

## II-563 - DINÂMICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM REATORES UASB/RALF TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO: AVALIAÇÃO DE 10 ETES EM ESCALA REAL

### **Carolina Bayer Gomes Cabral<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC. Engenheira da Rotária do Brasil. Doutoranda em Engenharia Sanitária pela Universidade Técnica de Berlin (TU Berlin).

### **Thiago Bressani Ribeiro**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Fumec. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG (DESA/UFMG). Doutorando em Ciências Biológicas Aplicadas: Tecnologias Ambientais pela Universidade de Ghent (UGent).

### **David Hoffmann**

Graduado em Geo-Ecologia pela faculdade de Ciências Naturais da Universidade Eberhard Karls. Mestre em Gestão Internacional de Recursos Hídricos pela Universidade Ostfalia de Ciências Aplicadas – Suderburg.

### **Priscilla Natalie Pereira Neves**

Discente de Engenharia Ambiental pela UFMG.

### **Carlos Augusto de Lemos Chernicharo**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne – UK. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Teodoro Manuel Dias, 421 - Bairro Santo Antônio de Lisboa - Florianópolis – Santa Catarina - CEP: 88050-540 - Brasil - Tel: +55 (48) 3234-3164 - Fax: +55 (48) 3234-3164 - e-mail: carolina@rotaria.net

## **RESUMO**

Apresenta-se neste artigo uma seleção dos principais resultados e lições aprendidas do Projeto de Medições de Biogás em Reatores Anaeróbios, que integra a coletânea de publicações do Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS). O estudo foi conduzido em 10 estações de tratamento de esgoto situadas em três regiões do Brasil (sul, sudeste e centro-oeste), a fim de caracterizar os principais aspectos que interferem na produção de biogás em reatores UASB/RALF e os respectivos potenciais de geração de energia elétrica. Para tanto, investigou-se quantitativa (vazão) e qualitativamente (concentrações de CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S e O<sub>2</sub>) a produção de biogás em período superior a um ano. Adicionalmente, a fase líquida foi caracterizada principalmente em termos de carga orgânica aplicada e removida. Os resultados demonstraram que a produção de biogás varia espacial e sazonalmente, sendo influenciada pelas configurações de projeto dos reatores anaeróbios. O teor mediano de metano no biogás esteve entre 70 a 81%, adequado para o aproveitamento energético em unidades de cogeração de eletricidade e calor. Todavia, para as concentrações observadas de sulfeto de hidrogênio (entre 233 e 2470 ppm), um tratamento para a remoção seletiva deste composto seria necessário.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reatores UASB, aproveitamento energético de biogás, tratamento anaeróbio de esgoto, medições em escala plena.

## **INTRODUÇÃO**

A tecnologia anaeróbia para o tratamento de esgoto sanitário pode ser considerada consolidada na América Latina, especialmente no Brasil, com destaque para a utilização de reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (reatores UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) para diversas escalas populacionais (CHERNICHARO *et al.*, 2015). Entre os atributos favoráveis para sua aplicação, destacam-se os menores custos de implantação (CAPEX) e operação (OPEX), quando comparados à tecnologia aeróbia convencional, bem como a maior simplicidade operacional e baixa produção de lodo. Notadamente, as condições ambientais de países tropicais (especialmente a predominância de elevadas temperaturas) favorecem as etapas da digestão

anaeróbia associadas à hidrólise e metanogênese, ao contrário do verificado em países de clima temperado (VAN LIER *et al.*, 2008).

Uma característica marcante dos processos anaeróbios de tratamento de esgoto é a conversão da matéria orgânica em biogás, cujo principal componente é o metano (Noyola *et al.*, 2006). Por sua vez, este composto apresenta elevado poder calorífico inferior – PCI (aproximadamente 10 kWh/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> (MORAN *et al.*, 2010)), o que abre perspectiva para o aproveitamento energético do biogás. Não obstante, o potencial de aquecimento global do metano é cerca de 28 vezes superior ao do CO<sub>2</sub> (IPCC, 2014), o que caracteriza a necessidade do correto gerenciamento da fase gasosa nos reatores anaeróbios.

No Brasil, a exploração do biogás, fonte de energia limpa e renovável, encontra-se em estágios iniciais, sendo a prática mais aplicada de manejo da fase gasosa a queima e posterior lançamento para a atmosfera. O aproveitamento de biogás para fins energéticos em sistemas de tratamento de esgoto sanitário depende de um maior conhecimento sobre os principais aspectos que interferem em sua produção, associados às características de projeto, construção e operação das ETEs. Poucos estudos tratam da caracterização quantitativa e qualitativa do biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto sanitário, em escala real.

Tendo em vista a necessidade desses estudos no país, o Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS) atuou no sentido de fomentar a utilização do biogás como fonte de energia renovável em toda a sua potencialidade, dentro da realidade brasileira. Tal projeto foi proveniente da cooperação técnica entre o Governo Brasileiro, por intermédio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades, e o Governo Alemão, por intermédio da *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*.

Nesse sentido, o presente artigo objetiva apresentar uma seleção dos principais resultados e lições aprendidas do Projeto de Medições de Biogás em Reatores Anaeróbios, que integra a coletânea de publicações do PROBIOGÁS. Logo, são caracterizados o comportamento da vazão e qualidade do biogás gerado em reatores UASB/RALF tratando esgoto sanitário, em escala plena, em diferentes regiões geográficas do país, bem como as principais variáveis interferentes em sua produção.

## METODOLOGIA

Para a caracterização quali-quantitativa do biogás proveniente de reatores UASB/RALF, selecionaram-se preliminarmente 20 estações de tratamento de esgoto (ETEs), distribuídas entre as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país. Dessas, 10 estações foram efetivamente investigadas, conforme a Figura 1. Os principais critérios para a escolha estão reportados em Cabral *et al.* (2015).

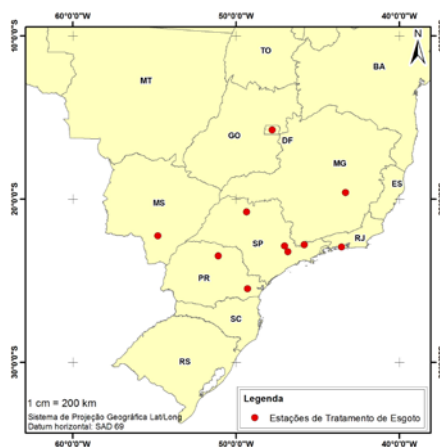


Figura 1: Mapa com as ETEs participantes da pesquisa de medição.

As ETEs avaliadas e seus respectivos dados de equivalente populacional (EP), vazão de projeto e tecnologia de tratamento empregada são reportados na Tabela 1. Cabe destacar que o nome das ETEs não foi divulgado para preservar o anonimato das informações.

**Tabela 1: Estações de tratamento de esgoto investigadas.**

ETE	EP (HAB.)	VAZÃO DE PROJETO (L/s)	TECNOLOGIA <sup>1</sup>
A	198.000	310	UASB + LAR
B	207.000	316	RALF + FBP
C	64.800	90	RALF + FBP
D	100.000	90	UASB + LAT
E	200.000	300	UASB + LA
F	250.000	400	UASB + LA
G	664.200	1080	UASB + LA
H	90.000	85	UASB + FBP
I	92.250	150	UASB + FBP
J	48.600	90	UASB + LA

<sup>1</sup>LAR = Lagoa aerada; LA = Lodos ativados; FBP = Filtro biológico percolador; LAT= Lagoa de alta taxa.

Os parâmetros e metodologias elencados para a caracterização das fases líquida e gasosa são representados a seguir. As características e condições de instalação dos equipamentos de medição de ambas as fases estão detalhadas em Cabral *et al.* (2015).

- Parâmetros e metodologia de caracterização da fase líquida: *i*) vazão afluyente (medidor ultrassônico); *ii*) concentrações de DQO<sub>total</sub> afluyente e DQO<sub>filtrada</sub> efluente dos reatores anaeróbios (espectrometria: sonda *s::can* – *Carbolyzer* ou colorimetria, segundo APHA (2012));
- Parâmetros e metodologia de caracterização da fase gasosa: *i*) vazão, temperatura e pressão do biogás (medidor tipo vórtex); *ii*) composição do biogás em termos do teor de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> (método infravermelho), O<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S (método eletrométrico), mensurados em analisador fixo de gases (Union Instruments - Inca 4002).

O período de medições foi superior a um ano, iniciando-se na primeira ETE no mês de novembro de 2014 e na última delas em março de 2015, estendendo-se até o mês de junho de 2016. Os dados foram transmitidos via telemetria a cada 5 minutos, ficando armazenados em um banco de dados online (Komvex – Scadaweb). Os períodos de maior acurácia, plausibilidade e confiabilidade dos dados foram selecionados, sendo que estes constituíram o universo amostral de pesquisa.

Optou-se por mensurar as concentrações de DQO<sub>total</sub> afluyente e DQO<sub>filtrada</sub> efluente, para se caracterizar efetivamente a carga orgânica removida passível de conversão a metano. Com esta configuração exclui-se a interferência de sólidos (DQO<sub>particulada</sub>) provenientes, por exemplo, de eventos de perda de lodo em função de sobrecargas hidráulicas. Logo, as eficiências de remoção reportadas devem ser entendidas como cargas orgânicas potencialmente transformadas em metano.

## RESULTADOS OBTIDOS

Na Tabela 2 apresenta-se uma síntese da caracterização dos parâmetros associados à fase líquida dos reatores anaeróbios investigados.

**Tabela 2: Caracterização dos parâmetros associados à fase líquida nas ETEs investigadas.**

ETE	VAZÃO DE ESGOTO (L/s)	DQO <sub>TOTAL</sub> AFLUENTE (mg/L)	DQO <sub>FILTRADA</sub> EFLUENTE (mg/L)	EFICIÊNCIA (%)	COV APLICADA (KgDQO/m <sup>3</sup> .d)
A	366 (55)	426 (231)	125 (56)	72 (17)	1,2 (0,6)
B	340 (53)	616 (243)	119 (123)	82 (14)	2,1 (3,0)
C	91 (14)	661 (182)	147 (57)	75 (6)	1,3 (0,4)
D	97 (53)	1125 (164)	393 (33)	65 (6)	5,1 (2,3)
E	223 (30)	653 (351)	73 (21)	90 (16)	0,8 (0,5)
F	431 (30)	720 (213)	92 (14)	87 (6)	1,8 (0,5)
G	1108 (195)	-	-	-	-
H	31 (18)	665 (381)	50 (57)	93 (8)	0,4 (0,2)
I	35 (10)	-	-	-	-
J	79 (10)	435 (101)	55 (18)	87 (4)	0,7 (0,2)
<b>Faixas típicas<sup>1,2</sup></b>	<b>31 – 1108</b>	<b>426 – 720 [635]</b>	<b>55 – 147 [106]</b>	<b>75 – 90 [85]</b>	<b>0,4 – 2,1 [1,3]</b>

( ) Desvio padrão; <sup>1</sup>Intervalo entre valores mínimos e máximos observados, com mediana reportada entre colchetes; <sup>2</sup>Para a determinação das faixas típicas foram consideradas apenas as ETEs cujo conjunto de dados apresentou N > 30.

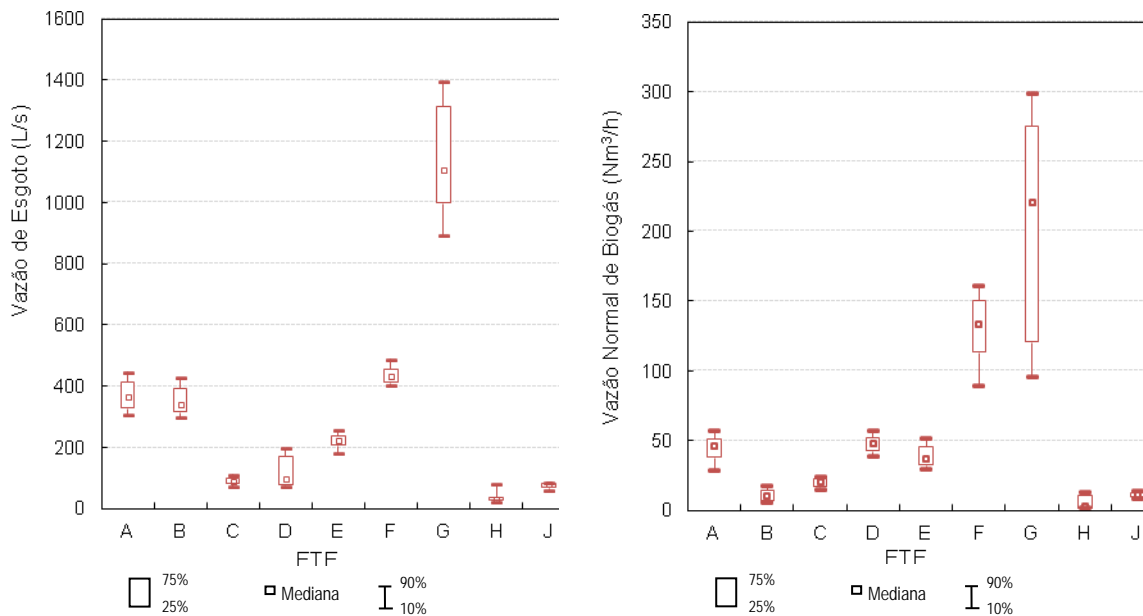
A síntese da caracterização dos parâmetros associados à fase gasosa dos reatores anaeróbios investigados é apresentada na Tabela 3, a seguir:

**Tabela 3: Caracterização dos parâmetros associados à fase gasosa nas ETEs investigadas.**

ETE	VAZÃO NORMALIZADA DE BIOGÁS (Nm <sup>3</sup> /h)	CH <sub>4</sub> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> S (%)	O <sub>2</sub> (%)
A	46	81	8	1703	0
B	10	74	10	233	0,2
C	20	81	6	1529	0
D	48	70	9	2470	0
E	37	74	11	1405	0
F	133	79	12	1991	0
G	221	81	14	1672	0
H	3	-	-	-	-
I	-	77	7	739	0,1
J	11	77	8	1985	0
<b>Faixas típicas<sup>1,2</sup></b>	<b>3 – 221</b>	<b>70 – 81 [78]</b>	<b>6 – 14 [10]</b>	<b>233 – 2470 [1688]</b>	<b>0 – 0,2 [0]</b>

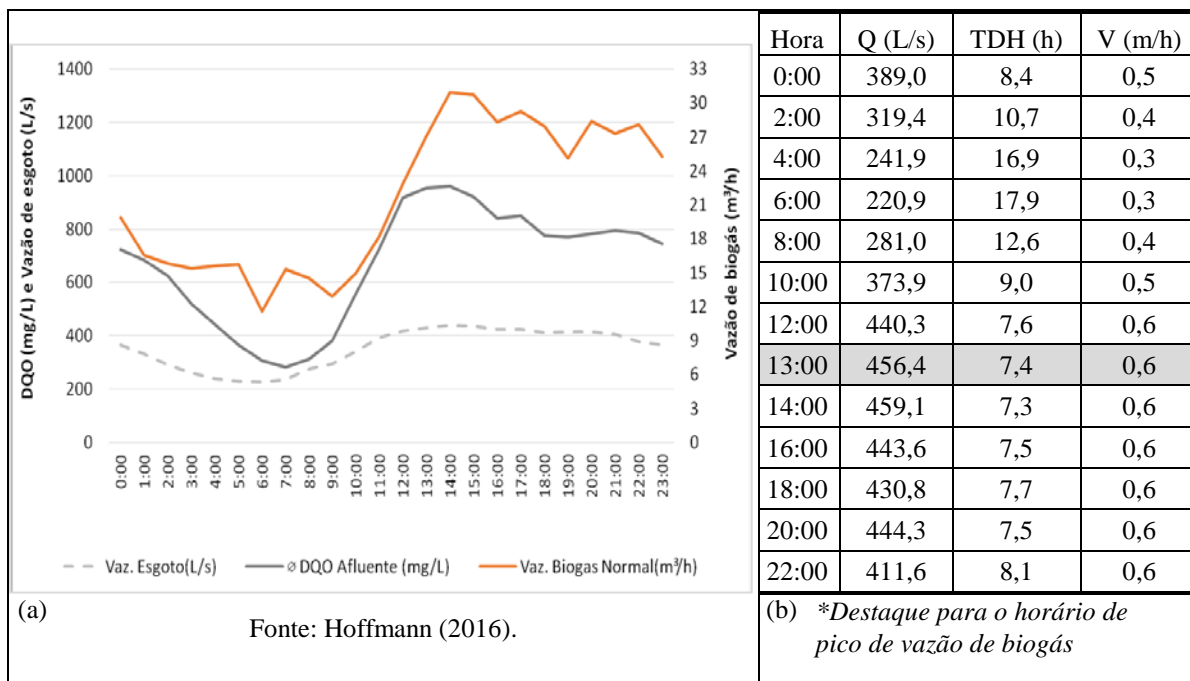
( ) Desvio padrão; <sup>1</sup>Intervalo entre valores mínimos e máximos observados, com mediana reportada entre colchetes; <sup>2</sup>Para a determinação das faixas típicas foram consideradas apenas as ETEs cujo conjunto de dados apresentou N > 30.

Na Figura 2 são apresentados os gráficos box-plot das vazões de esgoto e biogás para as ETEs investigadas.



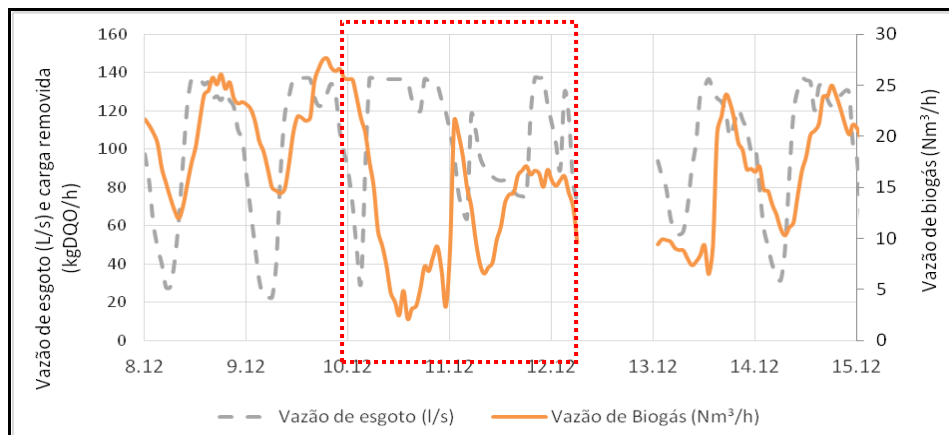
**Figura 2: Gráficos box-plot das vazões de esgoto e biogás para as ETEs analisadas**

Na Figura 3(a) são demonstradas as curvas características das médias horárias de vazões de esgoto e biogás, assim como a curva característica das concentrações médias de DQO<sub>total</sub> afluente para uma das ETEs investigadas (ETE A). Paralelamente, expõe-se na Figura 3(b) a variação do tempo de detenção hidráulica (TDH) e as respectivas velocidades ascensionais para os reatores anaeróbios da ETE A.



**Figura 3: (a) Curvas das médias horárias de vazão de esgoto, DQO afluente e vazão normalizada de biogás; (b) Tempos de detenção hidráulica e velocidades ascensionais médias para a ETE A.**

Adicionalmente, para se avaliar detalhadamente a relevância da influência da pluviometria no comportamento da produção de biogás, apresentam-se na Figura 4 as vazões médias de esgoto e biogás referentes à ETE C. O destaque efetuado na figura corresponde aos dias de maior intensidade pluviométrica registrada (volume acumulado de 159 mm) para o período analisado (08/12 a 14/12).



**Figura 4: Médias horárias da vazão de esgoto e biogás na ETE C – período chuvoso. Destaque para os dias de maior intensidade pluviométrica.**

## ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Como consolidado na literatura, pode-se constatar observando-se a Tabela 2, que as cargas orgânicas volumétricas aplicadas aos reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário são efetivamente baixas (CHERNICHARO, 2007), sobretudo em vista das concentrações de  $DQO_{total}$  afluentes notadamente inferiores a 1000 mg/L, à exceção da ETE D. Os reatores anaeróbios investigados apresentaram 85% de eficiência mediana de remoção de carga orgânica, entendida como passível de ser convertida a biogás.

Analisando-se conjuntamente as Tabelas 2 e 3, bem como a Figura 2, não se depreende uma clara correspondência entre o porte da ETE, em termos de vazão de esgoto tratada, e a vazão de biogás produzida. Entre estações de porte similar, a exemplo das ETES A, B e F, percebe-se uma variação significativa (teste de *Mann-Whitney* -  $\alpha = 5\%$ ) quanto à produção de biogás. Um conjunto de fatores pode estar associado aos valores registrados, a exemplo da topologia do reator (características geométricas de projeto – (BRASIL, 2017)), a qual pode influenciar a deficiência de produção e, principalmente, de captura do biogás.

Em vista dos dados reportados na Tabela 3, nota-se que o biogás apresentou elevadas concentrações medianas de metano, entre 70 e 81%. Os valores medianos do teor de  $CO_2$  variaram entre 6 e 14%, e as concentrações de  $O_2$  foram tipicamente nulas. Os valores registrados encontram-se nas faixas típicas reportadas na literatura para biogás de reatores UASB tratando esgoto doméstico (NOYOLA *et al.*, 1998; SOUZA *et al.*, 2012; DWA-M 361, 2011). Em relação aos teores de  $H_2S$ , observou-se uma variação considerável entre as ETES investigadas, com medianas variando entre 233 e 2470 ppm, todavia, 75% dos resultados apresentaram valores inferiores a 2000 ppm.

Tal condição associa-se à necessidade de tratamento do biogás para remoção de  $H_2S$ , caso o aproveitamento energético seja considerado. Os métodos de remoção seletiva deste composto no biogás podem ser físicos, químicos ou bioquímicos (CHERNICHARO *et al.*, 2011). Cabe destacar os valores elevados de sulfeto de hidrogênio associados à ETE D. A elevada concentração de DQO afluente (mediana = 1125 mg/L) e consequentemente a maior carga orgânica volumétrica aplicada (mediana = 5,1 kgDQO/m<sup>3</sup><sub>reator.d</sub>), pode ser um importante fator de influência. As concentrações de  $H_2S$  significativamente mais baixas (teste de *Mann-Whitney* -  $\alpha = 5\%$ ) para a ETE B em relação às demais estações provavelmente estão associadas à oxidação do sulfeto de hidrogênio, em virtude das maiores concentrações de  $O_2$  observadas no biogás desta estação. Por sua vez, os valores mais elevados de oxigênio certamente estão associados à infiltração de ar, em vista de pontos de vazamento na câmara e linha gás.

É importante ressaltar que, apesar da elevada concentração mediana de metano evidenciada no biogás dos reatores investigados, a sua recuperação na fase gasosa é tipicamente bem inferior ao valor estequiométrico de 0,35 Nm<sup>3</sup>/kg DQO<sub>removida</sub>, em vista de uma importante parcela que deixa o reator dissolvida com o efluente tratado. Adicionalmente, uma fração substancial da DQO<sub>particulada</sub> não é digerida e deixa o reator junto ao lodo de excesso (CHERNICHARO *et al.*, 2015). Somam-se a estes aspectos o gás residual emitido no topo do

compartimento de decantação dos reatores anaeróbios, bem como a possibilidade de vazamentos na linha de coleta do biogás e câmara de gás do separador trifásico, em função de problemas de estanqueidade.

Tipicamente, sob as condições prevaletentes durante o período de investigações do Projeto de Medições ( $DQO < 1000\text{mg/L}$  e temperatura em torno de  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ) a parcela de  $\text{CH}_4$  dissolvida no efluente pode ter variado entre 30 e 41% (SOUZA *et al.*, 2011), eventualmente com valores superiores à 50% do metano produzido (NOYOLA *et al.*, 1998). Estas perdas representam não somente um decréscimo do potencial energético, mas também contribuem para as emissões de gases de efeito estufa.

Em relação aos momentos de máxima produção de biogás, na Figura 3(a) demonstra-se o pico de vazão no período da tarde, especificamente às 13 horas para a ETE A. Percebe-se que os picos de vazão de biogás associam-se ao padrão de comportamento temporal da carga orgânica afluyente, sendo o pico de vazão registrado após cerca de uma hora da máxima concentração de  $DQO_{\text{total}}$  diária afluyente. Neste caso, a permanência de menores tempos de detenção hidráulica (TDH) e, conseqüentemente, maiores velocidades ascensionais do líquido, conforme demonstrado na Figura 3(b), parece contribuir para a liberação do biogás da fase líquida.

Cabe ressaltar a influência de eventos pluviométricos na produção de biogás, conforme apresentado na Figura 4 para a ETE C. O evento pluviométrico associado ao dia 10/12 acarretou em uma queda acentuada (superior a 80%) na produção de biogás. Findados os três dias chuvosos (10 a 12/12), percebe-se que a retomada do comportamento da produção de biogás ao padrão antecedente aos eventos pluviométricos ocorre após cerca de dois dias, embora ainda com vazões mínimas e máximas aquém das verificadas no período de estiagem predecessor. A diluição da matéria orgânica em função de ocorrências pluviométricas foi apontada por Possetti *et al.* (2013) como provável motivo para diminuição da produção de biogás em uma ETE de grande porte no município de Curitiba (PR). Adicionalmente, Waiss e Possetti (2015) verificaram uma tendência de redução nas vazões de biogás à medida que os registros pluviométricos tornam-se mais intensos, sobretudo para eventos acima de 10 mm, similares àqueles observados nos dias 10 a 12/12 na ETE C.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A produção de biogás apresentou variação espacial (de local para local) e temporal, sendo significativamente impactada por eventos pluviométricos. Mostrou-se também dependente das condições de projeto (topologia dos reatores) e construção (estanqueidade). Aspectos associados à operação certamente têm forte interveniência, carecendo de estudos mais aprofundados. Observou-se que os picos de vazão de biogás associam-se ao padrão de comportamento temporal da carga orgânica afluyente e momentos de maior velocidade ascensional do líquido.

O teor de metano encontrado no biogás não apresentou variação significativa ao longo do período de monitoramento para as ETES investigadas, sendo que a concentração mediana variou de 70 a 81%. Tais resultados confirmam que a concentração de metano no biogás produzido em reatores UASB tratando esgoto doméstico é própria para o aproveitamento em unidades de cogeração de eletricidade e calor (CHP). O teor de sulfeto de hidrogênio encontrado no biogás apresentou variação diária e entre as ETES monitoradas, todavia sistematicamente abaixo de 2000 ppm. Estes resultados indicam a necessidade de tratamento do biogás para remoção de  $\text{H}_2\text{S}$ , caso o aproveitamento energético seja considerado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades/Probiogás. Resultados do projeto de medições de biogás em reatores anaeróbios. Brasília, DF. Ministério das Cidades, 2017. 1 ed. 130 p.
2. CABRAL, B. G. C.; PLATZER, C. J.; ROSENFELDT, S.; HOFFMANN, H.; CHERNICHARO C.A.L. Caracterização do biogás gerado no tratamento de efluentes domésticos em reatores UASB no Brasil. In: 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais. Rio de Janeiro/RJ, 2015.
3. CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 380 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 5).

4. CHERNICHARO, C.A.L., STUETZ, R. M., SOUZA, C.L., MELO, G.C.B. Contribuição para o projeto de biofiltros aplicados ao tratamento de emissões odorantes provenientes de reatores anaeróbios. Revista DAE, c. 186, p. 56-62, 2011.
5. CHERNICHARO, C. A. L.; VAN LIER, J.B.; NOYOLA, A. BRESSANI-RIBEIRO, T. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. Reviews in Environmental Science and Bio/technology, v. 14, n. 4, p.649-679, 2015.
6. DWA-M 363. Origem, Tratamento e Utilização do Biogás. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, 2010.
7. IPCC. Climate change 2014. Synthesis Report. 2014.
8. LOBATO, L. C. S.; CHERNICHARO, C. A. L.; SOUZA, C. L. Estimates of methane loss and energy recovery potential in anaerobic reactors treating domestic wastewater. Water Science and Technology, v. 66, p. 2745-2753, 2012.
9. MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N.; BOETTNER, D.D.; BAILEY M.B. (2010). Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 7th ed.: John Wiley & Sons.
10. NOYOLA, A., CAPDEVILLE, B., ROQUES, H. Anaerobic treatment of domestic sewage with a rotating-stationary fixed-film reactor. Water Research, 22, 1585–1592, 1998.
11. NOYOLA, A., MORGAN-SAGASTUME, J.M. AND LOPEZ-HERNANDEZ, J.E. Treatment of biogás produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: Odor control and energy/resource recovery. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 5, 93–114, 2006.
12. POSSETI, 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, Anais. Goiânia/GO, 2013.
13. SOUZA, C.L., CHERNICHARO, C.A.L., AQUINO, S.F. Quantification of dissolved methane in UASB reactors treating domestic wastewater under different operating conditions. Water Science and Technology, v. 64, n. 11, 2259-2264, 2011.
14. SOUZA, C.L., CHERNICHARO, C.A.L., MELO, G.C.B. Methane and hydrogen sulfide emissions in UASB reactors treating domestic wastewater. Water Science and Technology, v. 65, n. 7, 1229-1237, 2012.
15. VAN LIER, J.B., MAHMOUD, N. AND ZEEMAN, G. Anaerobic Wastewater Treatment. In: Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., Brdjanovic, D. (eds.), Biological Wastewater Treatment, Principles, Modelling and Design, Chapter 16, ISBN: 9781843391883, IWA Publishing, London, UK, p. 415-456, 2008.
16. WAISS, T. C. F.; POSSETI, G. R. C. Influência de eventos de chuva na produção de biogás de reatores anaeróbios alimentados com esgoto doméstico. In: 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais. Rio de Janeiro/RJ, 2015.