

II-472 – AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM REATORES UASB OPERANDO EM ESCALA REAL NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DOMÉSTICO

Suelen Ferreira de Araujo⁽¹⁾

Técnica em Saneamento da Companhia de Água e Esgoto do Ceará. Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE.

Silvano Porto Pereira⁽²⁾

Coordenador de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Companhia de Água e Esgoto do Ceará. Biólogo pela Universidade Federal do Ceará. Mestre e doutor em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará.

Ronner Braga Gondim⁽³⁾

Superintendente de Sustentabilidade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará. Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Engenharia do Ambiente pelo Instituto Superior Técnico/Universidade Técnica de Lisboa, Portugal.

Diego Torres Lima⁽⁴⁾

Estagiário em Mecatrônica Industrial da Companhia de Água e Esgoto do Ceará. Estudante do curso Tecnológico em Mecatrônica Industrial e do curso Técnico em Automação Industrial no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE.

Endereço⁽¹⁾: Travessa Elisiário Mendes, 150 – Messejana - Fortaleza - CE - CEP: 60841-477 - Brasil - Tel: (85) 3101-1816 - e-mail: suelen.araujo@cagece.com.br

RESUMO

As tecnologias de digestão anaeróbia de efluentes, amplamente utilizadas em regiões de clima tropical, tem como subproduto o biogás, sendo composto tipicamente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Na busca de otimizar a produção e uso deste recurso, hoje em muitos casos desperdiçado, bem como minimizar possíveis danos associados ao seu descarte, é de fundamental importância o conhecimento da capacidade de produção de biogás pelos reatores e de como estimar tal produção em projetos futuros. Para tanto, a Companhia de Água e Esgoto do Ceará, que utiliza largamente a tecnologia anaeróbia como solução para tratamento de efluentes, vem realizando estudos para viabilizar o aproveitamento do biogás. A Estação de Tratamento de Esgoto Aracapé III, objeto deste estudo, vem apresentando resultados satisfatórios quanto à produção e composição do biogás, abrindo um horizonte otimista quanto a utilização deste recurso.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Tratamento de Efluente, Reator UASB.

INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes pode ser realizado por várias vias, sendo bastante utilizados os que fazem uso de mecanismos biológicos. Estes processos podem ser divididos em tratamento aeróbio, quando há presença de oxigênio para o tratamento, e anaeróbio, quando a matéria orgânica é decomposta na ausência de oxigênio. O tratamento anaeróbio, por sua vez, é amplamente utilizado em vários países por, entre outros motivos, gerar biogás como subproduto. O biogás, consiste em uma mistura gasosa, combustível, composta por metano, gás carbônico e pequenas quantidades de sulfeto de hidrogênio e amônia, além de outros elementos traços.

O aproveitamento deste recurso pode trazer muitas vantagens, tais sejam a ampliação da fonte energética, o aumento da oferta, a descentralização e a economia nos processos de tratamento de esgotos, aumentando a viabilidade da implantação de serviços de saneamento básico, dentre outros. Verifica-se, entretanto, que embora haja um potencial de aproveitamento decorrente do volume elevado de esgotos gerados, principalmente nas metrópoles, são relativamente poucos os projetos em operação no Brasil com aproveitamento de biogás. As principais dificuldades encontradas dizem respeito à viabilidade técnica e econômica e aos problemas operacionais do sistema, indicando que ainda há espaço para o aperfeiçoamento tecnológico e o emprego dessa fonte de energia em escala regional (PNUD: MMA, 2010).

Dentro deste contexto, este trabalho objetivou calibrar modelos de estimativa de produção de biogás de reatores UASBs a partir do monitoramento de uma Estação de Tratamento de Esgoto em escala real, localizada no município de Fortaleza-CE, de forma a dar subsídios para viabilização do seu aproveitamento energético.

A etapa de monitoramento da qualidade do biogás produzido trouxe dados pouco conhecidos de reatores UASB operando em escala real com esgotos sanitários. Os resultados de concentração de metano mostraram ser possível a produção de biogás com concentrações acima de 80% em volume de metano. A razão para isto se deve às altas e uniformes temperaturas dos efluentes no interior dos reatores e ao esgoto bruto ser bastante concentrado. As temperaturas dentro dos reatores variaram ao longo de cinco meses apenas 0,7°C (29,9 a 30,6), isto se deve às características climáticas locais onde no mesmo período foram registradas temperaturas do ambiente entre 26 e 33,5°C. Já em relação à carga orgânica afluente aos reatores, a maior parte das concentrações de DQO manteve-se entre 761 mg.L⁻¹ e 927 mg.L⁻¹, com média de 863,4 mg.L⁻¹ e eficiência de remoção média de 65%.

A eficiência da estação, em termos de DQO removida, apresentou oscilação aceitável para estações de tratamento anaeróbio. A correlação entre esta remoção e a produção de metano, feito através do balanço de massa, apresentou-se condizente com as estimativas obtidas pelas formulações propostas na literatura.

A captação e armazenamento do biogás para posterior produção energética, não só nesta, mas nas demais estações da Cagece que apresentam UASB como tecnologia de tratamento, poderão proporcionar para a Companhia substanciais ganhos relativos a economia de energia.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada de março de 2013 a abril de 2014 por meio de monitoramento contínuo de reatores UASB de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), composta por dois reatores UASB, com volume de 120 m³ cada e capacidade média de tratamento de até 8,9 L/s (32 m³/h), projetada para uma população de 6.145 habitantes.



Figura 01 – Layout da Estação de Tratamento, objeto de estudo

Caracterização do efluente: aspectos quantitativos e qualitativos

A vazão instantânea do afluente da ETE foi monitorada continuamente a partir de um medidor de nível ultrassônico instalado na calha Parshall da estação e conectado a um registrador de dados (Fieldlogger/Novus). Para reduzir imprecisões relativos à medição de vazão com Calha Parshall, previamente se calibrou a curva nível/vazão da calha com o uso de um medidor de referência do tipo área velocidade ultrassônico por efeito Doppler. Os dados de nível da calha Parshall, em conjunto com os dados de vazão do medidor de referência, foram submetidos à mineração e modelagem dos dados para construir uma função específica para as condições

de instalação da calha existente. Com isto garantiu-se a qualidade dos dados de vazão usados neste trabalho. A temperatura do efluente em cada reator foi monitorada continuamente com uso de Sondas RTD (sensor PT-100), interligadas ao registrador de dados mencionado.

Concentração de DQO do afluente e efluente de cada reator foi monitorada, de modo a avaliar a eficiência da remoção de carga orgânica individualmente, seguindo uma frequência semanal e metodologia estabelecida por APHA (2012), por meio do método colorimétrico de refluxo fechado.

Caracterização do biogás: aspectos quantitativos e qualitativos da produção

O volume de biogás produzido em cada reator foi monitorado continuamente por meio de medidores volumétricos do tipo diafragma do fabricante LAO (G4), com seus contadores acoplados ao registrador de dados. De forma automática, são calculadas pelo registrador as vazões horárias de biogás produzido por cada reator. A qualidade do biogás foi avaliada semanalmente em campo com uso de medidor de concentração de gases Dräger X-am 2/5000, em relação às concentrações de metano e gás sulfídrico.

RESULTADOS

Características quantitativas e qualitativas dos efluentes

Durante o período do estudo, a estação recebeu uma média diária de esgotos de 12,16 m³/h, equivalendo a 37,95% do valor de projeto (32,04 m³/h), seguindo uma variação diária segundo mostrado na Figura 02.



Figura 02 - Vazão média de esgoto afluente à ETE Aracapé III entre nov/13 e abr/14.

A Figura 03 resume o conjunto de dados do monitoramento da eficiência de remoção de DQO de cada reator ao longo do estudo.

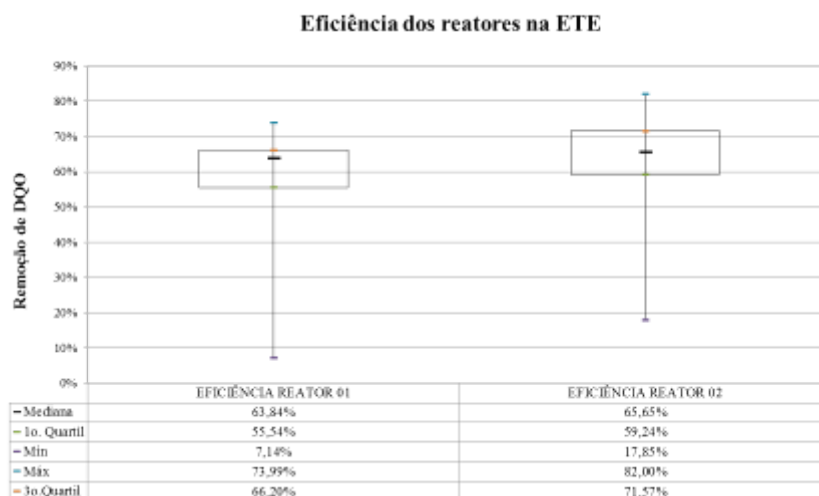


Figura 03 – Estatística básica dos valores de eficiência de remoção de DQO entre os meses de mar/13 e abr/14.

O Reator 02 apresentou eficiência superior durante o período estudado. A maior parte dos dados encontrados neste reator concentrou-se entre 59,24% e 71,57% enquanto a eficiência do Reator 01 variou entre 55,4% 66,20%. Possivelmente os motivos pelos quais o Reator 02 apresentou uma melhor remoção de DQO envolvem: diferentes condições operacionais dos reatores (frequência e volumes de descargas de lodo), falta de equilíbrio na distribuição das vazões afluentes a cada reator e diferença de temperatura entre os mesmos. Quanto a este último fator, foi possível identificar uma diferença média de 1 grau entre os reatores, conforme Figura 04.

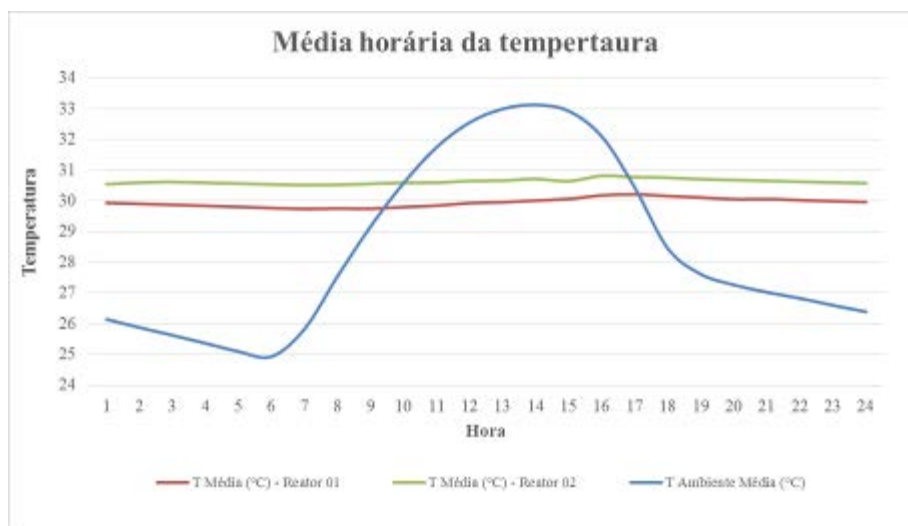


Figura 04 - Média horária da temperatura na ETE Aracapé III entre nov/13 a abr/14.

Em termos globais, considerando a vazão média tratada (291, 84 m³/dia) e remoção média de DQO (61%) a ETE removia uma carga diária de DQO 153,68 kg.

Caracterização do biogás: aspectos quantitativos e qualitativos da produção.

Comparando-se os dados coletados no registrador para a vazão de biogás em cada reator com a vazão afluente de esgoto, foi possível observar que a produção de biogás obedeceu, mesmo com algumas imprecisões, as oscilações de vazão de esgoto afluente à estação, sendo visível a relação direta entre a vazão tratada pela estação e o volume de biogás produzido pelos reatores.

A vazão de biogás, observada durante ao período de estudo, resultou em uma vazão média aproximada de 1,8 m³/h. Comparando as médias observadas nos dois reatores, constatou-se uma menor produção de biogás no

Reator 01, cerca de 48% abaixo do Reator 02. Estes resultados corroboram com a menor eficiência de remoção de DQO observado no item anterior.

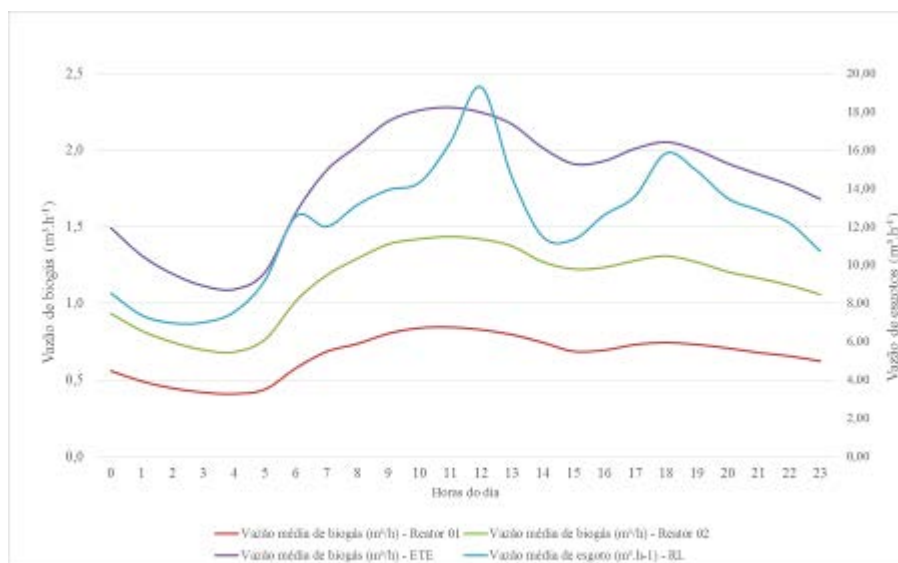


Figura 05 - Comportamento da vazão média horária de esgoto tratado pela ETE e produção de biogás entre os meses de mar/13 a abr/14.

No que diz respeito à composição do biogás produzido, encontrou-se um valor médio de 81% de CH₄ para a ETE Aracapé III (média acumulada dos reatores) com uma variabilidade bastante reduzida conforme se observa na figura 06a, enquanto para H₂S a média foi de 2.846,08 ppm, apresentando uma variabilidade bem marcada (Figura 06b).

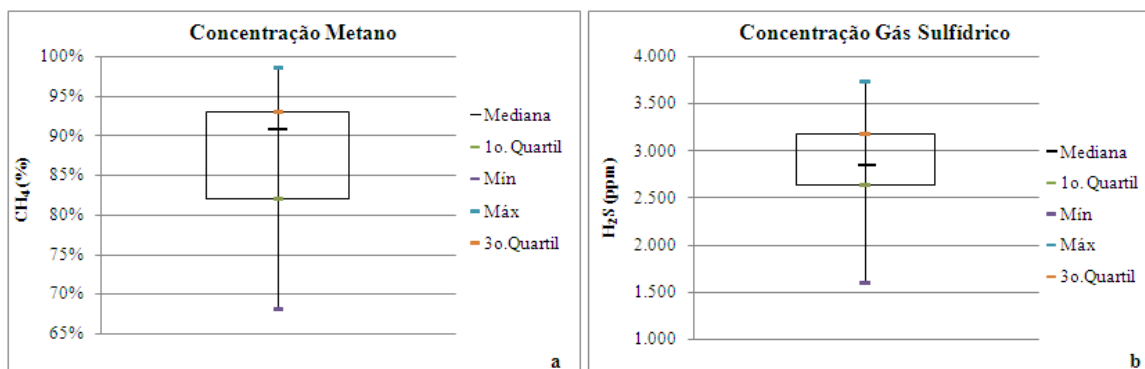
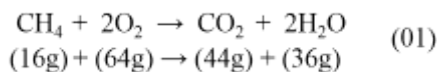


Figura 06 - Estatística básica dos valores de concentração de metano (a) e de gás sulfídrico (b) do biogás monitorado em cada reator entre os meses de mar/13 e abr/14.

A concentração de metano na maior parte das amostras variou entre 82% e 93% apresentando-se acima dos valores conhecidos na literatura, citados em torno de 80%. Contudo, foi observado durante o período de estudo que o analisador de concentração de biogás utilizado nesta pesquisa apresentou algumas imprecisões, variando em até 10% a concentração real. Estima-se que as concentrações reais de metano no biogás tenham variado de 72% a 83%. Foram observados valores elevados em relação às concentrações de gás sulfídrico nos pontos monitorados. O valor mínimo encontrado na saída dos reatores foi de 1.600 ppm e o máximo foi de 3.740 ppm. Valores altos de H₂S são prejudiciais a sistemas de geração de energia sendo necessária a remoção deste da massa de biogás para utilização.

Balço da produo de metano pela ETE.

De acordo com o Chernicharo, (1997), a estimativa da produo de metano pode ser feita a partir da massa de DQO degradada, e acordo com a Equao 01:



A partir desta equao observa-se que um mol de metano requer dois moles de oxignio para sua completa oxidao a dióxido de carbono e água, ou seja, cada 16g de CH₄ produzido e retirado da fase líquida correspondem a remoo de 64g de DQO do despejo. Em termos de volume, nas CNTP (condies normais de temperatura e presso), isso corresponderia a 0,35L de CH₄ para cada grama de DQO removida (CHERNICHARO, 1997). Conforme tal relao, a carga diria de DQO removida mencionada anteriormente (153,68 kg/dia) implicaria na produo de 53,8 m³/dia de metano.

Considerando os valores mdios monitorados de vazão (43,2 m³/dia) e concentrao de metano (81%), chega-se que a ETE gerou cerca de 34,99 m³.dia⁻¹ de metano (35% abaixo do valor calculado acima). A diferena entre o valor calculado e o medido durante o perodo de estudo podem ser justificados pelas parcelas de metano perdido na forma dissolvida no efluente final e pela parcela de DQO removida no convertida em metano (sulfato reduo e converso em lodo biologicamente ativo).

Para uma melhor aproximao na estimativa da produo de metano em reator UASB, so utilizadas as Equaes 02, 03 e 04 abaixo:

$$P_{\text{CH}_4} = \frac{\text{DQO}_{\text{CH}_4}}{K(T)} \quad (02) \quad K(T) = \text{fator de correo para a temperatura:} \quad \frac{(P \times K)}{[R \times (273+T)]} \quad (03)$$

DQO_{CH₄}: carga de DQO convertida em metano (kg DQO_{CH₄}.dia⁻¹)

$$\text{DQO}_{\text{CH}_4} = Q_{\text{md}} \cdot [(S_o - S) - (Y_{\text{obs}} \cdot K_{\text{sólidos}}) \cdot (S_o - S)] \quad (04)$$

Q_{md}: vazão média de esgoto afluente (m³. dia⁻¹)

S_o: concentrao de DQO_{total} afluente (kgDQO.m⁻³);

S: concentrao de DQO_{filtrada} efluente (kgDQO.m⁻³);

Y_{obs}: coeficiente de produo de sólidos no sistema (kgSVT/ kgDQO_{removida});

K_{sólidos}: fator de converso de STV em DQO (valor adotado: 1,42 kgDQO/kgSVT)

Utilizando-se a equao 04, largamente usada em projetos de reatores UASB, e adotando-se um valor para o coeficiente de produo de sólidos (Y_{obs}) de 0,15, a DQO média afluente e efluente de, respectivamente, 863,4 mg/L e 336,9 mg/L, encontradas durante o perodo de estudo, e vazão média de esgoto de 12,16 m³/h, chega-se a uma carga de DQO convertida em metano de 123 kg DQO_{CH₄}/dia, que equivale a 40 m³/dia de CH₄ nas condies mdias de temperatura do reator ou 1,7 m³/h de metano. Tal valor está acima das mdias encontradas, uma vez que a vazão de biogás de 1,8 m³.h⁻¹ com 81% de metano equivale a uma vazão medida de 1,46 m³.h⁻¹ de metano, sendo necessário estudos mais aprofundados que possibilitem avaliar outras varáveis e permitir a validao da equao estimada para produo de metano.

Nesta pesquisa também foram calculadas a produo de metano conforme a estimativa dada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanas Climáticas, entretanto, quando se usa a formulao proposta pelo IPCC, chega-se a um valor muito distinto dos encontrados na pesquisa, no tendo sido considerado neste resumo.

Há, portanto, consideráveis incertezas quanto às estimativas de produo de biogás em reatores UASB, devido às distintas condies de operao e/ou falhas na execuo dos projetos. Apesar desta limitao, o conhecimento da composio química do esgoto e da expectativa de remoo de carga orgânica pelos reatores torna possível prever a quantidade de metano a ser produzida.

CONCLUSÕES

No que diz respeito à produo de biogás, durante o perodo do estudo, foi possível observar que há uma correlao clara entre a vazão afluente da ETE Aracapé III e a produo de biogás. Foi observado ainda que o reator que registrou temperaturas mais elevadas apresentou também maior produo. Será necessário um

acompanhamento na operação destes reatores de modo a avaliar e refinar os fatores que possam contribuir para estas diferenças, que envolvem os procedimentos de descargas, a redução nas diferenças na distribuição do efluente entre os reatores pela bomba, entre outros fatores.

Relativo à qualidade do biogás, a estação apresentou valores favoráveis na concentração de metano, que podem viabilizar o aproveitamento energético deste gás. Os principais desafios para o aproveitamento dizem respeito ao investimento em pré-tratamento do biogás como a remoção de H₂S (ácido sulfídrico, quando em meio aquoso) e/ou da umidade, com o propósito de evitar danos aos equipamentos da instalação e aumentar seu poder calorífico.

A eficiência da estação, em termos de DQO removida, apresentou oscilação aceitável para estações de tratamento anaeróbio.

A captação e armazenamento do biogás para posterior produção energética, nas estações de tratamento de efluentes que apresentam UASB como tecnologia de tratamento, poderão proporcionar às concessionárias substanciais ganhos relativos a economia de energia.

Como recomendações, indicamos que, apesar dos resultados favoráveis, é necessário o conhecimento e avaliação mais aprofundada dos critérios e parâmetros necessários à conversão de efluente em biogás em ETEs como esta, a partir de variáveis discutidas na literatura e de dados estimados ou medidos em campo e em laboratório, de forma a ter resultados mais precisos, para buscar uma maior segurança nas expectativas de projeto quanto à produção de biogás, bem como permitir ajustes operacionais naquelas estações em funcionamento que apresentam baixos rendimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 22nd edition. 2012.
2. CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Reatores Anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 246 p. Belo Horizonte, 1997.
3. LOBATO, L. C. S., **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico**; Escola de Engenharia da UFMG, 171 p., Belo Horizonte, 2011.
4. MMA; MEC; IDEC - **Consumo Sustentável: Manual de educação**. Brasília: Consumers International/Ministério do Meio Ambiente/Ministério da Educação/Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor, 2005. 160 p.