois mols de oxigênio para sua completa oxidação a gás carbônico e água. Portanto, cada 16 g de CH_4 produzidos e retirados da fase líquida correspondem à remoção de 64 g de DQO do despejo. Nas condições normais de temperatura e pressão isso corresponde a 350 mL de CH_4 para cada g de DQO degrada. A expressão geral que determina a produção teórica de metano por grama de DQO removida do despejo é:

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{\text{DQO}_{\text{CH}_4}}{f(T)} \quad \text{Eq. (5)}$$

Em que:

Q_{CH_4} : produção volumétrica de metano ($\text{m}^3/\text{dia}^{-1}$);

DQO_{CH_4} : carga de DQO removida na lagoa e convertida em metano (gDQO); O valor adotado como remoção de DQO foi de 70% (KAZMIERCZAC *et al.*, 2016).

$f(T)$: fator de correção para a temperatura operacional da lagoa (kgDQO/m^3).

Para determinação do $f(T)$ aplicou-se a equação (6):

$$f(T) = \frac{P \times K_{\text{DQO}}}{R \times (273+T)} \quad \text{Eq. (6)}$$

Em que:

P: pressão atmosférica (1 atm);

K_{DQO} : DQO correspondente a um mol de CH_4 (64 gDQO/mol);

R: constante dos gases (0,08206 atm.L/mol.K);

T: temperatura operacional da lagoa ($^{\circ}\text{C}$).

Para estimativa do potencial de produção de biogás, considerou-se uma média de 70% de metano no biogás (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 tem-se o resumo estatístico das variáveis analisadas na entrada e saída da lagoa anaeróbia.

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis físico-químicas do efluente na entrada (P1) e saída (P2) da lagoa anaeróbia

Variável	Ponto	Média	CV (%)	Mínimo	Máximo	p-valor	AC
Temperatura (°C)	P1	25,35	5,16	24	28	> 0,10	Não
Temperatura (°C)	P2	23,15	6,15	21	26	> 0,10	Não
pH	P1	5,60	19,76	4,12	8,41	< 0,05	Não
pH	P2	6,60	1,41	6,45	6,80	0,35	Não
DQO (mg L ⁻¹)	P1	1322	52,10	473	3589	< 0,05	Não
DQO (mg L ⁻¹)	P2	466	42,79	171	912	0,09	Sim
ST (mg L ⁻¹)	P1	1259,20	24,47	863,30	2087,50	< 0,05	Não
ST (mg L ⁻¹)	P2	664,33	5,45	596,67	746,67	0,24	Não
SV (mg L ⁻¹)	P1	825,80	35,22	488,30	1620	< 0,05	Não
SV (mg L ⁻¹)	P2	258,60	20,79	160	376,70	0,89	Não

DQO - demanda química de oxigênio; ST - sólidos totais; SV - sólidos voláteis; CV - coeficiente de variação; AC - autocorrelação.

O processo de digestão anaeróbia é muito sensível à variação da temperatura, e esta é de extrema importância em processos biológicos, tendo influência nas atividades metabólicas da população microbiana, afetando assim o seu crescimento (BITTON, 2005; CHAVES, 2015). A queda da temperatura pode acarretar um aumento na concentração dos compostos produtores de ácidos voláteis (propiónico e butírico), que são os principais precursores do metano. Isso pode exceder a capacidade de tamponamento do sistema, diminuindo assim o pH e perturbando a estabilidade do processo como um todo (GRIZZONI *et al.*, 2012).

As temperaturas do líquido apresentaram pequena variação ao longo do tempo, indicando, segundo Pimentel Gomes (2009), dados homogêneos. Além disso, todos os dados foram maiores que 20 °C, estes de acordo com a literatura que afirma que o valor adequado para o processo anaeróbio deve ser superior a 15 °C (VON SPERLING, 2013).

Os sistemas anaeróbios possuem facilidade de operação em regiões de clima quente, pois as altas temperaturas favorecem o processo de digestão da matéria orgânica (WU; CHEN, 2011; VON SPERLING, 2013). Lew *et al.* (2011) estudaram o tratamento de efluentes domésticos e comprovaram que em temperaturas mais elevadas obtêm-se melhor eficiência na degradação do material orgânico particulado com tratamento anaeróbio. Kazmierczak *et al.* (2016) analisaram uma lagoa anaeróbia no tratamento de efluente de abatedouro avícola e obtiveram temperatura média do líquido de 31,10 °C, valor este superior ao obtido na presente pesquisa (23,15 °C).

O controle do pH é importante e limitante no crescimento microbiano e, para evitar complicações no processo, seu valor deve estar entre 6,0 a 8,0, sendo a faixa ótima de operação de 6,70 a 7,40 (RIZZONI *et al.*, 2012; TOMIELIS; BARCELOS; CEREDA, 2017). Os dados de pH na entrada da lagoa anaeróbia apresentaram uma grande variabilidade enquanto os valores de saída foram mais homogêneos (PIMENTEL GOMES, 2009) e próximos ao valor ideal para a formação de metano (Tabela 1).

Kazmierczak *et al.* (2016) estimaram teoricamente a produção de biogás em uma lagoa anaeróbia utilizando efluente procedente de abatedouro avícola e obtiveram pH médio de 7,50. Gonçalves; Paixão; Silva (2016), ao analisarem parâmetros físico-químicos e microbiológicos em uma lagoa anaeróbia aplicada no tratamento de efluente proveniente de abatedouro avícola, determinaram valores médios de entrada e saída de 7,0 e 8,0, respectivamente. Estes valores encontram-se acima dos obtidos no presente estudo.

Os dados determinados para a DQO apresentaram grande oscilação tanto na entrada quanto na saída da lagoa estudada (Tabela 1). Esta elevada variabilidade é possivelmente causada pela inconstância do processo de abate de aves e problemas operacionais no sistema físico-químico, que antecede a lagoa anaeróbia, além da concentração de sangue presente no efluente que pode provocar alteração pelo enriquecimento do resíduo (PINTO *et al.*, 2015). Gonçalves; Paixão; Silva (2016), ao estudarem o uso de lagoas de estabilização no tratamento de efluente avícola, constataram na entrada da lagoa anaeróbia valores de DQO de 2662 a 4230 mg L⁻¹, estes superiores aos quantificados nesta pesquisa.

A lagoa analisada possui TDH de 7 dias e o valor médio encontrado para remoção de DQO foi de 62,32 ± 14,31%, com mínimo de 31,86% e máximo de

82,85%. A eficiência média está abaixo do valor mínimo de 65% que é esperado para lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa (sistema australiano) (VON SPERLING, 2013) e, embora neste estudo tenha sido analisada apenas uma lagoa anaeróbia, algumas das amostras atingiram valores dentro da faixa adequada (65 a 80%).

Gannoun *et al.* (2009), avaliando a influência de diferentes TDH e níveis de material orgânico presentes em efluentes de abatedouro sobre o processo de digestão anaeróbia, alcançaram remoções médias de 90% de DQO. Rodrigues *et al.* (2016), estudando o tratamento de efluente de abatedouro avícola com reator anaeróbio UASB com TDH de 3 dias, atingiram valores médios de eficiência de remoção de DQO de 55,80%.

Para os sólidos, nota-se que houve uma grande variabilidade nos dados, exceto para os valores de sólidos totais na saída, que apresentaram baixo coeficiente de variação (PIMENTEL GOMES, 2009). Os SV correspondem à fração dos sólidos que entram em combustão a 550-600 °C, considerados como uma medida da fração orgânica presente e responsáveis diretos pela produção de biogás, sendo um fator positivo, pois quanto maior a concentração de SV, maior o potencial de geração de energia (WEBER *et al.*, 2014).

Os valores médios de eficiência de remoção para os ST e SV foram de 44,58 ± 12,74 e 65,08 ± 14,83%, respectivamente. Salminen e Rintala (2002) utilizaram efluente de abatedouro de aves em seu estudo e obtiveram remoções de ST e SV de 32 e 31%, respectivamente, sendo estas inferiores às obtidas neste trabalho.

Para a construção dos gráficos de controle de Shewhart sugere-se que os dados tenham normalidade e não apresentem autocorrelação (MONTGOMERY, 2009). Os valores de entrada para os parâmetros de pH, DQO, ST e SV não apresentaram normalidade, pelo fato do p-valor ser menor que o nível de significância adotado de 0,05, além da existência de autocorrelação nos dados de saída para a variável de DQO (Tabela 1). Desta forma, estes foram descartados na aplicação da técnica de controle estatístico de qualidade.

Corroborando essas informações, Harsteln; Filho e Werner (2010) detectaram não normalidade em dados de DQO obtidos junto a uma indústria do setor metal-mecânico e Henning *et al.* (2014) constataram autocorrelação para as variáveis de turbidez e cloro residual em uma estação de tratamento de água.

A partir dos gráficos de controle de Shewhart (Figura 2), nota-se que todos os processos se encontram sob controle, pois nenhum obteve pontos fora dos limites superior e inferior (LSC e LIC), nem configurações indesejáveis como tendências e sequências (MONTGOMERY, 2009).

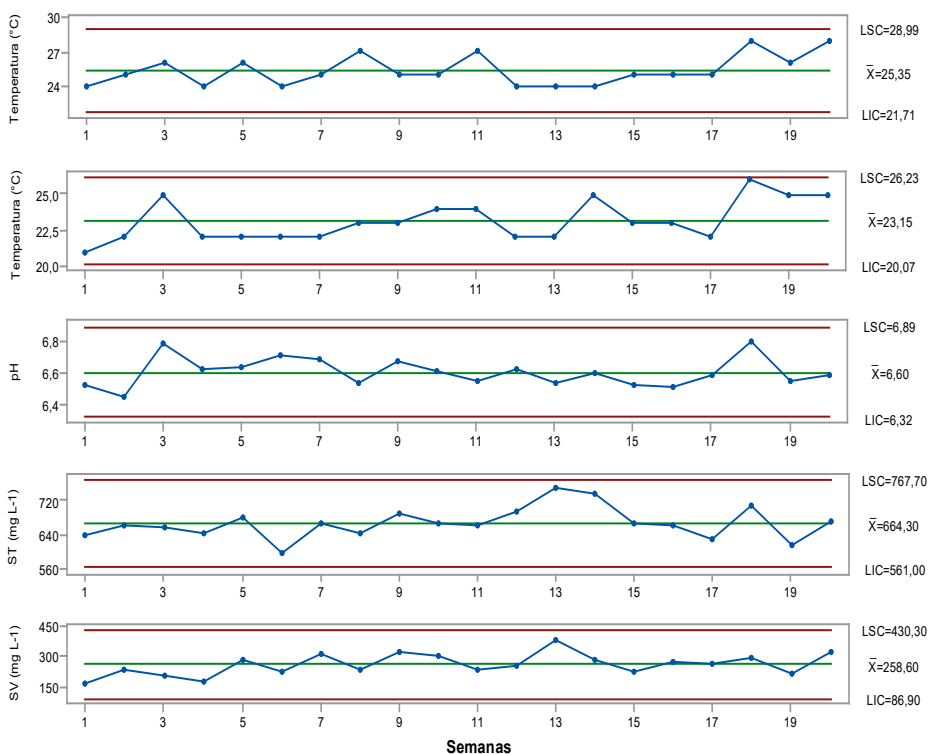


Figura 2. Gráficos de controle de Shewhart para a temperatura do líquido na entrada e saída, pH, ST e SV na saída da lagoa anaeróbia estudada

Levando-se em consideração a legislação 430 (CONAMA, 2011), que determina os padrões para o lançamento de efluentes em cursos d'água, observa-se que todos os valores obtidos para a temperatura na saída encontram-se abaixo do valor máximo permitido de 40 °C. Com relação ao parâmetro de pH, o resíduo pode ser descartado com valores entre 5 a 9, sendo que todos os dados se encontram dentro desta faixa, já que os mesmos variaram de 6,45 a 6,80.

Para as variáveis de ST e SV não há padrão de lançamento e ressalta-se que previamente ao descarte deste efluente no corpo receptor o mesmo é conduzido

para mais duas etapas de tratamento, compostas de uma lagoa aerada facultativa e uma lagoa de polimento.

Discordando do presente estudo, Orssatto *et al.* (2014) aplicaram as técnicas de controle estatístico de qualidade em uma estação de tratamento de esgoto doméstico e a partir dos gráficos de Shewhart não alcançaram controle estatístico para a maioria das variáveis estudadas. Silva *et al.* (2014) avaliaram um sistema de tratamento de efluentes em uma indústria de produção de óleo vegetal e constataram falta de controle estatístico para dez parâmetros físico-químicos dentre eles pH e sólidos totais fixos e voláteis. Os autores sugeriram que a indústria execute ações corretivas visando a minimização de causas especiais que afetem o processo, no intuito de obter um tratamento sob controle.

O efluente proveniente de abatedouro avícola possui características muito favoráveis à digestão anaeróbia, pela sua riqueza em nutrientes, grau de tamponamento adequado ao crescimento microbiano e temperatura ideal, entre 20-30 °C (FEROLDI *et al.*, 2014). Este apresenta elevada capacidade de produção de biogás devido à sua alta concentração de matéria orgânica (BAYR *et al.*, 2012). Na Figura 3 tem-se a estimativa teórica de DQO removida e do potencial de produção de metano e biogás no período avaliado.

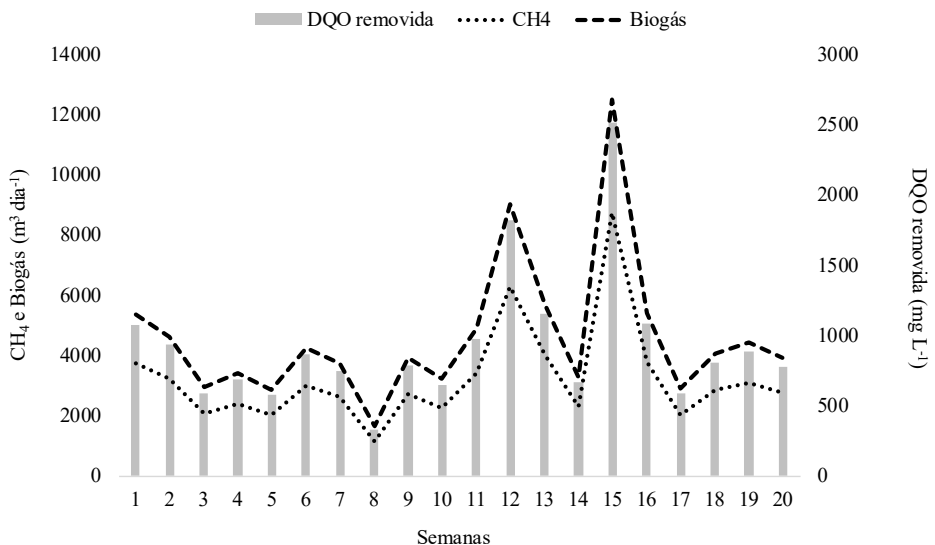


Figura 3. Estimativa média de DQO removida e do potencial de produção de metano e biogás

A partir dos valores obtidos, podem ser removidos em média 8437,15 kg dia⁻¹ de carga orgânica, gerando em média 3225,61 m³ dia⁻¹ de metano e 4608,02 m³ dia⁻¹ de biogás. Este gás com alto valor econômico pode ser utilizado como fonte de energia, sendo aproveitado diretamente no aquecimento de caldeiras e fornos industriais, convertido em energia elétrica e combustão em um grupo moto gerador ou comprimido e utilizado como gás veicular (EDWIGES, 2012; FEROLDI *et al.*, 2014; BILOTTA; ROSS, 2016).

Os dados de estimativa do potencial de produção de metano e biogás apresentaram variabilidade entre as amostras, sendo que nas 12^a e 15^a semanas foram atingidos os resultados mais elevados. Isso pode ser justificado em função da coloração mais escura do efluente no momento destas duas coletas, resultando uma maior concentração de material orgânico.

Segundo Zadinelo *et al.* (2013), vários autores mencionam que os melhores resultados de potenciais de produção de biogás ocorrem em torno de 7 a 10 dias de retenção do efluente de abatedouro avícola no tratamento anaeróbio. Todavia, sabe-se que o TRH a ser adotado deve ser fundamentado na carga orgânica contida no efluente, para que ocorra a degradação máxima possível (SANCHEZ *et al.*, 2005). O tempo de retenção atual na lagoa anaeróbia é de 7 dias.

Zadinelo *et al.* (2013), em seu estudo sobre o potencial de produção de biogás a partir de resíduos de abatedouro de aves, estimaram valores de até 7129 m³ de biogás dia⁻¹, valor superior à média obtida no presente estudo. Em trabalho realizado por Oliveira *et al.* (2011) na degradação de efluentes do processamento de carne de aves, foram obtidos de 66-75% e 66-70% de metano no biogás, respectivamente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O efluente de abatedouro avícola possui alta variabilidade, possivelmente em função de oscilações no processo produtivo e problemas operacionais no sistema de tratamento físico-químico (flotador) que antecede a lagoa anaeróbia.

Os gráficos de controle de Shewhart apresentam-se como uma boa alternativa no monitoramento do tratamento de efluentes, pois permitem a visualização de

mudanças e erros no processo, auxiliando na detecção de falhas e possibilitando o uso de ações corretivas e preventivas.

Observa-se que é possível a substituição da lagoa anaeróbia por um biodigestor na agroindústria estudada, visando a recuperação de energia e principalmente a captação de gases, evitando assim seu lançamento na atmosfera.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. G.; VILAS BOAS, M. A.; SIQUEIRA, J. A. C.; SATO, M. S.; DIETER, J.; HERMES, E.; MERCANTE, E. Uniformity microsprinkler irrigation using statistical quality control. **Ciência Rural**, v. 47, n. 4, p. 1-7, 2017.

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22th ed. Washington, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9898: **Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1987.

BAYR, S.; PAKARINEN, O.; KORPPO, A.; LIUKSIA, S.; VÄISÄNEN, A. Effect of additives on process stability of mesophilic anaerobic monodigestion of pig slaughterhouse waste. **Bioresource Technology**, v. 120, p. 106-113, 2012.

BILOTTA, P.; ROSS, B. Z. L. Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 275-282, 2016.

BITTON, G. **Wastewater microbiology**. New York: Wiley-Liss Publishing, 2005. 746p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamentos de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, 2011.

BUSTILLO-LECOMPTE, C. F.; MEHRVAR, M. Treatment of actual slaughterhouse wastewater by combined anaerobic-aerobic processes for biogas generation and removal of organics and nutrients: An optimization study towards a cleaner production in the meat processing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 278-289, 2017.

CHAVES, S. R. M. **Influência da temperatura e do tempo de permanência sobre o desempenho de reatores UASB tratando esgoto sanitário**. 2015. 93f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1997. Vol 5: Reatores anaeróbios.

CROVADOR, M. I. C.; SCHIRMER, W. N.; MARTINS, K. G.; FRANQUETO, R.; JUCÁ, J. F. T. Estimativa da produção de biogás em aterro sanitário subtropical brasileira. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 1, p. 227-251, 2018.

EDWIGES, T. **Avaliação do potencial de aproveitamento térmico do metano a partir de dejetos suínos na microbacia do Rio Marreco, Oeste do Paraná**. 2012. 65f. Dissertação (Mestrado em Energia e Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

FEROLDI, M.; URIO, M. B.; ARAÚJO, A. V.; CREMONEZ, P. A. Geração de biogás a partir de efluentes de abatedouros. **Journal of Agronomic Sciences**, v. 3, n. especial, p. 130-148, 2014.

GANNOUN, H.; BOUALLAGUI, H.; OKBI, A.; SAYADI, S.; HAMDI, M. Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of biologically pretreated abattoir wastewaters in an upflow anaerobic filter. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, n. 1, p. 263-271, 2009.

GONÇALVES, J. E.; PAIXÃO, R. M.; SILVA, L. H. B. R. Estudos físico-químicos e microbiológicos da eficiência do tratamento de efluente proveniente de abatedouro avícola. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 473-489, 2016.

HARSTELN, R. E.; AMARAL FILHO, J. R. A.; WERNER, L. Análise de capacidade de dados não normais de um sistema de tratamento de efluente industrial. **Inovação, Gestão e Produção**, v. 2, n. 11, p. 13-25, 2010.

HENNING, E.; WALTER, O. M. F. C.; SOUZA, N. S.; SAMOHYL, R. W. Um estudo para a aplicação de controle estatístico de processo em indicadores de qualidade da água potável. **Sistema & Gestão**, v. 9, n. 1, p. 2-13, 2014.

KAZMIERCZAK, T.; HOSSA, C. L.; MACAGNANN, B. E.; COLLET, E. B. Estimativa teórica da produção de biogás a partir de efluente procedente de abatedouro de suínos e aves no município de Videira - SC (Estudo de caso). **Ignis**, v. 5, n. 1, p. 5-17, 2016.

LEW, B.; LUSTIG, I.; BELIAVSKI, M.; TARRE, S.; GREEN, M. An integrated UASB-sludge digester system for raw domestic wastewater treatment in temperate climates. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 7, p. 4921-4924, 2011.

MCCABE, S. E.; WEST, B. T.; TETER, C. J.; BOYD, C. J. Trends in medical use, diversion, and nonmedical use of prescription medications among college students from 2003 to 2013: connecting the dots. **Addict Behav.**, v. 39, n. 7, p. 1176-1182, 2014.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico de qualidade**. Trad.: FARIAS, A. M. L.; FLORES, V. R. L. F.; LAURENCEL, L. C. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. ISBN 85-216-1400-4.

OLIVEIRA, A. B. M.; ORRICO, A. C. A.; ORRICO, M. A. P.; SUNADA, N. S.; CENTURION, S. R. Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 690-700, 2011.

ORSSATTO, F.; VILAS BOAS, M. A.; NAGAMINE, R.; URIBE-OPAZO, M. A. Shewhart's control charts and process capability ratio applied to a sewage treatment station. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 770-779, 2014.

ORSSATTO, F.; VILAS BOAS, M. A.; EYNG, E. Gráfico de controle da média móvel exponencialmente ponderada: aplicação na operação e monitoramento de uma

estação de tratamento de esgoto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 543-550, 2015.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.

PINTO, L. A. M.; PINTO, M. M.; BOVO, J.; MATEUS, G. A. P.; TAVRES, F. O.; BAPTISTA, A. T. A.; HIRATA, A. K. Aspectos ambientais do abate de aves: uma revisão. **Revista Uningá Review**, v. 22, n. 3, p. 44-50, 2015.

RAJAB, A. R.; SALIM, M. R.; SOHAILI, J.; ANUAR, A. N.; SALMIATI; LAKKABOYANA, S. K. Performance of integrated anaerobic/aerobic sequencing batch reactor treating poultry slaughterhouse wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v. 313, p. 967-974, 2017.

RIZZONI, L. B.; TOBIAS, A. C. T.; DEL BIANCHI, M.; GARCIA, J. A. D. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica de Medicina Veterinária**, v. 9, n. 18, p. 1-20, 2012.

RODRIGUES, L. S.; LOPES, B. C.; LIMA, C. A.; RIBEIRO, M. C.; SANTOS, R. P.; SILVA, I. J. Tratamento de efluentes de abatedouro de frangos por meio de reator UASB seguido de filtro anaeróbio. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 68, n. 1, p. 97-103, 2016.

SALMINEN, E.; RINTALA, J. Semi-continuous anaerobic digestion of solid poultry slaughterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading. **Water Research**, v. 36, p. 3157-3182, 2002.

SANCHEZ, E.; BORJA, R.; TRAVIESO, L.; MARTÍN, A.; COLMENAREJO, M. F. Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 3, p. 335-344, 2005.

SILVA, T. A. L.; SILVA, H. A.; SANTOS, D. Q.; RODRIGUES, E. C. Utilização do controle estatístico de processo (CEP) na avaliação de uma estação de tratamento de efluente agroindustrial. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 2, p. 310-322, 2014.

TOMIELIS, I. P.; BARCELOS, S. T. V.; CEREDA, M. P. Hydraulic retention time on vinasse stabilisation with limestone in the acidogenic phase of anaerobic digestion. **Ciência Rural**, v. 47, n. 9, p. 1-7, 2017.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2013.

WEBER, R.; ZENATTI, D. C.; FEIDEN, A.; TIETZ, C. M. Produção de biogás com relação ao teor de sólidos voláteis dos dejetos de bovinocultura de leite. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 43-55, 2014.

WU, B.; CHEN, Z. An integrated physical and biological model for anaerobic lagoons. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 5032-5038, 2011.

ZADINELO, I. V.; SERENISKI, R. M.; BORIN, R.; FAGNANI, K. C.; STREMEL, D. P.; GOMES, L. F. S. Potencial da produção de biogás a partir de efluente pré-tratado de abatedouro de aves da região oeste do Paraná. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 2, p. 61-71, 2013.

Recebido em: 17/05/2018

Aceito em: 01/07/2019