

**II-381 - CARACTERIZAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA DO BIOGÁS, E SUAS
RELAÇÕES COM O COMPORTAMENTO TEMPORAL DA CARGA
ORGÂNICA, EM REATORES UASB, EM ESCALA PLENA, NO TRATAMENTO
DO ESGOTO SANITÁRIO, EMPREGANDO EQUIPAMENTOS DE
MEDIÇÃO ONLINE**

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: oranduhel1@gmail.com

RESUMO

Uma tecnologia bastante empregada para o tratamento de esgoto sanitário é o reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Dos subprodutos do reator, o biogás vem merecendo estudos referentes a sua caracterização e produção. O trabalho teve como objetivo a caracterização quali-quantitativa do biogás, e suas relações com o comportamento temporal da carga orgânica, em reatores UASB, em escala plena, no tratamento do esgoto sanitário, empregando equipamentos de medição. O trabalho foi conduzido em uma ETE de médio porte, localizada na cidade de Curitiba-PR, a qual conta com uma vazão contribuinte média de aproximadamente 320 L/s. Os equipamentos utilizados foram o sensor ultrassônico na medição de vazão de esgoto, o sensor de espectroscopia UV-Vis (sonda) na medição da DQO, os sensores de medição, quantitativa e qualitativa, do biogás (dispersão térmica, infravermelho não dispersivo, eletroquímico). Os resultados foram analisados por meio da estatística descritiva, foi usado o método de Spearman para avaliar as correlações entre os parâmetros. O período de monitoramento correspondeu a duas campanhas, de 3 dias contínuos (72 h), nos meses de agosto e setembro de 2018. Durante o período de estudo, a carga orgânica média removida foi de $(11.269 \pm 6.311) \text{ kg d}^{-1}$, a vazão média de biogás disponibilizada pelos reatores UASB foi de $(37,10 \pm 11,54) \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$, a composição de Biogás foi para metano (CH_4) $(82,83 \pm 4,02) \% \text{ v/v}$, dióxido de carbono (CO_2) $(3,26 \pm 2,18) \% \text{ v/v}$ e sulfeto de hidrogênio (H_2S) $(4029,96 \pm 828) \text{ ppm}$. A carga orgânica removida, apresentou uma correlação positiva com o vazão de biogás e concentração do CH_4 , mas não teve influência significativa quando

comparada com os demais fatores, nesse período. Constou-se uma relação negativa entre as concentrações de CH_4 e H_2S

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Espectroscopia UV/VIS, Sensores de Composição de Biogás, Sensor de DQO.

INTRODUÇÃO

O tratamento do esgoto, em regiões de clima quente, tem como destaque a liderança da tecnologia anaeróbia e a utilização de reatores de fluxo ascendente e manta de lodo (reatores UASB) para o tratamento de esgotos doméstico. Von Sperling e Oliveira (2009), Noyola *et al.* (2012), Chernicharo *et al.* (2015) reconhecem grandes vantagens do sistema, pois essa característica possibilita redução de custos de funcionamento, operação e manutenção da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), bem como possibilita menor investimento.

Os reatores UASB são caracterizados pela boa eficiência na remoção de matéria orgânica e de sólidos, com baixo consumo de energia e sem a necessidade do uso de produtos químicos. A estrutura desses reatores consiste basicamente de um tanque, onde na parte inferior tem-se uma camada de lodo biológico e na parte superior estão vinculados um decantador e um defletor dos gases formados. Com o funcionamento adequado, ocorre a tendência de uma separação das fases sólida, líquida e gasosa (LETTINGA *et al.*, 1983; CHERNICHARO *et al.*, 1999). Para os autores, dentre os principais parâmetros relacionados ao projeto dos reatores UASB, podem-se citar a carga hidráulica volumétrica (CHV), o tempo de detenção hidráulica (TDH), a carga orgânica volumétrica (COV) e a velocidade superficial de fluxo.

Muitos trabalhos têm sido feitos expressando ou comparando COV médias com as eficiências em reatores UASB, tratando esgoto sanitário. No Brasil, Aisse *et al.* (2002), Von Sperling e Oliveira (2009), Chernicharo *et al.* (2015) encontraram valores de $1,80 \text{ kg DQO m}^3.\text{d}^{-1}$, para um tempo de detenção hidráulico de 8 horas. Aisse *et al.* (2002) mencionam o valor da DQO de $(151 \pm 64) \text{ mg L}^{-1}$ medido no efluente, para um reator UASB tratando esgoto sanitário. Considerando no afluente o valor de $(453 \pm 147) \text{ mg L}^{-1}$, os autores obtiveram uma eficiência de remoção de DQO de 67 %.

A fase gasosa inerente ao tratamento de esgoto, em reatores UASB, apresenta-se, como uma grande vantagem, destacando-se a produção de biogás e seu elevado teor de metano. O biogás de reatores UASB, que tratam esgotos sanitários, apresenta em sua composição metano (70 a 80) %, nitrogênio (10 a 25) %, dióxido de carbono (5 a 10) % e concentrações de (1000 a 2000) ppm de H_2S (NOYOLA *et al.*, 2006). A proporção entre esses componentes depende do tipo de tratamento biológico e do substrato utilizado, que pode ser resíduo sólido urbano, esgoto doméstico, lodo de tratamento de esgoto, dejetos animais, dentre outros (VENKATESCH & ELMI, 2013).

O metano encontra-se, associado aos gases de efeito estufa, tendo um potencial de aquecimento global (PAG) do CH_4 é 28 vezes superior ao CO_2 ; assim, a combustão do CH_4 para produzir energia pode reduzir a tonelada de CO_2eq lançado para a atmosfera (IPCC, 2014). A geração de energia elétrica a partir do biogás é uma alternativa com grande potencial de expansão no Brasil. Em relação à produção de biogás, o proposto por Lobato *et al.* (2012) tem sido muito utilizado por pesquisadores e gestores de ETEs. Os autores salientam taxas de produção de biogás entre 9,8 a $17,1 \text{ NL hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Possetti *et al.* (2013), Waiss e Possetti (2015) e Cabral *et al.* (2017) constataram uma relação direta entre aumento da vazão de esgoto afluente e a ocorrência de chuvas, com a consequente diminuição do TDH e da produção de biogás. Para Possetti *et al.* (2018) a contribuição parasitária de águas pluviais ocasiona a diluição do esgoto (incremento de vazão e redução da concentração de DQO) e, consequentemente, tem impacto significativo na redução da produção de biogás.

À crescente demanda urbana por energia elétrica, que requer fontes alternativas, faz necessário um conhecimento mais aprofundado do comportamento temporal do biogás gerado em ETEs anaeróbias, ainda pouco aproveitado no Brasil. Novas tecnologias surgindo no mercado, sobretudo aquelas vinculadas às áreas de eletrônica e sensoriamento remoto, possibilita a realização de medições in loco e em tempo real da produção de biogás em reatores UASB.

Nesse contexto, este artigo objetiva apresentar o comportamento temporal de parâmetros como vazão de esgoto, carga orgânica, vazão de biogás, composição de biogás e suas relações, em uma ETE que opera com reatores anaeróbios UASB em escala plena, medidas através de sensores online.

MATERIAIS E MÉTODOS

Estação de Tratamento de Esgotos

Os estudos foram realizados em uma ETE de médio porte, localizada na cidade de Curitiba-PR, com capacidade para tratar o esgoto de uma população de 200 mil habitantes. A ETE possui como fluxograma o tratamento preliminar do esgoto (gradeamento manual de 20 mm, gradeamento mecanizado de 3 mm, desarenador e Calha Parshall), bem como o tratamento biológico em seis reatores UASB, com capacidade nominal de 70 L/s cada. Posteriormente, duas lagoas uma aerada e outra de sedimentação para o pós-tratamento do efluente. Sendo utilizado um queimador enclausurado que capta e queima o biogás produzido por os 6 reatores.

A ETE tem instalados os equipamentos necessários para analisar o comportamento e algumas variáveis físico-químicas do esgoto e biogás (Figura 1). Os equipamentos usados na pesquisa, foram, medidor de vazão de esgoto, o medidor da concentração de DQO do esgoto (sonda), o medidor de vazão de biogás e o analisador de qualidade de biogás.

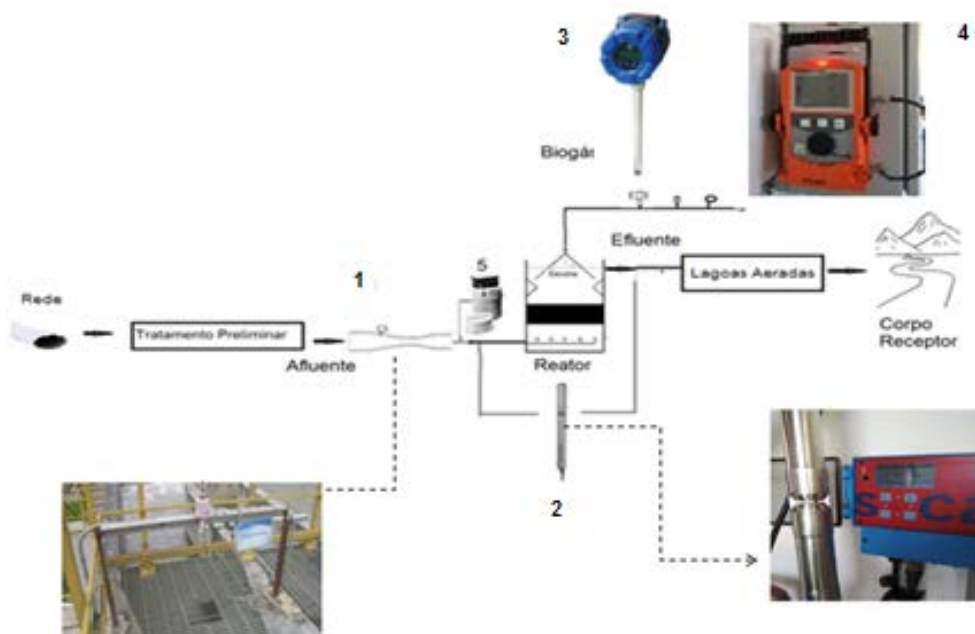


FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DA FASE LÍQUIDA E LOCALIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DA MEDIÇÃO NA ETE

OBS: (1) Medidor de Vazão de Esgoto; (2) Medidor de Concentração de DQO; (3) Medidor de Vazão de Biogás; (4) Analisador de Qualidade de Biogás.

Instrumentação

Medidor de Vazão de Esgoto

A ETE possui um medidor ultrassônico da marca Nivetec, modelo SPA 390, série Easy Treck, com resolução de $\pm 0,2\%$ e saída com sinais analógicos padrão 4-20 mA, o qual está localizado na Calha Parshall da entrada na ETE.

Medidor da Concentração de DQO do esgoto (Sonda)

O sistema de medição de DQO, da marca S::can, modelo Carbolyser, é composto por uma sonda e a unidade controladora. O sistema possibilita determinação de concentrações entre 100 e 3.500 mg DQO L⁻¹, por meio de espectrometria UV/VIS. A medição é realizada por meio da diferença entre a intensidade ótica emitida por uma lâmpada (que fica dentro da janela de medição) e a intensidade ótica que chega ao detector após passar pelo esgoto. O sistema de medição (sonda) tem um comprimento de 0,6 m e 44 mm de diâmetro, trabalha com comprimentos de onda entre 200 nm e 750 nm e utiliza uma lâmpada de xênon.

Medidor de Vazão de Biogás

Para monitoramento da vazão de biogás, foi utilizado um transmissor por dispersão térmica Magnetrol modelo Thermathel TA2, aparelho formado, basicamente, por dois sensores de temperatura (inseridos no fluxo de gás) e um aquecedor. A energia necessária para manter o sensor aquecido a uma temperatura constante é diretamente proporcional a velocidade do gás, daí são feitas as relações entre energia e velocidade para calcular a vazão de gás produzido. O equipamento encontra-se instalado na linha de coleta do biogás para queima.

Analizador de Qualidade de Biogás

O Analizador de Biogás Multitec® BioControl da Sewerin é um sistema de medição único composto por uma unidade fixa e um dispositivo de medição portátil, recebendo as amostras de biogás coletado da linha do queimador. O analisador de biogás utiliza sensores infravermelhos seletivos para a medição do CH₄ (0,0 a 100) % v/v, CO₂ (0 a 100) % v/v, e utiliza sensores eletroquímicos para os gases O₂ (0 a 25) % v/v e H₂S (0 a 5000) ppm.

Os valores coletados foram transmitidos para um banco de dados e, posteriormente, tratados em planilhas eletrônicas. O período de monitoramento correspondeu a duas campanhas, de 3 dias contínuos (horaria), nos meses de agosto e setembro do 2018. Utilizou-se o método de correlação de Spearman para avaliar as relações entre os parâmetros, para um nível de significância de 0,05.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Carga Orgânica

Na Figura 2 pode-se observar o comportamento horário da carga orgânica (kg d⁻¹), calculada da relação das medidas dos sensores ultrassônico e o espectrômetro (Sonda). A sonda foi usada para mensurar a DQO (mg L⁻¹) do afluente e do efluente do reator, reportaram as DQO médias do afluente iguais a (809 ± 1573) mg L⁻¹ e efluente (419 ± 59) mg L⁻¹. As vazões médias de esgoto foram (313 ± 107) L/s. Portanto, a carga orgânica do afluente dos reatores foi de (22.434 ± 10.025) kg d⁻¹ e a carga orgânica no efluente foi de (11.515 ± 4.100) kg d⁻¹.

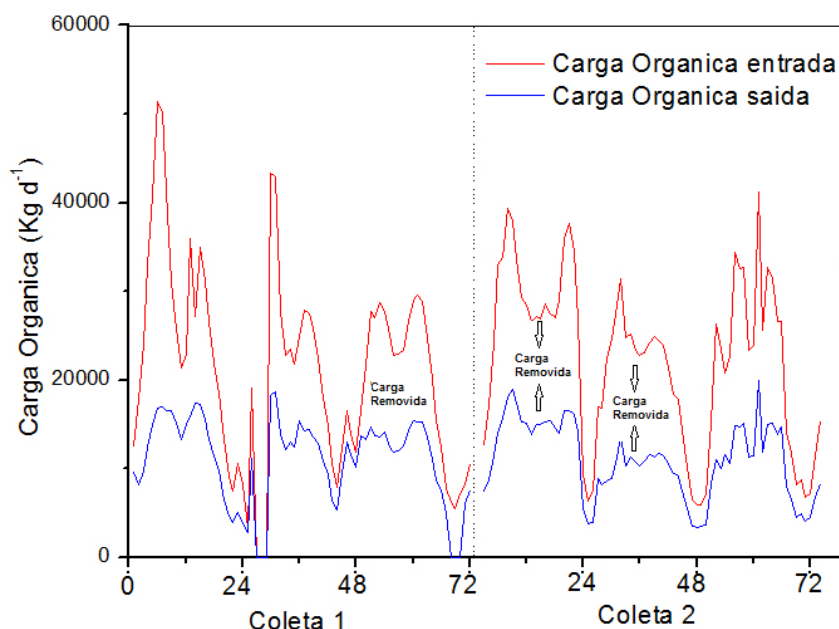


FIGURA 2 – CURVAS DE CARGA ORGÂNICA (kg d⁻¹)

Os reatores UASB apresentaram eficiência média de remoção de DQO de $(46,92 \pm 9,66) \%$ e a carga orgânica média removida foi de $(11.269 \pm 6.311) \text{ kg d}^{-1}$. Logo, as eficiências de remoção, encontraram-se abaixo dos valores reportados por Aisse *et al.* (2002), Oliveira e Von Sperling (2011). A carga orgânica removida, apresentou-se similar da média obtida por Bilotta e Ross (2016), para uma ETE de porte equivalente. Já a carga orgânica volumétrica aplicada nos reatores UASB foi de $1,88 \text{ kg DQO m}^3\text{d}^{-1}$, o qual está de acordo com os valores relatados por Lettinga *et al.* (1983), Aisse *et al.* (2002), Von Sperling e Chernicharo (2005), Noyola *et al.* (2012).

Produção e Caracterização do Biogás

Na Figura 3 apresenta-se o comportamento entre a carga orgânica removida (kg d^{-1}) e a vazão de biogás ($\text{Nm}^3 \text{h}^{-1}$) produzida na ETE. As duas curvas apresentam comportamentos temporais que podem ser utilizados para justificar a produção de biogás, corroborando com o descrito por Possetti *et al.* (2013) e Cabral *et al.* (2017). Nesse contexto, os valores de vazão de biogás foram $(37,10 \pm 11,54) \text{ Nm}^3 \text{h}^{-1}$, com valor máximo de $63,72 \text{ Nm}^3 \text{h}^{-1}$.

Na Figura 4 são apresentados os comportamentos das concentrações horárias do biogás (qualidade) e os histogramas dessas medições. Os valores coletados, foram para metano (CH_4) $(82,83 \pm 4,02) \%$ v/v, dióxido de carbono (CO_2) $(3,26 \pm 2,18) \%$ v/v e sulfeto de hidrogênio (H_2S) $(4028,96 \pm 828) \text{ ppm}$. Apesar de o equipamento ser capaz de mensurar os teores de oxigênio (O_2), decidiu-se não apresentar os valores no gráfico, porque teve um valor constante de zero $\%$ v/v. Para completar o 100% v/v na composição do biogás, atribuiu-se que a diferença corresponde ao nitrogênio (N_2) $(\sim 12,02) \%$ v/v, conforme propõe Noyola *et al.* (2006), atribuído ao gás dissolvido no esgoto e removido na fase gasosa do reator.

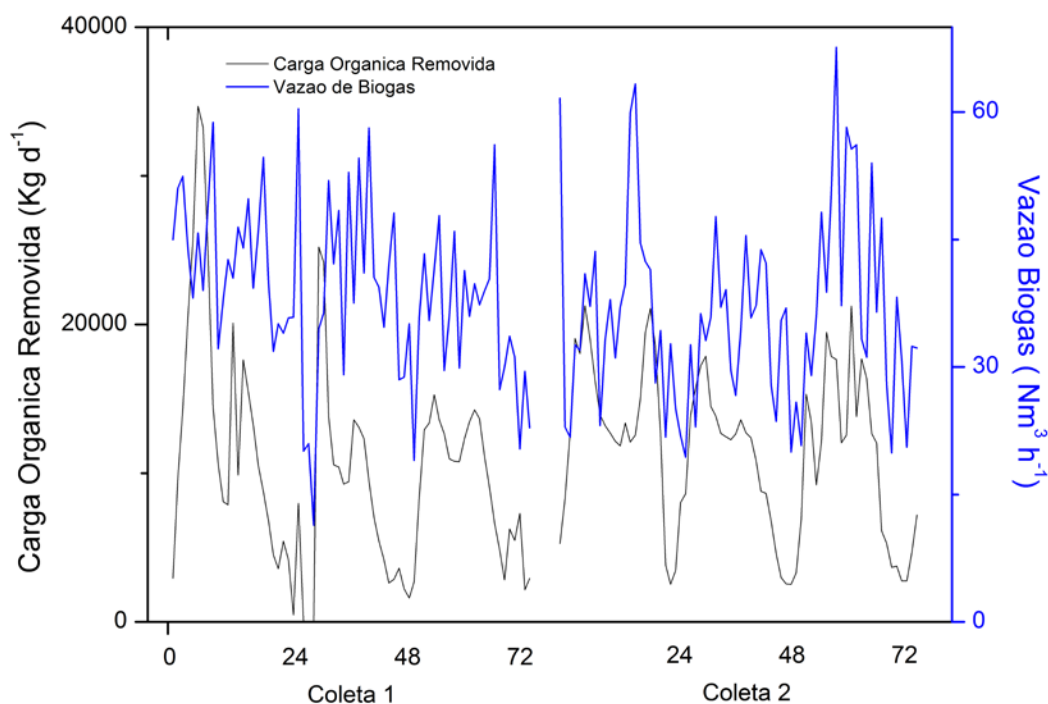


FIGURA 3 – CURVA DE CARGA ORGÂNICA REMOVIDA (kg d^{-1}) E CURVA DE VAZÃO DE BIOGÁS ($\text{Nm}^3 \text{h}^{-1}$) EM FUNÇÃO DO TEMPO.

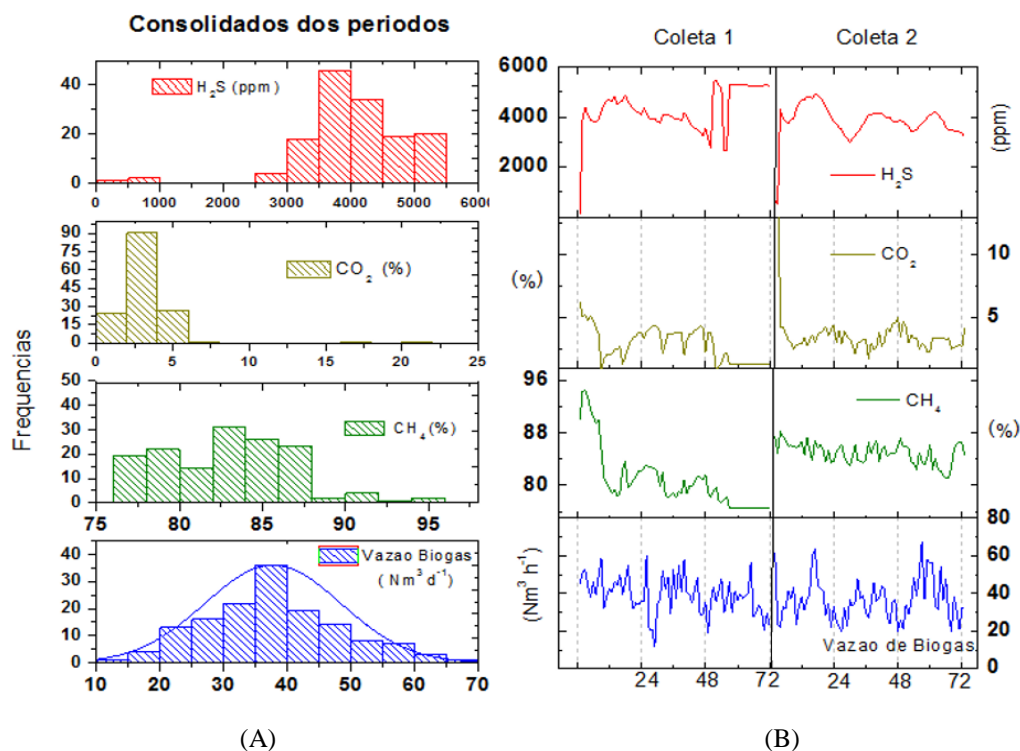


FIGURA 4 – COMPORTAMENTO DAS CONCENTRAÇÕES HORÁRIAS DO BIOGÁS (QUALIDADE) E OS HISTOGRAMAS DESSAS MEDIÇÕES.

OBS: (A) Distribuição dos dados de H_2S , CO_2 , CH_4 e Vazão de Biogás para os dois períodos avaliados; (B) Comportamento temporal do H_2S , CO_2 , CH_4 e Vazão de Biogás para os dois períodos avaliados.

Na Figura 4A constata-se os histogramas para as diferentes grandezas mensuradas, no caso do H_2S 3000 ppm e 5500 ppm representaram os valores mais comuns para o período avaliado. A sua vez na figura 5B na coleta 2, observou-se o comportamento periódico do H_2S , pode-se aproveitar estas informações para adequar por exemplo os sistemas de dosagem de químicos para controlar odor próprio das ETE anaeróbicas, aumento a dosagem por exemplo perto dos horários onde, espera-se maiores concentrações de H_2S . No entanto, para um aproveitamento do biogás com fins energéticos, faz-se necessário o tratamento do gás.

O dióxido de carbono encontra-se, dentro dos valores reportados por Noyola *et al.* (2006) a distribuição dos dados coletados foi assimétrico a esquerda, mostrando-se só dois dados de 17 % v/v e 21 % v/v.

Para o metano, as duas coletas não apresentam similitudes, a primeira coleta identificou-se valores acima de 90%, mínimo de 77,56%, na segunda coleta as medições ficaram perto de 85%. Pode-se mencionar uma série de dados agrupados no intervalo de (80 e 87) %. Isto pode ocorrer a partir de mais de uma condição, podendo afetar a condição metrológica, conforme ao descrito por Possetti *et al.* (2013) e Cabral *et al.* (2017).

A vazão de biogás apresentou uma distribuição relativamente simétrica, tendo a maior frequência de leituras quando o equipamento mensurou entre (60 e 80) Nm^3d^{-1} , valores chave por exemplo para a compra e instalação de um queimador ou a possível instalação de um gasômetro para armazenamento do biogás gerado na estação.

Quando comparada a carga orgânica removida, com os parâmetros, vazão de biogás, percentual de CH_4 , percentual CO_2 , concentração de H_2S , constatou-se que a carga orgânica esta correlacionada positivamente com a vazão de biogás e com o percentual do CH_4 , os coeficientes de Spearman, obtidos foram, 0,3001 e 0,2831 respectivamente. Assim, verificou-se que não existem influências diretas entre a carga removida com o percentual de CO_2 e a concentração de H_2S . Também, evidenciou-se uma relação negativa entre o percentual de CH_4 e a concentração do H_2S , o que indica que, conforme a concentração de CH_4 aumenta, a concentração de H_2S diminui, sendo o coeficiente de spearman de -0,4000.

Produção específica de biogás

Atualmente, a estação atende uma população de aproximadamente 179.048 habitantes, sabendo que a produção de biogás média, no período avaliado, para os 6 reatores UASB, foi de $(37,10 \pm 11,54) \text{ Nm}^3 \text{ h}^{-1}$, tem-se que a taxa de produção de biogás *per capita* da ETE foi de $(4,97 \pm 1,54) \text{ NL hab.d}^{-1}$. A taxa de produção de biogás por carga removida foi de $(79,02 \pm 43,90) \text{ NL kg}^{-1} \text{ DQO}$.

As relações unitárias obtidas para a ETE estudada, apresentam-se próximos aos valores mínimos da pior situação, reportado por Lobato *et al.* (2012).

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados revelaram o comportamento de diferentes parâmetros do meio líquido como a carga orgânica de entrada, carga orgânica de saída e carga orgânica removida de uma ETE, dotada de reatores UASB operando em escala plena, além da produção de biogás, apontando de maneira realista o comportamento horário e ao longo de três dias.

Foram relatados os valores médios horário do período avaliado de DQO do esgoto afluente, DQO do esgoto efluente, vazão de esgoto, vazão de biogás e composição de biogás.

A carga orgânica removida, apresentou uma correlação positiva com o vazão de biogás e concentração do CH_4 , mas não teve influência significativa quando comparada com os demais fatores, nesse período. Constatou-se uma relação negativa entre as concentrações de CH_4 e H_2S

A produção *per capita* de biogás obtida, foi em média igual a $(4,97 \pm 1,54) \text{ NL hab.d}^{-1}$ valores inferiores ao reportado na literatura. Os valores de composição de biogás, encontram-se dentro dos valores mencionados por Noyola *et al.* (2006), resultando o H_2S no limite superior do reportado na literatura.

RECOMENDAÇÕES

A partir do presente estudo desenvolveram-se as seguintes recomendações para estudos futuros,

- Avaliar as medições de composição de biogás obtidos nos equipamentos, comparando com a técnica de cromatografia gasosa em laboratório;
- Determinar a influência da precipitação pluviométrica na composição do biogás, em reatores UASB operando com esgoto doméstico;
- Realizar o plano de manutenção preventiva de todos os equipamentos, preferivelmente, elaborado em forma de roteiro, para que todas as áreas envolvidas com a manutenção possam realizar as tarefas de forma padronizada.

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). A Universidade Federal do Paraná (UFPR), a Universidade Nacional Experimental do Tachira (UNET) e o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações de Tratamento de Esgoto Sustentáveis (INCT ETES Sustentáveis) 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. AISSE, M. M.; LOBATO, M. B.; JÜRGENSEN, D.; ALÉM SOBRINHO, P. Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. (Treatment of Anaerobic Effluents with Discharge of Aerobic Sludge to the UASB Reactor) In: VII Taller e Simpósio Latino Americano sobre Digestion Anaerobia. Merida, Mexico. 2002.
2. 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 Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, 21(2):275-282, na página 280. DOI: 10.1590/S1413-41522016141477
3. CABRAL, B. G. C.; POSSETTI G.R., PLATZER, C. J.; BARJENBRUCH, M. CHERNICHARO C.A.L. Avaliação da produção de biogás em reatores UASB em escala plena tratando esgoto doméstico: correlações a partir de medições em tempo real. 29º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.
4. CHERNICHARO, C.; VAN HAANDEL A.; AISSE, M.; CAVALCANTI, P. Reatores anaeróbios de manta de lodo. In: CAMPOS J (coord.). PROSAB. Rio de Janeiro ABES, p.55-198. 1999.
5. CHERNICHARO C. A. L VAN LIER J. B. NOYOLA A, BRESSANI RIBEIRO T., Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. Rev. Environ Sci. Biotechnol., 14:649–679, 2015.
6. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014
7. LETTINGA, R. ROERSMA, e P. GRIN. Anaerobic treatment of raw domestic sewage at ambient temperatures using a granular bed UASB reactor. Biotechnol Bioeng., 25(7), 1701-23, 1983.
8. LOBATO, L. C., CHERNICHARO, C. A., SOUZA, C. L. Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater. Water Science & Technology, v. 66, n. 12, p. 2745-2753, 2012.
9. NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J.M.; LÓPES-HERNÁNDEZ, J.E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy /resource recovery. Reviews in Environmental Science and Biotechnology. V. 5, p. 93– 114, 2006.
10. NOYOLA, A.; PADILLA-RIVERA A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M. L.; GU ERECA, L.P.; HERNANDEZ-PADILLA, F. Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America. Clean – Soil, Air, Water, 40 (9), 926–932, 2012.

11. OLIVEIRA, S.M.A.C., VON SPERLING, M. Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in a developing country. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 1 (1). pp. 37-56, 2011.
12. 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: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013, Goiânia - GO. *Anais Eletrônicos do 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro - RJ: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. v. 2, p. 1-6. 2013.
13. POSSETTI, G. R. C., RIETOW, J.C., COSTA, F.J.O.G., WAGNER, L.G., LOBATO, L. C. S., BRESSANI-RIBEIRO, MELO, D. F, REIS, J.A, CHERNICHARO, C. A. L. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 5: Biogás e emissões fugitivas de metano. *Revista DAE – edição especial*, v. 66, n. 214, p. 73-89, 2018.
14. WAISS, T.C.F.; POSSETTI, G.R.C. Influência de eventos de chuva na produção de biogás de reatores anaeróbios alimentados com esgoto doméstico. In: *Anais do 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2015.
15. VENKATESCH, G. & ELMI, R.A. Economic–environmental analysis of handling biogas from sewage sludge digesters in WWTPs (wastewater treatment plants) for energy recovery: Case study of Bekkelaget WWTP in Oslo (Norway). *Energy*, v. 58, p.220-235, 2013.
16. VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C.A.L. *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions*. v.1, Londres: DESA / IWA Publishing, 2005.
17. VON SPERLING, M., OLIVEIRA, S.M.A.C. Comparative performance evaluation of full-scale anaerobic and aerobic wastewater treatment processes in Brazil. *Water Science and Technology*, 59 (1). pp.15-22. 2009