

II-106 - MEDIÇÕES EM TEMPO REAL DO BIOGÁS PRODUZIDO EM REATORES UASB ALIMENTADOS COM ESGOTO DOMÉSTICO

Gustavo Rafael Collere Possetti⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Paraná e Engenheiro Eletricista pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Ciências e Doutor em Ciências pela UTFPR. Engenheiro da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná.

Vanessa Pereira Jasinski

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela FAE Centro Universitário. *Trainee* para Analista Ambiental do Grupo Index – Divisão Ambiental. Ex-estagiária da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná.

Nilton César Mesquita

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Paraná. Pós-Graduado em redes de computadores pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Engenheiro de Manutenção Eletromecânica da Companhia de Saneamento do Paraná.

Karina Kriguel

Técnica em Química Industrial pelo Centro Estadual de Educação Profissional de Curitiba. Tecnóloga em Processos Ambientais pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Técnica Química da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná.

Charles Carneiro

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciências do Solo e Doutor em Geologia Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Gerente da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Companhia de Saneamento do Paraná. Professor do Curso de Pós-Graduação em Economia e Meio Ambiente da UFPR.

Endereço⁽¹⁾: Rua Engenheiros Rebouças, 1376, Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento, Companhia de Saneamento do Paraná - Rebouças - Curitiba - PR - CEP: 80215-100 - Brasil - Tel: +55 (41) 3330-3375 - Fax: +55 (41) 3333-9952 - e-mail: gustavorcp@sanepar.com.br

RESUMO

Neste artigo é apresentado um estudo sobre medições de vazão, teor de metano, temperatura e pressão manométrica do biogás oriundo de 4 reatores UASB de grande porte alimentados com esgoto doméstico. Essas medições foram realizadas em tempo real, em condições de guiamento passivo e durante 6 meses. Os resultados obtidos indicaram que a produção e o desprendimento do biogás nos reatores UASB investigados seguiram um comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário, o qual foi influenciado por eventos de chuva e pelas características físicas e químicas do esgoto bruto. De modo geral, a vazão de biogás descreveu curvas padrão com período de aproximadamente 1 dia, sendo que as vazões máximas ocorreram tipicamente entre 0 e 2 horas e as vazões mínimas entre 12 e 14 horas. A vazão média de biogás disponibilizada pelos reatores UASB foi de $(21,56 \pm 6,45)$ Nm³/h, valor aproximadamente 53 % menor que aquele estimado com base nas propriedades físicas e químicas do meio líquido. Além disso, constatou-se que o teor de metano, a temperatura e a pressão manométrica do biogás também seguiram um comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário. A temperatura do biogás foi aproximadamente igual a temperatura ambiente. Por sua vez, a pressão manométrica do biogás no interior dos tubos de condução e na câmara de gás de um dos reatores UASB analisados foi aproximadamente igual a pressão atmosférica. O teor de metano presente no biogás foi, em média, $(59,76 \pm 4,48)$ % v/v, indicando que a potência química média disponível para aproveitamento energético foi da ordem de 128 kW e que a taxa média de emissão de gases de efeito estufa sem recuperação foi de aproximadamente 0,19 tonCO₂eq/h. Esses resultados fornecem parâmetros para verificação da viabilidade técnica e financeira inerente à recuperação energética do biogás produzidos em reatores UASB, assim como servem de referência para inventários de emissões de gases do efeito estufa.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Reator UASB, Medição em Tempo Real.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o tratamento do esgoto doméstico por meio de reatores anaeróbios, em especial dos reatores de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB, *upflow anaerobic sludge blanket*), disseminou-se no Brasil [1]. Isso aconteceu porque o tratamento anaeróbio do esgoto é caracterizado pelas reduzidas demanda de área e produção de sólidos, pelo baixo consumo de energia, pelo reduzido custo de implantação e pela possibilidade de operação com elevados tempos de retenção de sólidos e baixos tempos de detenção hidráulica [1]. Além disso, o tratamento anaeróbio do esgoto possibilita a obtenção de subprodutos com potencial de reaproveitamento, tais como o lodo, que pode ser empregado como fertilizante agrícola, e o biogás, um composto combustível que pode ser utilizado para fins energéticos. Nesse sentido, os reatores anaeróbios podem ser entendidos como sistemas integrados de proteção ambiental, uma vez que permitem a conciliação do tratamento do esgoto com a recuperação e o reúso de seus subprodutos [1,2].

O biogás oriundo de reatores UASB é prioritariamente composto por metano, nitrogênio e gás carbônico [3]. Em menores proporções ainda podem ser encontrados sulfeto de hidrogênio, hidrogênio, oxigênio, monóxido de carbono, amônia e compostos orgânicos voláteis [3]. 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. Em condições normais de temperatura e pressão a massa específica do metano é $0,717 \text{ kg/m}^3$ e seu poder calorífico inferior é 50 MJ/kg [3]. Dessa maneira, o teor de metano define a quantidade de energia que pode ser extraída do biogás. Adicionalmente, o metano é um gás indutor do efeito estufa, com potencial de aquecimento global 21 vezes superior àquele do dióxido de carbono. Por isso, a recuperação do biogás tem sido promovida com o intuito de minimizar impactos ambientais e de conceber soluções energéticas renováveis [4].

Apesar do uso do biogás estar amplamente fundamentado na literatura [3,4], poucos estudos sobre sua caracterização qualitativa e quantitativa foram até então reportados, sobretudo para reatores UASB em escala real alimentados com esgoto doméstico. Isso porque a natureza do biogás impõe dificuldades de medição e porque grande parte dos métodos analíticos disponíveis para tal são morosos e dispendiosos. Além disso, esses métodos, normalmente, demandam coletas de amostras em campo, bem como a realização de ensaios laboratoriais. No entanto, os recentes avanços nas áreas de sensoriamento e de eletrônica têm disponibilizado ferramentas capazes de medir *in-locu* e em tempo real o biogás produzido em reatores UASB [5,6], possibilitando estabelecer as diretrizes de seu manejo com maior exatidão.

Nesse contexto, este trabalho reporta os resultados das medições de vazão, teor de metano, temperatura e pressão manométrica do biogás oriundo de 4 reatores UASB alimentados com esgoto doméstico, as quais foram realizadas em tempo real, durante 6 meses, em uma estação de tratamento de esgoto (ETE) de grande porte.

METODOLOGIA

As medições em pauta foram executadas em Curitiba-PR, nas instalações da ETE Atuba Sul, a qual possui capacidade para tratar, atualmente, até 1.120 L/s de esgoto doméstico em reatores UASB. Nestes reatores, o biogás que se desprende do meio líquido é coletado e guiado até queimadores por meio de tubos de polietileno e de ferro fundido dúctil. A ETE Atuba Sul possui 16 reatores UASB igualmente distribuídos em 4 linhas, sendo que cada reator tem capacidade para tratar até 70 L/s de esgoto. Em cada uma das linhas há um conjunto de tubos coletores e condutores de biogás, além de um queimador. As medições de biogás foram realizadas no trecho final dos tubos condutores de biogás de uma dessas linhas (linha 2), em uma seção com diâmetro interno de aproximadamente 200 mm , de forma a mensurar o biogás disponibilizado por 4 reatores UASB, em condições de guiamento passivo.

Os seguintes parâmetros inerentes ao biogás foram medidos: vazão, teor de metano, temperatura e pressão manométrica. A temperatura e a vazão do biogás foram mensuradas com um transmissor por dispersão térmica *Thermathel*[®] (TA2, Magnetrol), com resoluções de $5,6 \text{ Nm}^3/\text{h}$ e $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, exatidões de $\pm 1,0 \text{ Nm}^3/\text{h}$ e $\pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e repetibilidades de $\pm 0,5 \%$ da leitura. Por sua vez, o teor de metano presente no biogás foi determinado com um transmissor ótico seletivo, com resolução de $0,1 \%$ v/v, exatidão de $\pm 2,5 \%$ v/v e repetibilidade de $\pm 2,0 \%$ v/v, operando na faixa do infravermelho (Guardian Plus, Edinburgh Sensors). Adicionalmente, utilizou-se um transmissor de pressão capacitivo (LD301, Smar), com resolução de $0,01 \text{ mmca}$ e exatidão de $\pm 0,04 \text{ mmca}$, para medir a pressão manométrica do biogás.

Esses equipamentos foram alimentados eletricamente, sendo acoplados a um quadro de comandos dedicado. Eles foram configurados para fornecer sinais analógicos padrão 4-20 mA, os quais foram monitorados em intervalos de 30 segundos e armazenados em um aquisitor de dados (A202, Contemp). Esses dados foram, posteriormente, lidos por um sistema supervisório (MasterLogger A202, Contemp) instalado em um computador portátil (Latitude, Dell). A fixação dos transmissores e a inserção das sondas nos tubos condutores de biogás foram executadas de acordo com as recomendações descritas em seus manuais. A Figura 1 apresenta uma foto do arranjo experimental utilizado para avaliar o biogás em tempo real.



Figura 1: Foto do arranjo experimental utilizado para medir em tempo real e em condições de guaiamento passivo os seguintes parâmetros inerentes ao biogás: vazão, teor de metano, temperatura e pressão manométrica. Em destaque são apresentadas as fotos do transmissor de temperatura e vazão de biogás, além de uma foto do interior do quadro de comandos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 apresenta a vazão de biogás ($Q_{\text{BIOGÁS}}$) em função do tempo para um intervalo de 30 dias. De modo geral, a vazão de biogás seguiu um comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário. Constatou-se um padrão diário ($\Delta t = 1$ dia) de produção e desprendimento de biogás, sendo que as vazões máximas ocorreram tipicamente entre 0 e 2 horas e as vazões mínimas entre 12 e 14 horas. O tratamento estatístico de uma série de dados de vazão armazenados ao longo dos 6 meses permite afirmar que a vazão de biogás disponibilizada pelo sistema de coleta dos 4 reatores UASB avaliados foi, em média, igual a $(21,56 \pm 6,45) \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Utilizando os resultados das medições das propriedades físicas e químicas do meio líquido durante os anos de 2010 e 2011, foi possível estimar com o modelo proposto por Chernicharo [1] que a produção volumétrica de biogás seria de $(40,91 \pm 19,46) \text{ Nm}^3/\text{h}$. Portanto, os valores medidos no sistema de coleta de biogás foram, em média, 53 % menores que aqueles estimados, podendo-se inferir que boa parte do biogás produzido nos reatores UASB, provavelmente, permaneceu dissolvida no meio líquido [7]. Além disso, houve perdas de biogás por meio de fissuras e/ou pela superfície dos reatores, assim como existiu um mecanismo de aprisionamento induzido por camadas de espuma [7].

Verificou-se, ainda, que a amplitude e o nível médio do padrão de produção e desprendimento de biogás foram influenciados por eventos de chuva e pelas características físicas e químicas do esgoto doméstico que entrou nos reatores UASB.

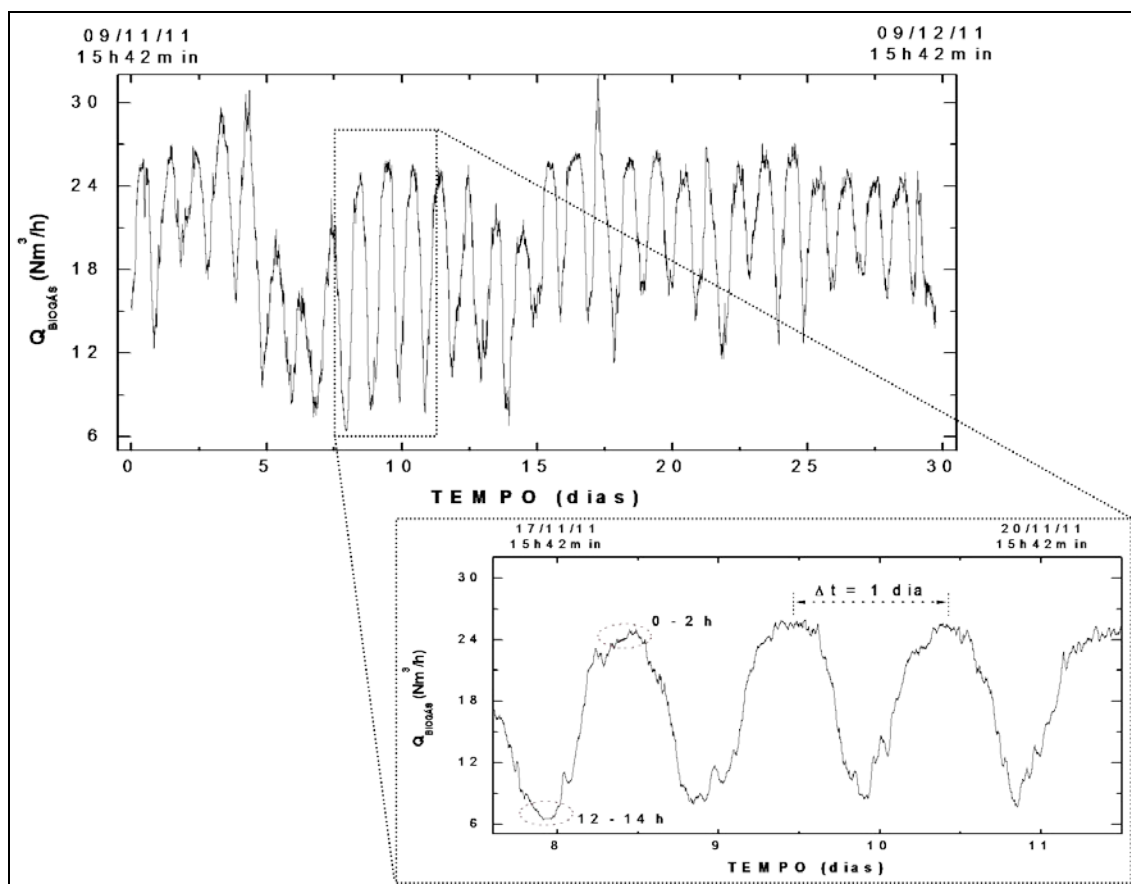


Figura 2: Curva de vazão de biogás em função do tempo para um intervalo de 30 dias. Em destaque são apresentadas as vazões de biogás para um intervalo de 4 dias.

Os eventos significativos de chuva diminuíram a produção de biogás, provavelmente devido à diluição da matéria orgânica disponível para degradação anaeróbia. Em semanas com elevados índices pluviométricos, foram inclusive observadas vazões de biogás inferiores àquelas minimamente detectadas pelo transmissor. A Figura 3 ilustra uma situação em que a chuva induziu modificações na amplitude e no nível médio do padrão de vazão de biogás. De acordo com os dados da estação climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia instalada no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, no intervalo entre 0 e 2 dias a precipitação acumulada foi de aproximadamente 138 mm.

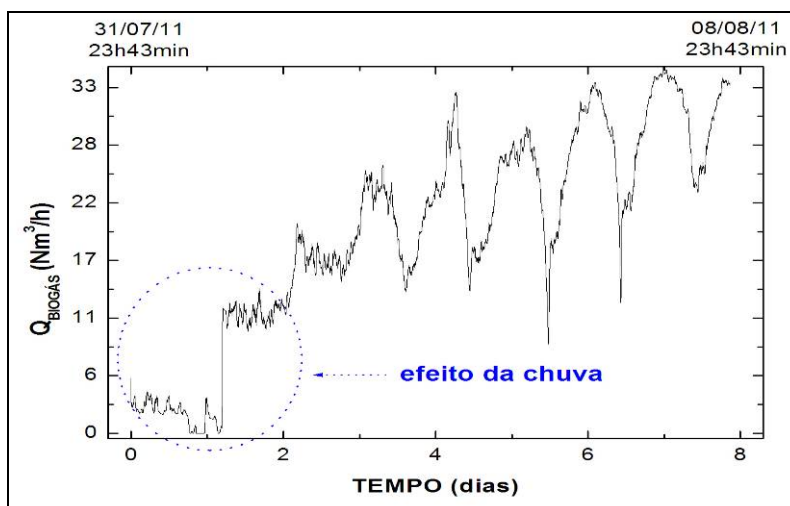


Figura 3: Curva de vazão de biogás em função do tempo para um intervalo de 8 dias. Eventos de chuva ocorreram durante 2 dias, sendo que a precipitação acumulada foi de aproximadamente 138 mm.

Constatou-se, também, por meio de caracterizações físicas e químicas horárias do esgoto doméstico afluente aos reatores UASB analisados, que a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), a demanda química de oxigênio (DQO), a alcalinidade (A), o potencial hidrogeniônico (pH) e a vazão de esgoto (Q) descreveram um comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário, assim como aquele inerente à produção e ao desprendimento do biogás. Os resultados dessas caracterizações estão apresentados na Figura 4. Entretanto, o nível de significância e a correlação entre cada um dos parâmetros e a produção de biogás ainda não são conhecidos. O que se pode afirmar, até então, é que os parâmetros do meio líquido e a curva de produção de biogás possuem comportamentos temporais semelhantes e que, descontado o tempo de detenção hidráulico, podem ser utilizados para justificar a produção de biogás.

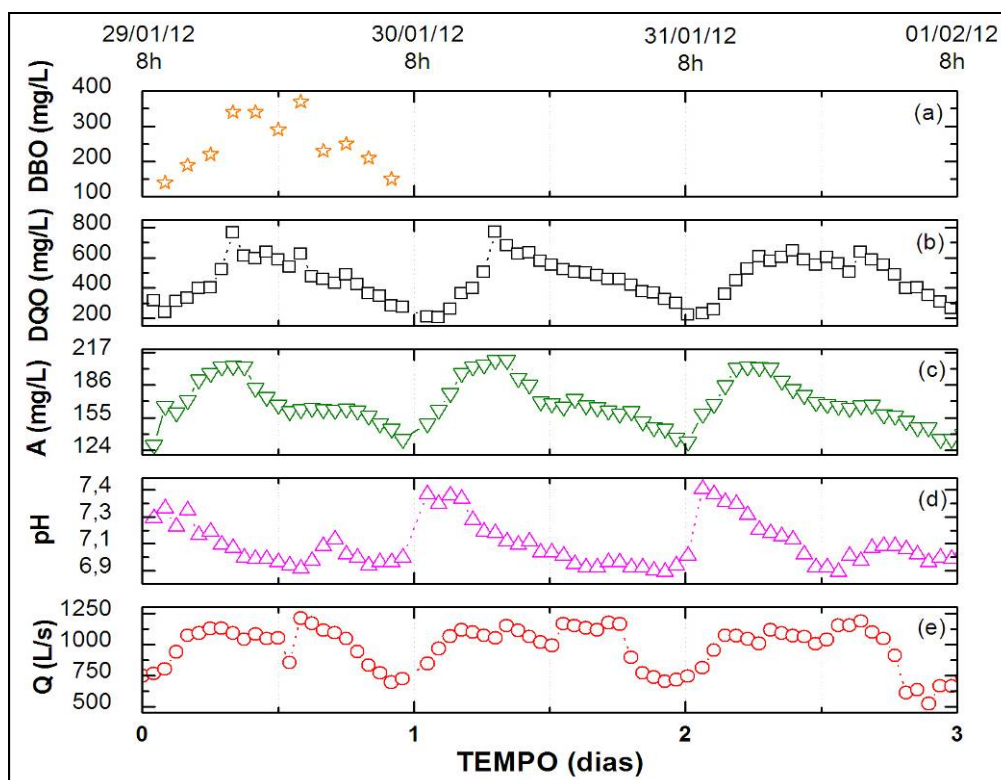


Figura 4: Curvas horárias de demanda bioquímica de oxigênio (a), demanda química de oxigênio (b), alcalinidade (c), potencial hidrogeniônico (d) e vazão (e) do esgoto doméstico afluente aos reatores UASB analisados para um intervalo de 3 dias, na ausência de chuva.

O teor de metano (CH_4), a temperatura (T) e a pressão manométrica (p) do biogás são apresentados na Figura 5, de forma complementar à vazão ($Q_{\text{BIOGÁS}}$). Esses parâmetros também descreveram um comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário. De modo geral, constatou-se que a temperatura do biogás foi similar à temperatura ambiente e que sua amplitude, apesar de ser bastante variável, atingiu valores máximos nas proximidades das 12 horas e mínimos por volta das 5 horas. Verificou-se, ainda, que a pressão manométrica do biogás nos tubos de condução foi, em média, menor que 1 mmca e, portanto, aproximadamente igual à pressão atmosférica. Esses resultados também se aplicaram à câmara de gás de um dos reatores UASB, a qual foi monitorada por um intervalo de aproximadamente 3 meses. Além disso, identificou-se que, dependendo das magnitudes das vazões de biogás, há nas proximidades do queimador a formação de uma zona de depleção com pressões da ordem de -0,5 mmca. Adicionalmente, verificou-se que o teor de metano foi, em média, igual a $(59,76 \pm 4,48) \% \text{ v/v}$. Logo, a vazão média de metano disponibilizada pelos reatores UASB sob análise e direcionada para o queimador no período de 6 meses foi de $(12,88 \pm 1,11) \text{ Nm}^3/\text{h}$. Por conseguinte, a potência química média disponível para aproveitamento energético do biogás produzido em tais reatores foi de $(128,31 \pm 11,03) \text{ kW}$. Esses valores correspondem a uma taxa média de emissão de gases de efeito estufa sem recuperação de $(0,19 \pm 0,02) \text{ tonCO}_2\text{eq/h}$.

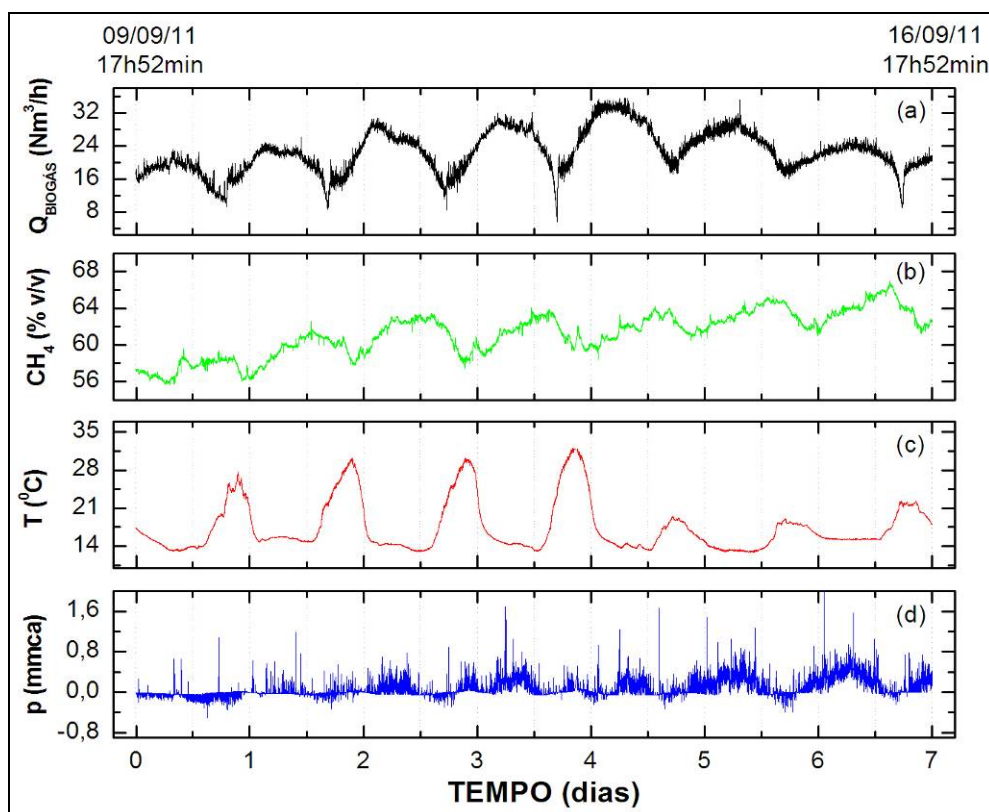


Figura 5: Curvas de vazão (a), teor de metano (b), temperatura (c) e pressão manométrica (d) do biogás em função do tempo para um intervalo de 7 dias, na ausência de chuva.

CONCLUSÕES

Os resultados reportados neste artigo permitem concluir que a produção e o desprendimento do biogás nos reatores UASB de grande porte investigados seguiram um comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário, o qual foi influenciado por eventos de chuva e pelas características físicas e químicas do esgoto doméstico afluente. Constatou-se que a vazão de biogás descreveu curvas padrão com período de aproximadamente 1 dia, sendo que as vazões máximas ocorreram tipicamente entre 0 e 2 horas e as vazões mínimas entre 12 e 14 horas. No intervalo de 6 meses, a vazão média de biogás disponibilizada pelos 4 reatores UASB avaliados foi de $(21,56 \pm 6,45) \text{ Nm}^3/\text{h}$. Esse valor foi aproximadamente 53 % menor que aquele estimado com base nas propriedades físicas e químicas do meio líquido.

Adicionalmente, verificou-se que o teor de metano, a temperatura e a pressão manométrica do biogás também seguiram um comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário. A temperatura do biogás foi similar a temperatura ambiente. Por sua vez, a pressão manométrica do biogás no interior dos tubos de condução e na câmara de gás de um dos reatores UASB avaliados foi aproximadamente igual a pressão atmosférica. Além disso, o teor de metano presente no biogás foi, em média, $(59,76 \pm 4,48) \% \text{ v/v}$. Dessa maneira, a potência química média disponível para aproveitamento energético foi da ordem de 128 kW e a taxa média de emissão de gases de efeito estufa sem recuperação foi de aproximadamente 0,19 tonCO₂eq/h.

Por fim, as medições aqui reportadas possibilitaram, de maneira inovadora, a caracterização em tempo real do biogás produzido por reatores UASB de grande porte, fornecendo referências para estudos de viabilidade técnica e financeira sobre a recuperação energética do biogás em ETEs, bem como diretrizes para a elaboração de inventários de emissões de gases do efeito estufa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio operacional daqueles que se envolveram com o estudo em pauta, em especial os colaboradores da Sanepar lotados na Unidade de Serviços de Esgoto (USEG) e de Eletromecânica (USEM-CT) da Região Metropolitana de Curitiba.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHERNICHARO, C. A. L. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; reatores anaeróbios*. Belo Horizonte - MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, ed. 1, v. 5, 1997.
2. LETTINGA, G. *International course on anaerobic treatment*. Wageningen: Wageningen Agricultural University / IHE Delft, 1995.
3. 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.
4. LOBATO, L. C. S. *Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico*. Tese de Doutorado. UFMG - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte - MG, 2011.
5. VANROLLEGHEM, P. A.; LEE, D. S. *On-line monitoring equipment for wastewater treatment processes: state of the art*. Water Science and Technology, v. 47, n. 2, p. 1-34, 2003.
6. WARD, A. J.; BRUNI, E.; LYKKEGAARD, M. K.; FEILBERG, A.; ADAMSEN, A. P. S.; JENSEN, A. P.; POULSEN, A. K. *Real time monitoring of a biogas digester with gas chromatography, near-infrared spectroscopy, and membrane-inlet mass spectrometry*. Bioresource Technology, v. 102, p. 4098-4103, 2011.
7. SOUZA, C. L. *Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores UASB*. Tese de Doutorado. UFMG - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte - MG, 2010.