

XI-036 - CARACTERIZAÇÃO DO BIOGÁS GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM REATORES UASB NO BRASIL

Carolina Bayer Gomes Cabral⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista e Ambiental. Mestranda em Engenharia Ambiental pela UFSC. Engenheira da Rotária do Brasil.

Christoph Julius Platzer

Engenheiro civil pela Universidade Técnica de Munique. Doutor em Engenharia Sanitária pela Universidade Técnica de Berlim. Sócio diretor da empresa Rotária do Brasil.

Sebastian Rosenfeldt

Engenheiro Químico formado na Universidade de Ciências Aplicadas FHTW Berlim. Engenheiro da Rotária do Brasil.

Heike Hoffmann

Bióloga pela Universidade de Greifswald. Doutora em Ecologia dos Sistemas Aquáticos pela Universidade de Rostock. Sócia diretora da empresa Rotária do Brasil.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne – UK. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: 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

O presente trabalho apresenta uma campanha de medições em andamento em 10 estações de tratamento de esgoto (ETE) no Brasil que tem o objetivo de avaliar o desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo - UASB para caracterizar a produção de biogás em termos de vazão e composição do esgoto. Além de apresentar o projeto de medição e seus objetivos, o artigo trata das particularidades de um projeto de tal porte e apresenta resultados preliminares extraídos de períodos selecionados. Foram selecionados períodos de 6 dias seguidos de 6 ETEs. Para a vazão do biogás observou-se que sua produção seguiu um comportamento, já reportado em pesquisas recentes, temporal variável, periódico e não estacionário, com o intervalo de tempo de aproximadamente um dia entre os picos de vazão. O biogás apresentou concentrações na faixa de 75 a 85% de CH₄, 8-16% de CO₂, 100 a 3200 ppm de H₂S.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, UASB, esgoto doméstico, medição em escala real.

INTRODUÇÃO

O tratamento de esgoto doméstico pela via anaeróbia tem se consolidado como uma importante alternativa, no Brasil, com destaque para os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo – UASB. Esses reatores agregam uma série de vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, dentre elas a baixa produção de lodo, os índices mínimos de mecanização, a relativa simplicidade operacional, assim como o bom desempenho na remoção de matéria orgânica (da ordem de 70%) (CHERNICHARO, 2007). Outra potencial vantagem referenciada na literatura especializada é a possibilidade de aproveitamento energético do biogás formado durante o processo de conversão anaeróbia da matéria orgânica, mas estudos recentes apontam para elevadas perdas de metano dissolvido no efluente líquido e para variações sazonais na produção de biogás (SOUZA, 2010; LOBATO, 2011).

É nesse sentido que se insere a presente pesquisa, que tem como objetivo principal aprofundar o entendimento sobre a produção de biogás em reatores anaeróbios, em escala plena, tendo em vista que no Brasil são ainda incipientes estudos nessa linha. Buscar-se-á consolidar informações relevantes em diferentes estações de tratamento de esgoto que empregam reatores anaeróbios em seus fluxogramas de processo, notadamente aquelas que podem influenciar a quantidade e a qualidade do biogás gerado durante o tratamento anaeróbio

dos esgotos. Tais informações são fundamentais para se avaliar a viabilidade de cogeração de eletricidade e calor a partir do biogás gerado nas estações de tratamento de esgoto no Brasil.

A presente pesquisa integra-se a um projeto em andamento do Projeto Brasil - Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil - PROBIOGÁS, fruto de uma cooperação técnica entre a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). O projeto de medição de Biogás em ETE tem parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Com equipamentos de medição in loco e em tempo real estão sendo realizadas medições sistemáticas de biogás em 10 Estações de Tratamento de Esgotos distribuídas pelo país.

O presente trabalho apresenta o projeto, suas principais etapas, peculiaridades atreladas à medição em escala e tempo real e os resultados iniciais do desempenho dos reatores anaeróbios com relação à remoção de carga orgânica presente no esgoto e à produção e composição de biogás.

METODOLOGIA

Para o aprofundamento do conhecimento sobre a produção de biogás em reatores anaeróbios estão sendo realizadas medições dos principais parâmetros que podem influenciar a quantidade e a qualidade do biogás gerado durante o tratamento anaeróbio dos esgotos. O estudo em questão está em andamento e será conduzido ao menos até março de 2016 em 10 ETEs brasileiras.

Para a escolha das 10 estações que são a amostra do presente estudo, foram visitadas um total de 20 que utilizam reatores UASB/RALF e estão distribuídas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

Nas visitas foram verificadas as condições de instalar os medidores e quais as adaptações necessárias para uma medição bem sucedida. Além disso, foram observados os seguintes critérios principais:

- Se existiam fugas significativas de gás;
- Se a vazão era constante ou sofria muita influência da chuva e sazonalidade, considerando tanto o aumento da vazão instantânea pelo evento da chuva, quanto a duração deste regime;
- Se a distribuição do esgoto era uniforme, pois dependendo do local das medições da vazão de esgoto e biogás, é importante uma distribuição uniforme da vazão para os módulos de reatores anaeróbios para que se possa obter uma relação confiável entre a DQO removida e a produção de biogás;
- Se existiam muitos problemas com relação à remoção de espuma; e
- Se havia *by-pass* de parte do esgoto bruto diretamente para o pós-tratamento.

Neste processo, os principais problemas encontrados foram a má vedação dos reatores causando escape de gás e também a formação de espuma de difícil remoção. Sendo este último uma grande limitação operacional, alvo de recentes investigações para o desenvolvimento de mecanismos de remoção, como os trabalhos desenvolvidos na ETE Laboreaux (Itabira-MG) com dispositivo hidrostático de remoção, apresentado por Rosa et. al. (2013) e desenvolvimento de calhas adaptadas, implantadas recentemente na ETE Jacuípe II (Feira de Santana-BA) parte de projeto P&D da ANEEL (ROSENFELDT et. al., 2015).

Já a fuga de gás é um problema que influencia diretamente no resultado das medições e assim nas taxas de geração de metano a serem calculadas. Assim sendo, procurou-se escolher as estações com menor ocorrência desses dois últimos problemas e com mecanismos de prevenção e remoção dos mesmos.

A Figura 1 seguinte mostra exemplos onde foi verificada fuga significativa de gás e a Figura 2 um reator com espuma.

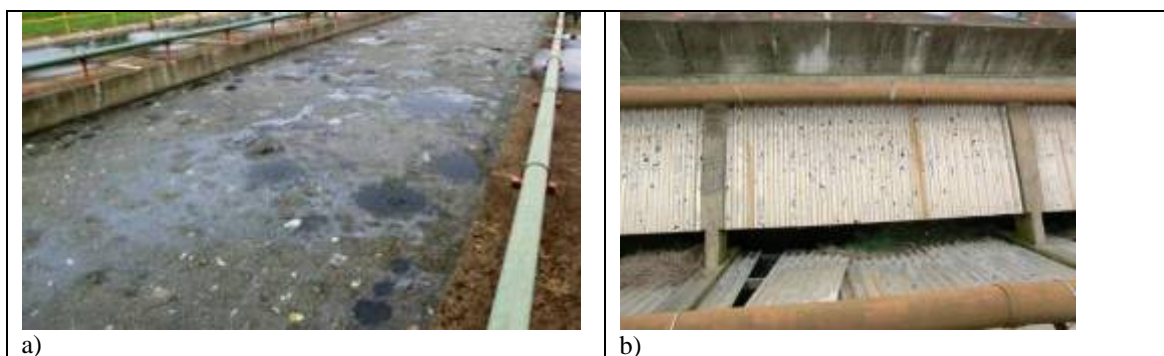


Figura 1 – Reator com fuga visível de gás: a) Bolhas de escape de biogás; b) Defletores furados e deslocados em um dos reatores, causa de escape de biogás.



Figura 2 – Reator com formação de espuma

A Tabela 1 apresenta informações básicas sobre as estações selecionadas para a pesquisa. As estações escolhidas estão listadas na tabela abaixo e sua localização pode ser visualizada na Figura 3 a seguir.

Tabela 1 - Estações participantes do projeto de medição

ETE	PE (hab.)	Vazão atual (L/s)
ETE A	198.000	310
ETE B	207.000	316
ETE C	64.800	90
ETE D	100.000	90
ETE E	200.000	300
ETE F	250.000	400
ETE G	664.200	1080
ETE H	90.000	85
ETE I	92.250	150
ETE J	48.600	90

Para a escolha do local de instalação dos medidores foram observadas as exigências mínimas dos equipamentos, a exemplo do medidor de vazão de biogás tipo Vortex que requer uma distância mínima em trecho reto e sem interferências (curvas, redução, etc.) de no mínimo 15 vezes o diâmetro interno do medidor a montante e 5 vezes a jusante.

Outro ponto observado foi a escolha do local de instalação da mangueira de amostragem de biogás e do quadro de medição da composição. A distância máxima entre eles deve ser de 100m, distância máxima com a qual a bomba do equipamento consegue trabalhar. Atentou-se também para o descarte dessa amostra de gás, sendo que é necessária a instalação de uma mangueira de saída que transporte o gás para fora do local de instalação do quadro.

Os medidores instalados podem ser visualizados nas Figuras 5, 6 e 7.



Figura 5 – Medição da vazão de biogás: a) Linha de gás com os medidores; b) Flange com medidor de pressão e temperatura; c) Medidor de vazão de biogás

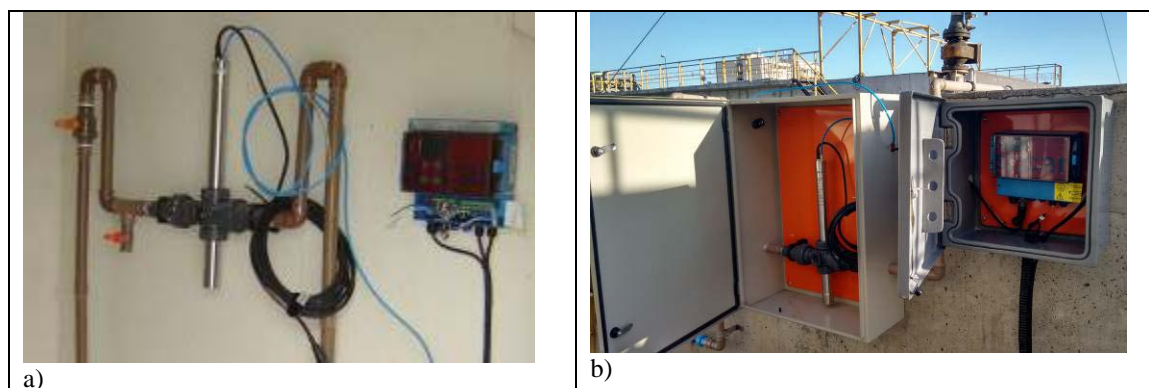


Figura 6 – Medição da DQO - Sonda e seu controlador: a) Instalação dentro da casa de operação; b) Instalação ao ar livre com caixa de proteção.

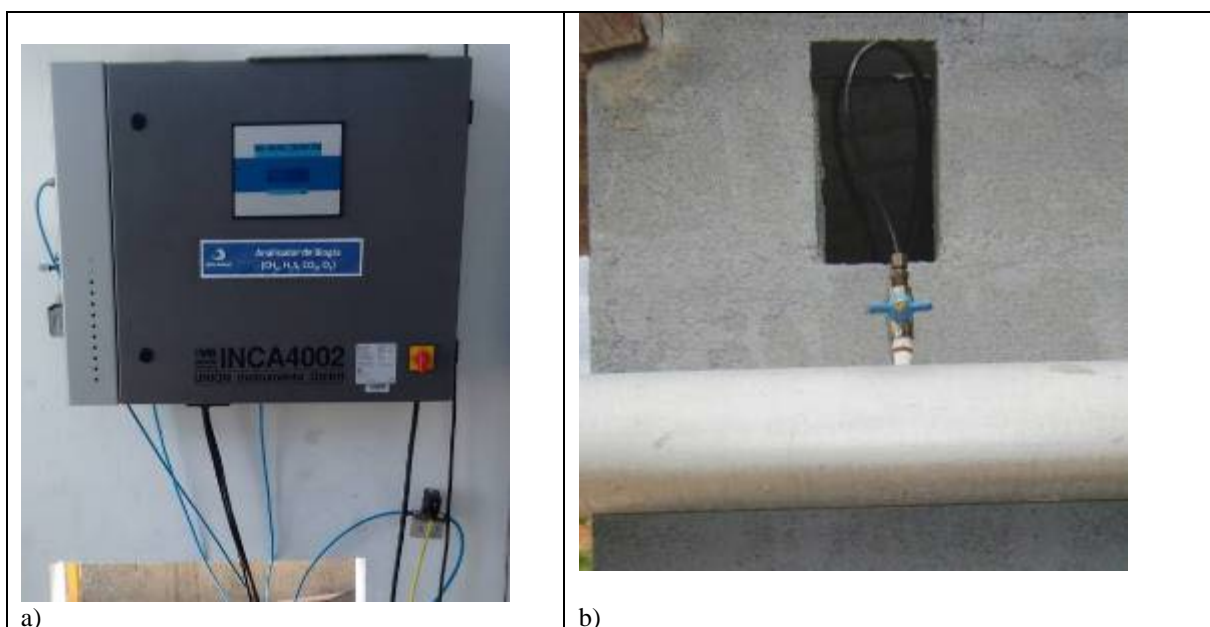


Figura 7 – Medição da composição de biogás: a) Quadro de medição da Union; b) Tomada da amostra de gás.

Depois de instalados os equipamentos, além do monitoramento online dos valores que estes estão transmitindo, é realizado também o acompanhamento no local pelos operadores das companhias. Estes são responsáveis por realizar a calibração do equipamento de DQO, na qual os parâmetros são adaptados para as condições existentes. A calibração pode ser realizada diretamente no local, sem necessidade de desmontar a sonda. Os dados utilizados para cada calibração local vêm de análises laboratoriais e de medições realizadas com a sonda em campo, ou seja, com a mesma amostra deve ser realizada a leitura em campo e em laboratório. É recomendada uma calibração de dois pontos, com o uso de uma amostra com concentração baixa e uma alta. Desta forma, as amostras devem ser escolhidas de forma que cubram a faixa de variação de valores de concentração do esgoto.

Além disso, as sondas devem ser limpas semanalmente para que a sujeira não interfira nas medições.

Como a sonda de DQO apresenta custo elevado, buscou-se uma solução para medir a DQO afluente e efluente com uma única sonda. A alternância é feita por meio de bombas automatizadas que são acionadas de 15 em 15 minutos. É importante observar que o ponto de captação das bombas por vezes se encontra em uma cota acima do analisador de DQO, o que pode ocasionar a formação de sifão em algumas situações, acarretando na mistura dos efluentes no momento da análise, já que não ocorre a interrupção total de uma das linhas com o desligamento de sua respectiva bomba. Através de uma furação no ponto alto da linha é possível "quebrar" o sifão e solucionar esse problema. Algumas companhias obtaram por solucionar a questão com a instalação de válvulas solenoides ou também válvulas atuadas pneumaticamente.

Devido a essa alternância na medição da DQO de entrada e saída, para evitar valores nulos no banco de dados, foi adotado que nos 15 minutos seguintes ao desligamento da bomba o valor permaneceria igual ao último valor medido.

Os dados são transmitidos em intervalos de 5 em 5 minutos por sistema de telemetria SCADAweb (<http://komvex.com>) e ficam armazenados em um banco de dados online. As medições na primeira estação iniciaram em novembro de 2014 e na última delas em março de 2015. Portanto, as medições deverão ter continuidade até março de 2016 para que seja possível avaliar a variação da produção e qualidade do biogás de acordo com as diferentes cargas, as quatro estações do ano (temperatura, chuvas, etc) e regiões do país.

Tratamento dos resultados

Os valores transmitidos são primeiramente salvos em Excel, onde são realizados os testes básicos de plausibilidade e os gráficos para comparação dos dados.

Posteriormente, será empregada a Estatística Descritiva para facilitar a interpretação dos dados (médias, desvios padrões, porcentagens, máximos e mínimos). No entanto, as medidas descritivas ocasionam perda de informações dos dados por agrupar as observações originais. Desta forma, será aplicada também técnica de análise multivariada que reduz a quantidade de dados em fatores, o que facilita interpretação dos mesmos. Para identificar quais tendências, relações e padrões na coleção de dados analisados será utilizado o procedimento matemático de análise da variância (ANOVA), utilizando o software Statistica (StaSoft).

De posse dos resultados das medições nas dez estações, serão analisados os fatores que influenciam a produção e as características do biogás, tendo como meta o estabelecimento de relações unitárias de produção de metano por: i) volume de esgoto tratado; ii) carga de DQO afluente; iii) carga de DQO removida, iv) habitante etc. Estas relações unitárias serão comparadas entre as dez ETEs, na tentativa de estabelecer correlações com fatores que podem influenciar tanto a produção quanto a coleta de biogás, a exemplo da temperatura, do tipo e do sistema de vedação de separador trifásico, do regime de chuvas no período etc.

O potencial de geração de energia será estimado a partir de valores da literatura que indicam a o potencial energético do aproveitamento do gás metano.

Os dados os valores de geração de metano serão comparados com os valores de metodologias, entre eles, o IPCC (2006) e o modelo apresentado por Lobato (2011).

As metas a serem atingidas pela pesquisa, que foram acordadas em convênio entre a UFMG e a Rotária do Brasil, são:

- Estabelecimento de faixas de produção de biogás por m³ de esgoto tratado em reatores UASB, para diferentes condições ambientais e regionais (temperaturas médias do mês mais frio, concentração do esgoto, estações do ano, regiões do país etc.);
- Desenvolvimento de software simplificado para estimativa do potencial de geração de energia a partir do biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico;
- Identificação de parâmetros para operações de UASB que maximizem a geração de biogás;
- Proposição de melhorias nos sistemas avaliados, que possam ser replicados a outras estações de tratamento de esgoto no Brasil.

No presente trabalho são apresentados os resultados iniciais das referidas medições. Porém, por se tratar do período inicial (de adaptação do projeto e de ajuste dos medidores), são dados não conclusivos e serão analisados com ressalvas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos até o momento foram analisados e optou-se por apresentar apenas determinados períodos de maior acurácia. Observou-se que os dados do primeiro mês estavam mais próximos dos valores encontrados através de análise laboratorial pelas companhias. Isso se deve ao fato dos medidores estarem se aproximando da fase de necessidade de calibração, apresentando um *drift* nos dados mais recentes. Os períodos com dados excêntricos devido à necessidade de calibração ou mau funcionamento do medidor foram excluídos dessa primeira análise.

Foi selecionado um período de 6 dias de uma ETE para análise mais detalhada. A seguir são apresentados alguns gráficos e faixas de valores obtidos do período selecionado. Porém, destaca-se que não são dados conclusivos sendo que estes só podem ser obtidos ao final de um período longo e confiável de medições com análise dos demais fatores de influência, após tratamento estatístico dos valores encontrados. Foi aplicada uma média móvel sobre (3-5 horas) que resulta em curvas mais suaves, deixando mesmo assim as características de cada curva.

Na Figura 9 é possível visualizar a média horária da vazão de esgoto e da concentração de DQO afluente e efluente durante o período de 6 dias para a ETE C. Os valores máximos de vazão de esgoto são, de maneira geral, observados entre as 11 e 15 horas e a eficiência média de remoção de DQO foi de 62%. O mesmo comportamento foi observado também em outras estações.

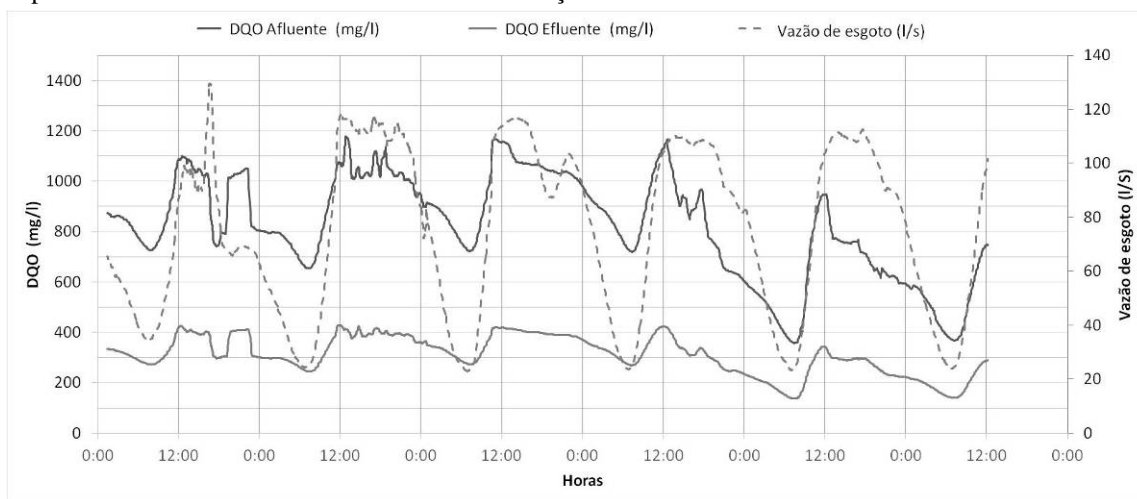


Figura 8 – Médias horárias da vazão de esgoto, DQO afluente e efluente em 6 dias observados da ETE C

Já na Figura 9 pode-se observar como as vazões de biogás e metano variam no mesmo período, sendo que os valores máximos são observados no período de 15 a 18 horas e mínimo de 07 a 10 horas.

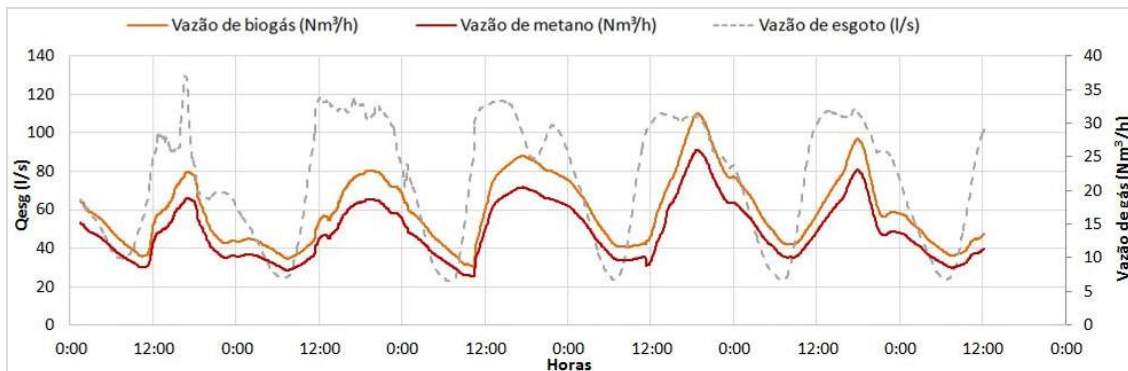


Figura 9 – Variação da vazão de esgoto, biogás e metano durante 6 dias na ETE C

Assim como identificado por Possetti et al. (2013) através de medições realizadas em escala real, a produção de biogás seguiu um comportamento temporal variável, periódico e não estacionário. De modo geral, as medições nesse caso também evidenciaram um padrão diário ($\Delta t = 1$ dia) de produção e desprendimento de biogás. Porém, diferentemente dos valores aqui apresentados, no caso de Possetti et. al. (2013) as vazões máximas ocorreram tipicamente entre 0 e 2 horas e as vazões mínimas entre 12 e 14 horas (ao contrário do hidrograma típico da vazão de esgoto).

Na Figura 10 é possível visualizar a composição do biogás na ETE C para o mesmo período analisado anteriormente e compará-la com a composição do biogás das ETES A, B, D, F, e G. Para melhor visualização todas as escalas dos gráficos foram mantidas idênticas.

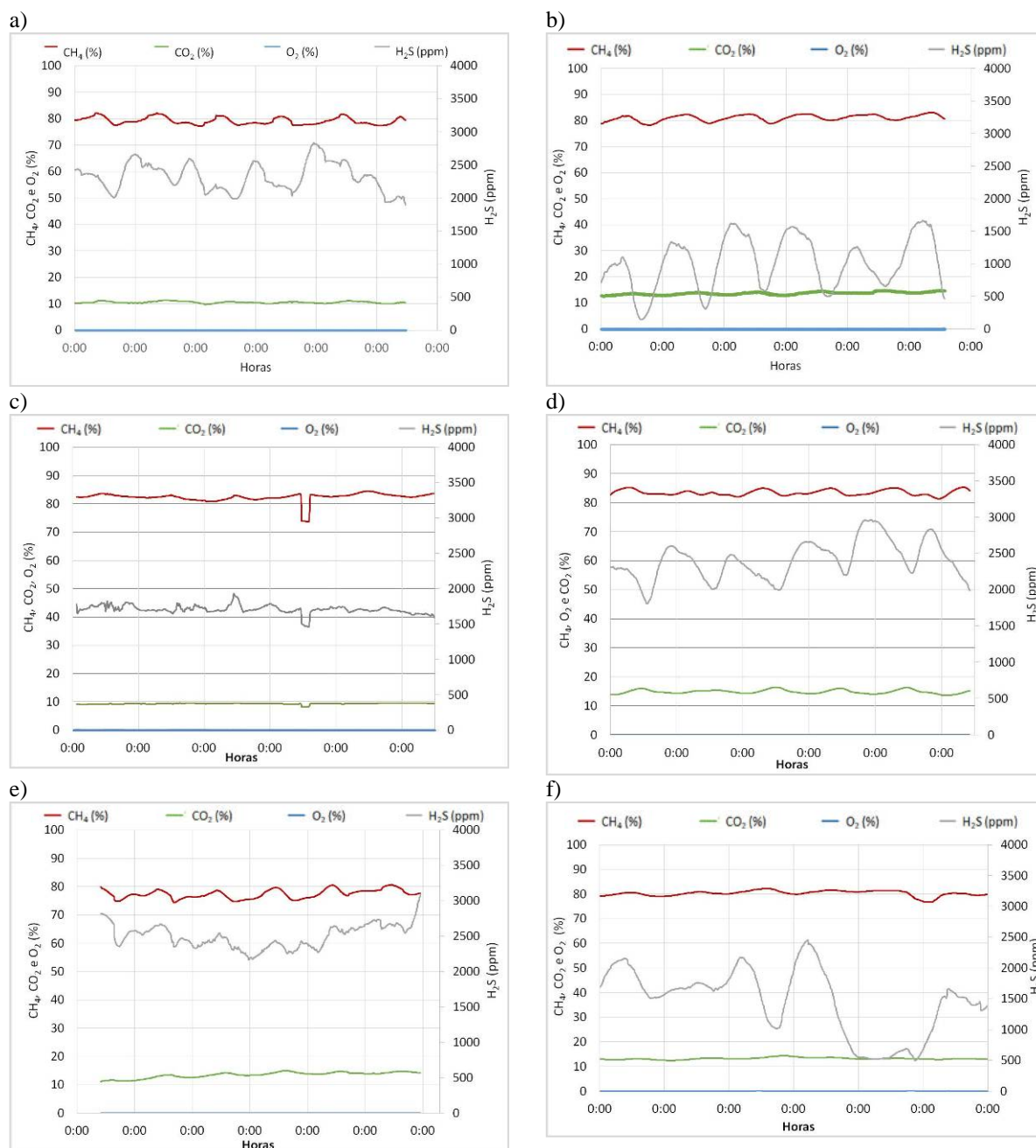


Figura 10 - Composição do biogás: a) ETE A; b) ETE B; c) ETE C; d) ETE D; e) ETE F; f) ETE G.

Observa-se concentrações de metano elevadas (na faixa de 75% a 85%), 8 a 16% de CO_2 e 0 a 0,2% de O_2 . Os valores confirmam a faixa reportada na literatura para biogás de reatores UASB, sendo que a concentração de metano está no limite superior. Já no caso dos valores do H_2S observa-se uma variação maior do que o esperado (100 a 3200 ppm), isto tanto entre estações como também pela variação dentro de uma própria ETE (ETE B 100 – 2000 ppm). Estes serão pontos de atenção para a análise ao longo do projeto.

Ao analisar os dados constata-se que a soma do CH_4 com o CO_2 é menor que 100% (em torno de 92%). Como a literatura indica que o biogás de reatores UASB pode possuir concentrações de N_2 de 10 a 25%, presume-se que a concentração restante para atingir os 100% seja majoritariamente de N_2 (NOYOLA et. al., 2006).

Por fim destaca-se que em medições em escala real com diferentes estações é necessária muita atenção a todos os parâmetros que podem influenciar a geração de biogás e também o funcionamento dos medidores e é necessário controle e comunicação com a parte operacional da estação para o sucesso das medições.

Além disso, destaca-se que pela elevada quantidade de dados, o gerenciamento dos mesmos demanda tratamento estatístico, sendo ainda necessário um robusto sistema de armazenamento e um apropriado software de análise.

CONCLUSÕES

O artigo apresentou as principais características de um projeto de medição em escala e tempo real e resultados preliminares. Por atrasos no desenvolvimento do projeto não foi possível apresentar todos os resultados, assim optou-se por apresentar amostras de períodos exemplares.

As medições em tempo e escala real do biogás produzido em reatores UASB visam fornecer subsídios importantes para os estudos de viabilidade para o aproveitamento energético do biogás.

Ao final do projeto espera-se obter importantes indicadores sobre o comportamento da produção do biogás em reatores de diferentes tipologias e diferentes condições operacionais.

Em um projeto com essa configuração é importante o envolvimento das companhias em nível gerencial e operacional, tendo em vista que para a obtenção de resultados confiáveis e para o bom funcionamento dos medidores faz-se necessária uma manutenção periódica dos mesmos e o acompanhamento de seu comportamento para identificar anomalias.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a todos os envolvidos no projeto, dentre eles o Ministério das Cidades, a GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH) e todas as companhias de saneamento participantes do projeto: Águas do Brasil, CAESB, COPASA, SAAE Itabira, SABESP, SANASA, SANEPAR, SANESUL e SeMAE Rio Preto, e enaltece que seu apoio está sendo imprescindível para o bom andamento do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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).
2. HÖNTZSCH. Vortex VA. Disponível em: <<http://www.hoentzsch.com/en/products/categories/m/vortex-va/>>. Acesso em: 25 mar. 2015.
3. IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (eds.). V. 5, Waste, Chapter 6, Wastewater Treatment and Discharge, IGES, Japan, 2006.
4. KOMVEX. SCADA. Disponível em: <<http://www.komvex.com/site/pt-br/tecnologia.php?id=9&canal=4>>. Acesso em: 20 mar. 2015.
5. LANGERGRABER, G.; FLEISCHMANN N.; HOFSTAEDTER F.; WEINGARTNER A. Monitoring of a paper mill wastewater treatment plant using UV/VIS spectroscopy. Water Science and Technology Vol 49 No 1 pp 9–14. IWA Publishing 2004.
6. 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.
7. LOBATO, L. C. S. Aproveitamento Energético de Biogás Gerado em Reatores UASB Tratando Esgoto Doméstico – Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais UFMG. 2011

8. 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: Anais do 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013.
9. NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J.M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J.E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odour control and energy/resource recovery. *Reviews in Environmental Sciences and Bio/Technology*, v.5, p. 93-114. 2006.
10. ROSA, A. P.; SCHMIDT, A. D. U.; BORGES, J. M.; CHERNICHARO, C. A. L. Acumulação e remoção de espuma em reatores UASB: Estudo de Caso ETE Laboreaux – Itabira/MG. . In: Anais do 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013.
11. ROSENFELDT, S.; CABRAL, C. B. G. ;PLATZER, C. J.; HOFFMANN, H.; ARAUJO, R.A. Avaliação da viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás por meio de motor-gerador em uma ETE. 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015 (a ser publicado).
12. S.:CAN (Austria) (Org.). Spectrometer probes. Disponível em: <<http://s-can.at/>> Acesso em: 30 mar. 2015.
13. SILVA, T. C. F.; POSSETTI, G. R. C.; COELHO, S.. Avaliação do Potencial de Produção de Energia a partir do Biogás Gerado no Tratamento de Esgotos Domésticos. Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Florianópolis, ago. 2014.
14. SOUZA, C. L. Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgotos domésticos em reatores UASB. Tese de Doutorado. UFMG – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Belo Horizonte – MG, 2010.
15. UNION. INCA 4000. Disponível em: <<http://union-instruments.com/inca4000-serie.html>>. Acesso em: 26 mar. 2015.