

XI-005 - AVALIAÇÃO DA VAZÃO DE BIOGÁS PRODUZIDO EM REATOR ANAERÓBIO DO TIPO UASB, MENSURADO POR MEDIDORES DO TIPO VÓRTEX E DISPERSÃO TÉRMICA

Orlando Antonio Duarte Hernández ⁽¹⁾

Engenheiro Industrial pela Universidade Nacional Experimental do Tachira (UNET). Mestre em Gestão e Auditorias Ambientais pela Universidade Europea Miguel de Cervantes (UEMC). Professor da Universidade Nacional Experimental do Tachira. Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Ana Caroline de Paula

Engenheira Química pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR). Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Bolsista do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT ETEs Sustentáveis).

Maurício Pereira Cantão

Físico pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Mestre e Doutor em Física pela Unicamp. Pós-doutor em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Professor visitante da UFPR, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA).

Gustavo Rafael Collere Possetti

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Ciências e Doutor em Ciências pela UTFPR. Gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar). Professor do Programa de Mestrado Profissional em Governança e Sustentabilidade do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE-FGV).

Miguel Mansur Aisse

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestre em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Doutor em Engenharia Civil - Engenharia Hidráulica pela Universidade de São Paulo. Professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA).

Endereço⁽¹⁾: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Centro Politécnico, Setor de Tecnologia, Bloco V, Jardim das Américas – Curitiba/PR, CEP: 81531-990, Tel.: +55 (41)3361-3144, e-mail: oranduher1@gmail.com

RESUMO

Apesar do uso do biogás estar amplamente fundamentado na literatura, poucos estudos sobre sua caracterização qualitativa e quantitativa foram até então reportados, sobretudo para reatores UASB, em escala real e alimentados com esgoto doméstico. O objetivo foi relatar e discutir os resultados do comportamento da vazão de biogás de uma estação de tratamento de esgoto (ETE), que opera através do uso de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB); realizar uma comparação entre as leituras dos medidores de vazão de biogás utilizados; avaliar a produção de biogás em NL/hab.d. O experimento foi realizado em uma ETE de médio porte, localizada na cidade de Curitiba-PR. Para monitoramento da vazão de biogás, foram utilizados, um transmissor por dispersão térmica e um medidor de vazão do tipo vórtex, os quais foram instalados na tubulação de saída do biogás produzido por 3 reatores. O período avaliado foi dezembro 2016, janeiro 2017, dezembro 2017 e janeiro 2018. Para comparação dos medidores de vazão foram utilizadas 50 leituras, levantadas nos meses em questão. Utilizaram-se ferramentas estatística descritiva, gráficos boxplot, dispersão e teste de t-Student, nível de significância $\alpha = 0,05$, teste bilateral. Os resultados permitem concluir que a vazão de biogás, em reatores UASB, numa ETE de médio porte, segue o comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário, conforme reportado na literatura. Contudo, apresenta picos de produção de vazão de biogás diferentes daqueles já relatados em outros estudos, tendo em vista que as vazões máximas ocorreram tipicamente entre às 0 e 3 horas e aproximadamente às 15 horas e as vazões mínimas entre às 6 e 9 horas do dia. Durante o período de estudo, a vazão média de biogás disponibilizada pelos 3 reatores UASB foi de $18,04 \pm 9,63 \text{ Nm}^3/\text{h}$, com máximo de $79,56 \text{ Nm}^3/\text{h}$ e mínimo de $0 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Os resultados da

comparação entre as vazões de biogás, utilizando medidor do tipo vórtex e medidor por dispersão térmica, permitiram concluir que existiu uma relação média de 1,17 Vazão dispersão térmica/Vazão vórtex, entre as duas técnicas as maiores diferenças nas medições foram quando a vazão de biogás esteve entre (0 e 9) Nm^3/h . Assim o coeficiente de determinação foi 0,8554, não apresentando diferenças estatísticas significativas, A produção *per capita* de biogás na estação foi na ordem de $(4,82 \pm 2,38)$ NL/hab.d, valores inferiores ao reportado na literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Vazão, Biogás, Reator UASB, Medição em escala plena.

INTRODUÇÃO

Produção de biogás em reator UASB

A tecnologia anaeróbia, notadamente os reatores de fluxo ascendente e manta de lodo (reatores UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) são amplamente utilizados no Brasil para o tratamento de esgoto doméstico. Durante a operação destes sistemas anaeróbios ocorre a formação de alguns subprodutos, como um dos principais pode-se citar o biogás. A produção de biogás, a partir do esgoto doméstico, depende de diversos fatores, como a quantidade de matéria orgânica presente no efluente e as características do processo de tratamento adotado.

Para Noyola *et al.* (2006) o biogás oriundo de reatores UASB é prioritariamente composto por metano, nitrogênio e gás carbônico e em menores proporções ainda podem ser encontrados sulfeto de hidrogênio, hidrogênio, oxigênio, monóxido de carbono, amônia e compostos orgânicos voláteis. O metano, principal constituinte do biogás, é um composto inflamável, inodoro, incolor, com densidade menor que aquela inerente ao ar e com alto poder calorífico.

Apesar do uso do biogás estar amplamente fundamentado na literatura, poucos estudos sobre sua caracterização qualitativa e quantitativa foram até então reportados, sobretudo para reatores UASB, em escala real e alimentados com esgoto doméstico. Isto porque a natureza do biogás impõe dificuldades de medição e porque grande parte dos métodos analíticos disponíveis para tal são morosos e dispendiosos (POSSETTI *et al.*, 2013).

Possetti *et al.* (2013) apresentaram dados de mensuração da vazão de biogás, realizada durante 6 meses, em 4 reatores anaeróbios do tipo UASB, alimentados com esgoto doméstico, em uma ETE de grande porte localizada na cidade de Curitiba/PR (ETE Atuba Sul). Com os resultados, identificaram que a produção de biogás segue um comportamento temporal variável, periódico e não estacionário, dependente das características do esgoto e de períodos de chuva, reportando picos de produção em diferentes períodos de tempo. A vazão máxima de biogás produzido foi de aproximadamente $21,56 \pm 6,45 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Eventos relevantes de chuva ocasionaram a diminuição na produção de biogás, devido a diluição da matéria orgânica presente no esgoto. Cabral (2016), afirma que os valores de vazão de biogás acompanham o comportamento da vazão de esgoto, mas, com defasagens de tempo entre os picos de cada um destes parâmetros, em diversas estações. A autora apresenta grande diferença nas vazões de biogás obtidas para as diferentes ETES de estudo.

Inerente a produção *per capita* de biogás, Lobato (2011) utilizou um modelo matemático para reatores UASB tratamento esgoto doméstico, com o intuito de efetuar a identificação. Assim, obteve produção volumétrica média estimada para três cenários distintos, sendo eles pior, típico e melhor, atingindo valores na ordem de 9,8 NL/hab.d, 13,6 NL/hab.d e 17,1 NL/hab.d, respectivamente. Esta produção para reatores UASB foi inferior ao estabelecido por Andreoli *et al.* (2001) para digestores de lodo, os quais apresentaram produção estimada de biogás de aproximadamente 25 NL/hab.d.

Desta forma, é correto afirmar que são necessários novos estudos que validem a produção real de biogás no Brasil, e para isto, é imprescindível definir qual dos tipos de medidores de biogás melhor se adapta as condições de cada uma das ETES brasileiras. Em uma Estação o já consolidado medidor de vazão é o elemento que quantifica a taxa de transferência de um fluido e, assim, garante a qualidade de um produto, a segurança de um processo ou determina com exatidão o volume comercializado entre as partes envolvidas.

A medição confiável e precisa requer uma correta engenharia, pois envolve a seleção do instrumento de medição, a instalação, a operação, a manutenção e a interpretação dos resultados obtidos. O medidor de vazão do tipo vórtex vêm sendo cada vez mais utilizado, tendo em vista a vantagem de ser exato, preciso, robusto e ser aplicado na medição de vazões de líquidos, vapores e gases. O equipamento utiliza como princípio de funcionamento a formação de vórtices, através de obstáculos em um escoamento, e os sensores compreendem as ondas dos vórtex formadas e emitem um sinal em frequência correspondente a vazão (ARAÚJO *et al.*, 2015).

O medidor de vazão por dispersão térmica usualmente é aplicado para aferir vazões de gases. Fundamenta-se nas variações de equilíbrio térmico criadas pelas alterações de vazão do fluido a ser mesurado em um sensor aquecido. Existem basicamente dois tipos de medidores por dispersão térmica, os que medem vazões em regime de escoamento laminar e os que medem em regime de escoamento turbulento (HILLER *et al.*, 2010). Silva *et al.* (2015) relataram vazão mínima de biogás de 47,59 m³/h e vazão máxima de 113,25 m³/h, utilizando medidor por dispersão térmica.

Consequentemente, os recentes avanços nas áreas de sensoriamento e de eletrônica têm disponibilizado ferramentas capazes de medir *in-situ* e em tempo real o biogás produzido em reatores UASB, possibilitando estabelecer as diretrizes de seu manejo com maior exatidão.

OBJETIVOS

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo relatar e discutir os resultados do comportamento da vazão de biogás de uma estação de tratamento de esgoto (ETE), que opera através do uso de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), no período avaliado; realizar uma comparação entre as leituras dos medidores de vazão de biogás utilizados (medidor de vazão do tipo vórtex e medidor de vazão por dispersão térmica); avaliar a produção de biogás em NL/hab.d.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma ETE de médio porte, localizada na cidade de Curitiba-PR. O sistema de tratamento da estação é composto por tratamento preliminar, o qual contém gradeamento manual de 20 mm, gradeamento mecanizado de 3 mm, desarenador e calha Parshall; tratamento biológico, em seis reatores do tipo UASB com capacidade de 70 L/s cada; e pós tratamento, com duas lagoas aeradas mecanizadas. A estação conta com uma vazão de projeto de 420 L/s, correspondente a população de 235.000 habitantes. Atualmente, opera com vazão média de esgoto de 320 L/s, atendendo a uma população de aproximadamente 179.048 habitantes.

Para monitoramento da vazão de biogás, foram utilizados, um transmissor por dispersão térmica Thermathel® e um medidor de vazão do tipo vórtex, da marca Hontzsch, os quais foram instalados na tubulação de saída do biogás produzido por 3 reatores. Os equipamentos utilizados não possuem partes móveis e são resistentes à corrosão. As leituras aferidas foram normalizadas utilizando-se medidores de temperatura e pressão, que também foram instalados na linha de saída do gás (Figura 1).



Figura 1 – Reator UASB: Instrumentação na linha de biogás.

Obs.: Em destaque são apresentados (1) medidor de vazão de biogás por dispersão térmica; (2) medidor de vazão de biogás do tipo vórtex; (3) medidor de pressão e temperatura do biogás.

O medidor do tipo vórtex foi configurado para fornecer sinais analógicos padrão 4-20 mA, os quais foram monitorados em intervalos de 5 minutos. Os valores mensurados foram transmitidos para um banco de dados (Komvex-Scadaweb) e, posteriormente, tratados em planilhas eletrônicas. No caso do medidor por dispersão térmica, a leitura foi registrada de forma manual. Para mensuração da vazão de esgoto, utilizou-se o medidor ultrassônico de nível instalado na Calha Parshall, seguindo descrito por Duarte *et al.* (2017).

O período de monitoramento utilizado para o presente estudo foi dezembro 2016, janeiro 2017, dezembro 2017 e janeiro 2018. Para comparação dos medidores de vazão foram utilizadas 50 leituras, levantadas nos meses em questão.

Para compilação e apresentação dos resultados, utilizaram-se ferramentas estatísticas, tais como gráficos boxplot, gráficos de dispersão e estatística descritiva. Para comparação dos medidores de vazão de biogás, utilizou-se o teste de t-Student para duas amostras, presumindo média equivalentes, nível de significância $\alpha = 0,05$ e teste bilateral.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise do comportamento da produção de biogás

O comportamento característico da produção de biogás mensal (janeiro de 2017) está apresentado na Figura 2. De modo geral, evidencia-se que a vazão de biogás descreveu curvas padrão com intervalo de aproximadamente 1 dia, tendo vazões máximas e mínimas, apresentando comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário, conforme estabelece Possetti *et al.* (2013). A vazão média de biogás produzido no período avaliado foi de $(18,04 \pm 9,63) \text{ Nm}^3/\text{h}$, com máximo de $79,56 \text{ Nm}^3/\text{h}$ e mínimo de $0 \text{ Nm}^3/\text{h}$, sendo a vazão de esgoto correspondente a $(367,25 \pm 105,12) \text{ L/s}$.

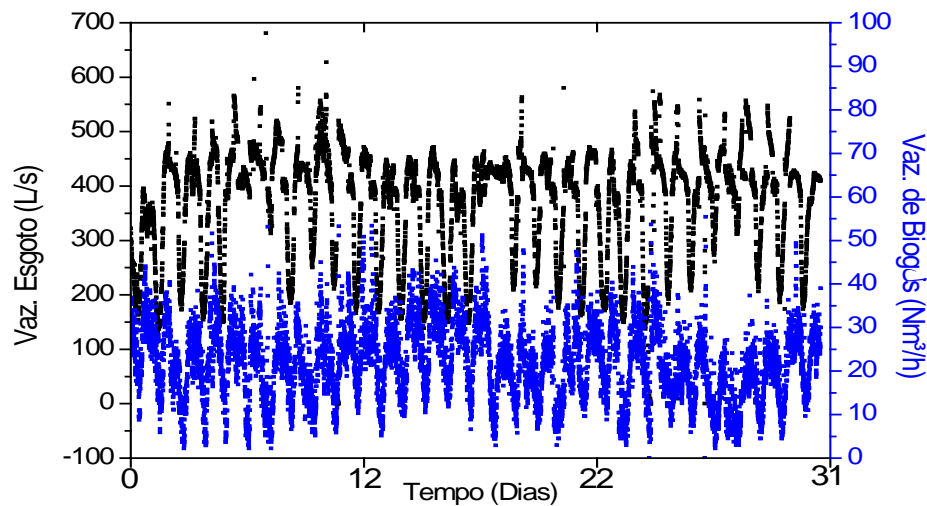


Figura 2 – Curva de Vazão de Biogás (Nm³/h) e vazão de esgoto (L/s) em função do tempo para o intervalo de um mês.

A Figura 3 apresenta o comportamento de três dias contínuos de monitoramento (8, 9 e 10 de janeiro de 2017), relacionando a vazão de esgoto e a vazão de biogás. É perceptível que existe uma grande variação horária dos valores de vazão de esgoto e biogás, conforme relatado por Possetti *et al.* (2013). A vazão média horária de da estação do mês de janeiro 2017 foi de $(26,67 \pm 10,79)$ Nm³/h, com máximo de 66,3 Nm³/h. O valor médio revelou-se inferior a $(21,56 \pm 6,45)$ Nm³/h., reportados por Possetti *et al.* (2013) para a ETE Atuba Sul, que possui 4 reatores tipo UASB, que atendem a 70 L/s cada um.

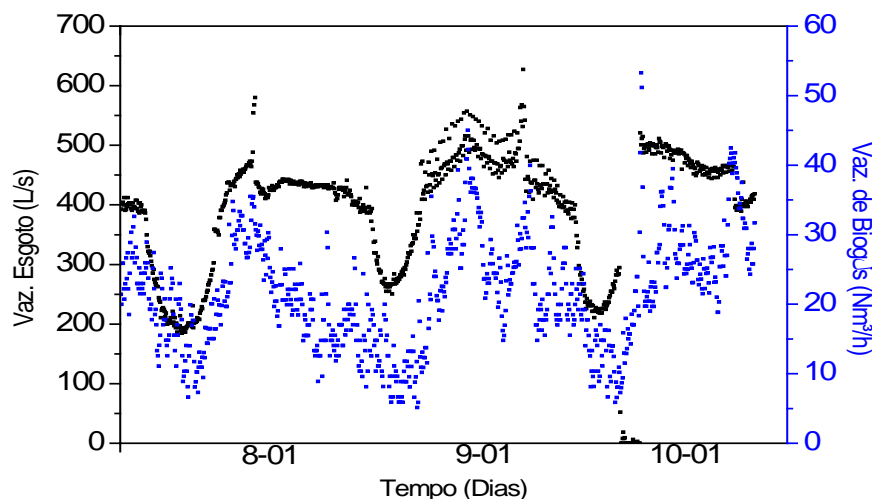


Figura 3 – Curva de vazão de biogás (Nm³/h) e vazão de esgoto (L/s) em função do tempo para um intervalo de 3 dias.

Possetti *et al.* (2013) apresentaram que as vazões máximas de produção do biogás ocorreram tipicamente entre 0 e 2 horas do dia e as vazões mínimas entre 12 e 14 horas. Este comportamento é diferente da curva encontrada no presente estudo. Esta curva apresenta picos definidos em dois instantes do dia, um primeiro entre às 0 e 3 horas e um segundo aproximadamente às 15 horas, com um tempo aproximado entre os máximos de 12 horas (Figura 4), tendo comportamento similar com o relatado por Cabral *et al.* (2017). Para

compreender esta diferença de picos entre as estações, têm-se diversas possíveis explicações, dentre elas pode-se citar a forma da bacia hidrográfica contribuinte para a estação, bem como os hábitos, situação social e econômica da população que ali reside, a configuração e estrutura das tubulações e redes, a presença de extravasores nas ETEs, contribuição de esgoto industrial, dentre outros.

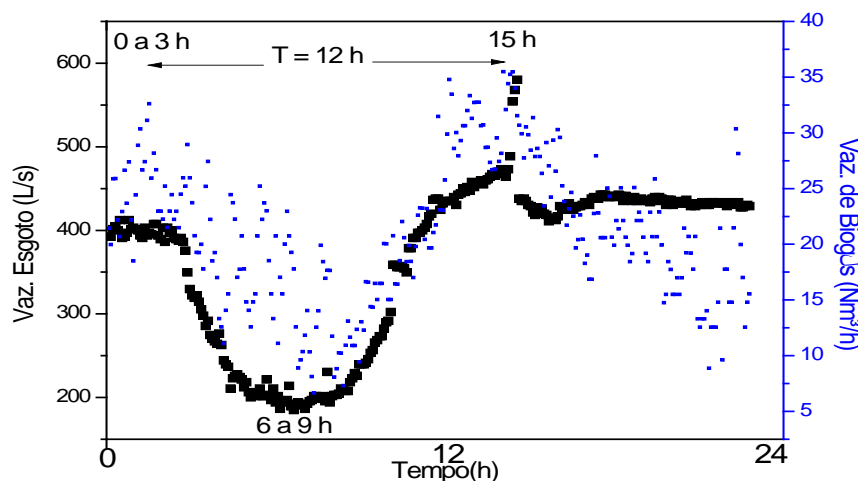


Figura 4 – Curva de vazão de biogás (Nm³/h) e vazão de esgoto (L/s) em função do tempo para um intervalo de 24 horas.

Comparação entre os medidores de vazão de biogás tipo vórtex e tipo dispersão térmica

Na Tabela 1, tem-se a comparação entre a vazão de biogás mensurada por meio do medidor por dispersão térmica e do medidor tipo vórtex. Como pode ser observado, os dois equipamentos forneceram comportamentos semelhantes, indicando uma relação média de 1,17 Vazão dispersão térmica/Vazão vórtex.

Tabela 1 – Resultados das vazões de biogás obtidas através dos medidores de vazão do tipo vórtex e tipo dispersão térmica.

Estatística	Vazão de biogás dispersão térmica (Nm³/h)	Vazão de biogás Vórtex (Nm³/h)
Mínimo	0	0
Média	13,15	11,15
Máximo	25,9	29,6
Desvio padrão	5,22	6,75

OBS: Janeiro 2018 (N: 50 dados).

Com os dados levantados, tem-se que as vazões médias mensuradas com o medidor de vazão do tipo vórtex e tipo dispersão térmica foram de $(13,15 \pm 5,22)$ Nm³/h e $(11,15 \pm 6,75)$ Nm³/h, respectivamente (Figura 5a). O coeficiente de determinação (R^2) foi de 0,8554, (Figura 5b). Além disto, através do teste de t-Student, constatou-se que não houve diferenças significativas entre as medições dos dois equipamentos.

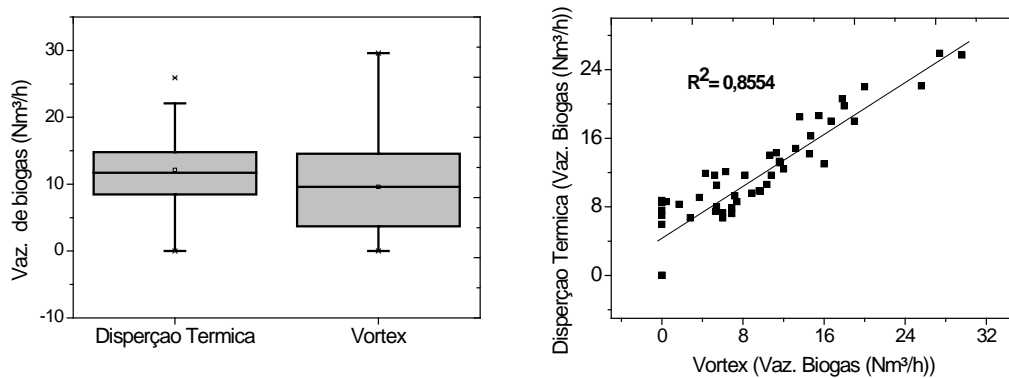


Figura 5 – (a) Comparação entre a vazão média de biogás mensurada pelo medidor tipo vórtex e pelo medidor por dispersão térmica; (b) Apresentação do coeficiente de determinação (R^2).

Observou-se uma maior diferença entre os medidores quando a vazão de biogás ficava próxima de zero, o medidor de vazão tipo vórtex apresentou menor sensibilidade, registrando zero rapidamente, enquanto que o medidor por dispersão tinha um descenso de vazão proporcional até chegar em zero. (FIGURA 6).

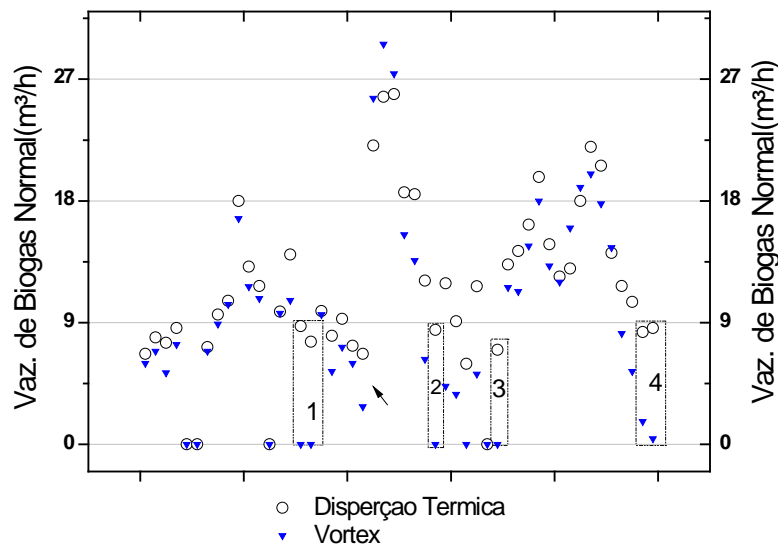


Figure 6 – Comparação das medições feitas pelo medidor de vazão tipo vortex e o medidor de vazão por dispersão térmica.

Comparam-se as diferenças medidas entre os dois equipamentos, separando as medições em dois grupos, valores de vazão menores ou iguais a $9 \text{ Nm}^3/\text{h}$ e outro grupo com valores maiores a $9,1 \text{ Nm}^3/\text{h}$, encontrando-se em média uma diferença de medição de 44%, em cotejo com o 10%, respectivamente. A Figura 6 apresenta os valores das medições feitas utilizando cada medidor, destacando-se os quadros pontilhados, os quais revelam maiores diferenças entre os equipamentos, para vazão de biogás entre (0 e $9 \text{ Nm}^3/\text{h}$). Com os dados levantados, tem-se que as vazões médias mensuradas, para vazões no intervalo de (0 e $9 \text{ Nm}^3/\text{h}$), com o medidor de vazão do tipo dispersão térmica e tipo vórtex foram de $(6,02 \pm 2,57) \text{ Nm}^3/\text{h}$ e $(3,28 \pm 3,02) \text{ Nm}^3/\text{h}$, respectivamente.

Uma explicação para diferença nas vazões poderia ser o princípio de medição de cada equipamento, a sua resolução e a possível propagação das incertezas inerentes da medição de cada equipamento. Como exemplo o valor obtido no vortex depende das medições feitas pelo medidor de temperatura, pelo medidor de pressão e a própria do equipamento, para posterior normalização do valor. Por sua o medidor de dispersão térmica precisa

das relações entre energia e velocidade para calcular a vazão de gás produzido (calibração do equipamento), o fato é que o vortex, tendo uma maior acurácia (própria do princípio de medição), tem uma sensibilidade que não permite mensurar as mudanças quando se acercam ao zero do equipamento, os valores de vazão ficam fora do limite de detecção do equipamento. Contudo, fazem-se necessários estudos mais aprofundados para validar ou não estas afirmações.

Produção de biogás em função do número de habitantes

Atualmente a estação atende uma população de aproximadamente 179.048 habitantes. Sabendo que a produção de biogás média, no período avaliado, para os 3 reatores, é de $(18,04 \pm 9,63) \text{ Nm}^3/\text{h}$, correspondendo a $(432,96 \pm 231,12) \text{ NL/d}$, tem-se que a taxa de produção de biogás *per capita* da estação, no período avaliado, é de $(4,82 \pm 2,38) \text{ NL/hab.d}$, o valor final corresponde para os 6 reatores da estação. Observa-se que o valor obtido é muito inferior ao $9,8 \text{ NL/hab.d}$, reportado por Lobato *et al.* (2011) para a média, porém próximo ao valor mínimo da pior situação. Segundo os autores isto ocorre quando se tem um sistema com potencial energético menor, ou seja, sistemas operando com esgoto mais diluído, concentrações de sulfato maiores, menor eficiência de remoção de DQO e maiores índices de perda de biogás.

CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que o monitoramento da vazão de biogás, em reatores UASB, numa ETE de médio porte, seguem o comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário, conforme reportado na literatura. Contudo, apresentam picos de produção de vazão de biogás diferentes daqueles já relatados em outros estudos, tendo em vista que a vazão de biogás descreveu curvas padrão com período de 24 horas, as vazões máximas ocorreram tipicamente entre às 0 e 3 horas do dia e aproximadamente às 15 horas e as vazões mínimas entre às 6 e 9 horas. Durante o período de estudo, a vazão média de biogás disponibilizada pelos 3 reatores UASB foi de $18,04 \pm 9,63 \text{ Nm}^3/\text{h}$, com máximo de $79,56 \text{ Nm}^3/\text{h}$ e mínimo de $0 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Os resultados da comparação entre as vazões de biogás, utilizando medidor do tipo vórtex e medidor por dispersão térmica, permitiram concluir que existiu uma relação média de 1,17 Vazão dispersão térmica/Vazão vórtex, entre as duas técnicas empregadas, as maiores diferenças nas medições foram quando a vazão de biogás esteve entre $(0 \text{ e } 9) \text{ Nm}^3/\text{h}$. Assim o coeficiente de determinação foi 0,8554, não apresentando diferenças estatísticas significativas, presumindo medias equivalentes.

A produção per capita de biogás obtida, foi na ordem de $(4,82 \pm 2,38) \text{ NL/hab.d}$, valores inferiores ao reportado na literatura.

RECOMENDAÇÕES

A partir da presente pesquisa, desenvolveram-se as seguintes recomendações para estudos futuros:

- 1) Acrescentar leituras, para aumentar a quantidades de dados, que permitam avaliar o uso de sensores nas medições de biogás, levando-se em consideração a qualidade do biogás (composição) gerado a partir de esgoto doméstico, tratado em ETEs que empreguem reatores UASB.
- 2) Avaliar o comportamento da produção de biogás correlacionando com outras variáveis, como, por exemplo, Sólidos Suspensos Totais (SST) do esgoto doméstico, tratado em reatores UASB, visando a menor incerteza na medição do desempenho da estação de tratamento e da produção de biogás.
- 3) Avaliar o comportamento da vazão de biogás, comparando com a carga orgânica (kg DQO/d e kgDBO/d), ao invés da vazão de esgoto, como apresentado neste trabalho;
- 4) Apresentar comparações entre os medidores de vazão citados no estudo após adaptações e melhorias, como por exemplo a inserção de tubulações a térmicas, isto é, que não absorvem calor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e ao Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), pelo financiamento da pesquisa. A Universidade Federal do Paraná (UFPR) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT), pelo apoio demonstrado. A Organização dos Estados Americanos (OEA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C.V. (Coordenador). Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. 1. ed. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. 282 p.
2. ARAUJO, A. F.; SOUZA JÚNIOR, A. M.; SILVA, I. L.; HONÓRIO, R. F.; RODRIGUES, R. L.; LEMOS, T. N. Medição de vazão: conceitos e métodos de medidas. Universidade Estadual de Minas Gerais (UEMG). 2015.
3. CABRAL B. G. C. Avaliação da produção de biogás para fins energéticos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Florianópolis, 2016
4. CABRAL B. G. C., POSSETTI, G. R. C., PLATZER C.J. CHERNICHARO C.A.L., BARJENBRUCH M. Avaliação da produção de biogás em reatores UASB em escala plena tratando esgoto doméstico: correlações a partir de medições em tempo real. 29 ° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.
5. DUARTE H. O.; RIETOW J.C.; POSSETTI, G. R. C.; P. CANTÃO M. P.; AISSE M. M. Comparação da medição da vazão de esgoto na calha parshall de uma ETE realizada por meio de medição manual e por medidor ultrassônico, I Congresso Internacional de Engenharia de Saúde Pública e de Saúde Ambiental (CIESA). Belém, Para, Brasil, 2017.
6. HILLER, E. R.; FRANCO, M. G.; SECCO, T. R. Protótipo de medidor de vazão por balanço térmico. Trabalho Final – Disciplina Medições térmicas, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2010.
7. LOBATO, L. C. S. Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em Reatores UASB Tratando Esgoto Doméstico. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais UFMG, Minas Gerais, 2011.
8. NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J. E. Treatment of biogas produces in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy/resource recovery. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, v. 5, p. 93-114, 2006.
9. POSSETTI, G. R. C.; JASINSKI, V. P.; MESQUITA, N. C.; KRIGUEL, K.; CARNEIRO, C. Medições em tempo real do biogás produzido em reatores UASB alimentados com esgoto doméstico. In: 27° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013, Goiânia - GO. Anais Eletrônicos do 27° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro - RJ: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 2, p. 1-6. 2013.
10. SILVA, T. C. F.; RIETOW, J. C.; COELHO, S. T.; POSSETTI, G. R. C. Utilização do biogás proveniente do tratamento do esgoto doméstico para geração de eletricidade. In: 10° Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural - AGRENER GD, São Paulo - SP. Anais do AGRENER GD 2015. p. 1-10. 2015.