

## II-546 - ESTUDO DA MICROAERAÇÃO EM REATORES UASB TRATANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS

**Roberto Meireles Glória<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade FUMEC. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG). Professor Efetivo do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

**Athos Moisés Lopes Silva<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade FUNCESI. Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

**Tomás Miranda Motta<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade FUMEC. Bolsista de apoio técnico de nível superior no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

**Ana Maria Saldanha dos Santos<sup>(4)</sup>**

Graduanda em Engenharia Civil pelo Centro Universitário UNA. Bolsista no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA-UFMG).

**Claudio Leite de Souza<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Antonio Carlos, 6627 - Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 3319-1025 - e-mail: roberto@contagem.cefetmg.br

### RESUMO

O biogás gerado a partir do tratamento de esgotos por meio de sistemas anaeróbios, como por exemplo, reatores UASB, são passíveis de serem aproveitados do ponto de vista energético, podendo conferir este sistema um caráter de sustentabilidade. Entretanto as características deste biogás não favorecem sua utilização imediata, para, por exemplo, fins energéticos. Um dos principais fatores que trazem prejuízos é justamente a presença do gás sulfeto de hidrogênio, que é formado no sistema de tratamento por meio da utilização, por parte das bactérias redutoras de sulfato (BRS), do sulfato como aceptor final de elétrons. Desta forma o biogás pode chegar, em sistemas anaeróbios em geral, a concentrações variando de 1000 a 20000 ppm a depender da composição do substrato (Lastella *et. al.* 2002). Neste sentido, o uso de técnicas cujo objetivo seja a redução da concentração de gases corrosivos em sistemas anaeróbios se tornam importantes. Neste trabalho, portanto, foi utilizado a técnica de microaeração aplicada na manta de lodo de reator UASB, com o objetivo de promover a redução da concentração de sulfeto de hidrogênio no biogás. Outro objetivo do estudo foi o de avaliar o efeito da microaeração sobre os gases dissolvidos no efluente tratado do reator. Três fases foram testadas, uma fase inicial sem a introdução de ar (fase 1), outra fase com a injeção de ar com fluxo de 30 mL/min (fase 2) e a terceira fase com fluxo de 40 mL/min (fase 3). O reator foi operado com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 7 horas. Resultados preliminares indicaram a eficiência de remoção de H<sub>2</sub>S no biogás da ordem de 99%. Entretanto constatou-se a diluição do biogás pelo nitrogênio e oxigênio, provenientes do ar atmosférico injetado. Os resultados indicaram também que, para as condições testadas, a técnica de microaeração não foi eficaz na remoção de metano e sulfeto dissolvido no efluente tratado. Desta forma conclui-se que a técnica de microaeração é promissora do ponto de vista da remoção de H<sub>2</sub>S em biogás gerado em reatores UASB, entretanto novos estudos devem ser realizados para minimização de problemas de diluição por nitrogênio e presença de oxigênio e maximização da remoção de gases dissolvidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biogás, Metano, Reator UASB, Sulfeto de hidrogênio.

## INTRODUÇÃO

O uso de reatores UASB (UpflowAnaerobicSludgeBlanketReactor) como tecnologia anaeróbia para tratamento de esgotos sanitários tem demonstrado ser uma tendência, pois se adéqua à realidade brasileira tendo em vista que apresenta baixos custos de investimentos, adapta-se bem a climas quentes, possui uma eficiência de remoção da matéria orgânica razoável e a geração de subprodutos como o biogás pode ser aproveitado como fonte de energia renovável (Chernicharo, 2007). Porém, deve-se destacar como desvantagem deste processo, a emissão de gases odorantes e gases de efeito estufa.

Os gases gerados em reatores UASB estão associados particularmente com a atividade anaeróbia e a degradação de compostos presente nos esgotos. Destaca-se como principal gás relacionado ao mau odor proveniente da atividade metabólica, o sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ) (Gostelow, *et. al.*2001). Na digestão anaeróbia, o  $H_2S$  é gerado pela redução de compostos de enxofre utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação do substrato (NOYOLA, *et. al.* 2006).

Desta forma, torna-se necessário minimizar os impactos gerados pelos sulfetos em reatores UASB. Uma série de técnicas podem ser empregadas para minimização do sulfeto, tais como: precipitação, lavagem cáustica e adsorção por carvão ativado. Porém são de custo elevado, pois necessitam da adição de produtos químicos em grandes quantidades, além de poder produzir resíduos secundários. Por outro lado, nos últimos anos, tem crescido o uso de técnicas de tratamento biológico devido às altas taxas de remoção, baixo custo operacional e ausência de subprodutos tóxicos (Díaz, I.; Fdz-Polanco, M. 2012). Neste contexto, o processo de microaeração tem relevante importância. O processo microaeróbio se caracteriza pela injeção de pequenas quantidades de ar ou oxigênio no interior de reatores anaeróbios, para o fornecimento de oxigênio em concentrações que favorecem a oxidação parcial do sulfeto presente no reator (Díaz, I.; Fdz-Polanco, M. 2012).

Pesquisas recentes vêm comprovando o potencial do uso da microaeração para o controle da produção de  $H_2S$  em sistemas anaeróbios. Eficiência de remoção da ordem de 99% de  $H_2S$  em biogás de digestores anaeróbios foram recentemente publicadas (Jeniceket. *al.*, 2007; Diaz *et. al.*, 2010; Diaz *et. al.*, 2011; Ramos *et. al.*, 2014; Ramos *et. al.*, 2014a). A seu turno, Krayzelova*et. al.*, (2014) ao estudar os efeitos da microaeração sobre a remoção de  $H_2S$  em biogás de reatores anaeróbio tipo UASB, operados em escala de laboratório, constataram eficiência de remoção da ordem de 73%. A remoção de sulfetos dissolvidos também foi verificada como efeito da aplicação da microaeração (Diaz *et. al.*, 2011; Krayzelova*et. al.*, 2014).

Como objetivos desse trabalho tem-se: avaliar a eficiência de remoção de sulfeto de hidrogênio no biogás de reator UASB por meio de utilização da técnica de micro aeração introduzida na zona de digestão do reator; avaliar os efeitos da microaeração em relação a produção de metano, também no biogás; investigar o efeito da microaeração sobre as concentrações de metano e sulfetos dissolvidos no efluente tratado do reator.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### APARATO EXPERIMENTAL GERAL

O aparato experimental utilizado na presente pesquisa é constituído de um reator UASB em escala piloto, instalados no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) UFMG/COPASA, localizado na Estação de Tratamento de Esgotos do Arrudas, a qual recebe esgotos domésticos da cidade de Belo Horizonte. O reator UASB, que recebe esgoto de nível preliminar, foi adaptado, acrescentando-se um dispositivo para a promoção da microaeração em um nível da zona de digestão localizada na sua parte mais superior. Para isto, foi utilizada uma bomba peristáltica interligada por tubulação à um difusor de ar instalado no interior do reator. Na Tabela 1 são apresentadas as principais características do aparato utilizado.

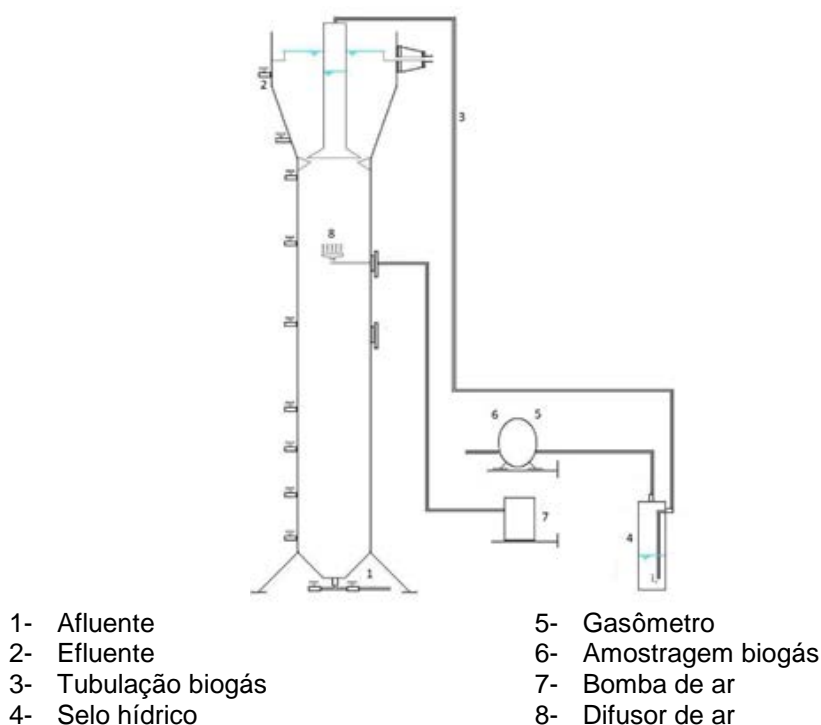
**Tabela 1. Principais características do reator UASB piloto**

Características	Reatores UASB piloto
Diâmetro(m)	0,30
Altura(m)	4,25
Volume útil(L)	360
Vazão microaeração(mL/min)	0 (fase 1)/30 (fase 2)/40 (fase 3)
Altura de injeção de ar(m)	2,50 (do fundo)

O reator UASB em escala piloto foi operando com tempo de detenção hidráulica próximo de 7 horas. A vazão de microaeração utilizada no experimento variou de 0 mL/min até 40 mL/min., com o objetivo de promover a redução dos níveis de sulfeto de hidrogênio no biogás e também de sulfetos e metano dissolvidos no efluente. Um esquema ilustrativo relativo a adaptação do reator UASB para a microaeração pode ser observado na Figura 1. Três fases foram testadas, uma fase inicial sem a introdução de ar (fase 1), outra fase com a injeção de ar com fluxo de 30 mL/min (fase 2) e a terceira fase com fluxo de 40 mL/min (fase 3).

Adicionalmente, foram avaliadas as concentrações de metano, nitrogênio, oxigênio e dióxido de carbono no biogás. Neste sentido buscou-se entender se a microaeração influencia a etapa da metanogênese e/ou se altera os níveis de metano, consequentemente, empobrecendo o biogás. Salienta-se que este mesmo reator foi operado sem a influência da microaeração, de forma a poder se comparar o efeito da modificação por microaeração, monitorando-se sulfeto de hidrogênio e metano (fase 1).

Medições de rotina, adicionais, também foram realizadas para saber sobre a eficiência em termos de remoção de matéria orgânica (DQO) e análise da série de sólidos, para se controlar a biomassa presente no reator. A medição da produção diária de biogás também foi efetuada por meio da utilização de um gasômetro de marca Ritter tipo TG05. .



**Figura 1: Esquema ilustrativo da adaptação do reator UASB para microaeração.**

#### ANÁLISES LABORATORIAIS

Análises de sulfeto nas amostras líquidas foram realizadas segundo o protocolo adaptado por Plaset *et al.* (1992). Os procedimentos de pré-tratamento das amostras e os cuidados nas coletas foram seguidos segundo recomendações contidas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005), método 4500. Análise de DQO e sólidos também seguiram protocolo estabelecido por esta mesma referência. O procedimento utilizado para a amostragem e análise de metano dissolvido foi realizado segundo protocolo descrito em Souza *et al.* (2011). Para a análise de metano, oxigênio, nitrogênio, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S presente no biogás foi utilizado um analisador portátil da marca LANDTEC tipo GEM™ 5000.

## RESULTADOS

Por meio da análise da Figura 2, que reporta os dados da série temporal para  $H_2S$  e  $O_2$ , como constituintes do biogás ao longo das fases operacionais testadas na presente pesquisa, pôde-se perceber que quando houve baixas concentrações de oxigênio houve tendências de aumento da concentração de sulfeto de hidrogênio no biogás. Os dados mostram também que na maior parte de tempo de monitoramento houve predominância de elevada remoção de sulfeto de hidrogênio no biogás do reator microaeróbio, para as fases operacionais 2 e 3, comparado-se com a fase 1. Problemas operacionais ocorrem ao longo da fase 2, o que repercutiu nos pontos de elevadas concentrações de  $H_2S$  para esta fase, evidenciados na Figura 2, os quais foram causados por falhas na bomba de injeção de ar. Estes dados foram excluídos do cálculo da média da concentração deste composto no biogás. Entretanto, este fato foi importante no sentido de entender que, a princípio, a resposta do sistema de tratamento, quanto à redução da concentração de  $H_2S$  no biogás, é rápida, quando o retorno da microaeração é estabelecido. Nestes momentos, a concentração de oxigênio presente no biogás foi relativamente baixa.

Ressalta-se que, na presente pesquisa, foi aplicada quantidade de oxigênio 3 a 4 vezes superior àquela necessária à oxidação estequiométrica do sulfeto que entra no reator UASB como sulfato, promovendo, assim, uma elevada remoção de  $H_2S$ . O que seria uma vantagem, pois segundo van der Zee *et al.* (2007), vem sendo demonstrado que a técnica de dosagem controlada de ar dentro de digestores anaeróbios é uma tecnologia segura, entretanto há necessidade de quantidade excedente de oxigênio (usualmente 8-10 vezes maiores) em comparação com a estequiometria.

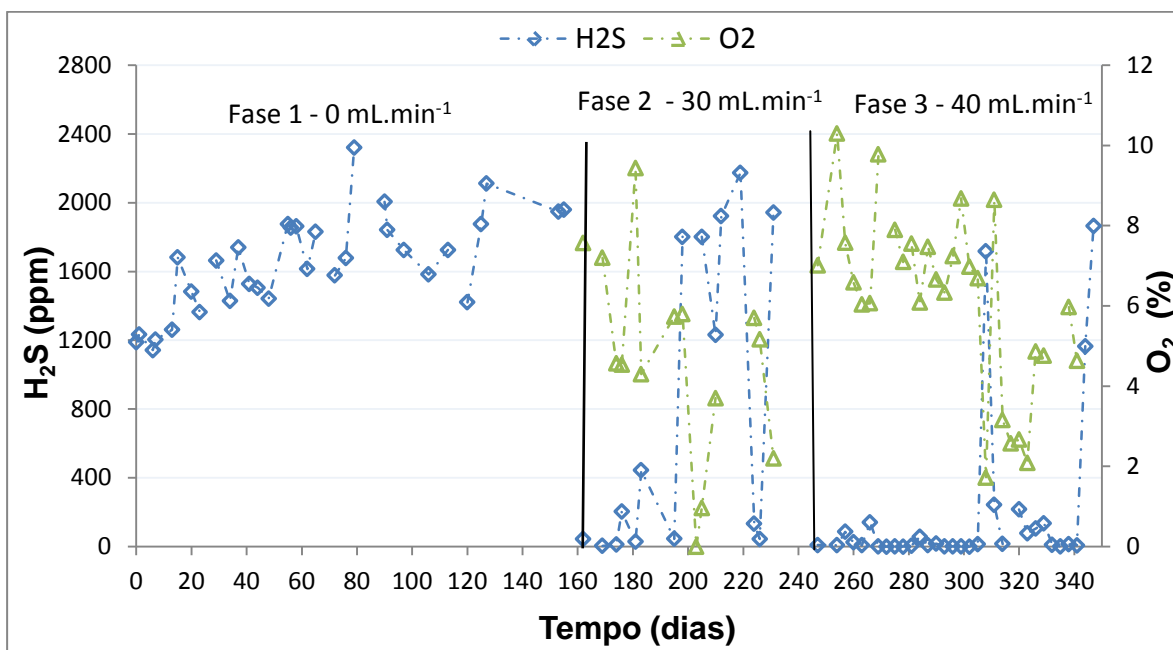
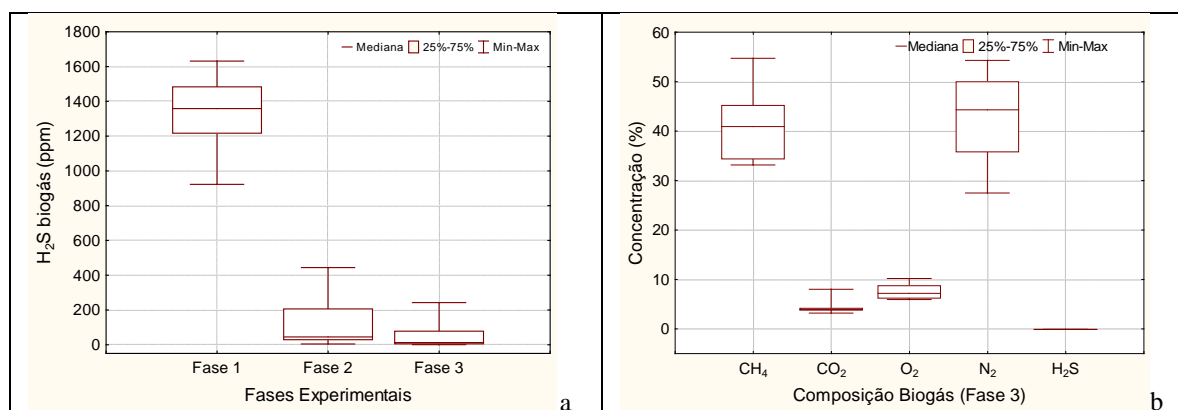


Figura 2: Série temporal para os dados de oxigênio e sulfeto de hidrogênio, como constituinte do biogás nas três fases operacionais.

Por meio da avaliação dos dados do gás sulfeto de hidrogênio presente no biogás na forma de gráficos Box-Wiskers (Figura 3a), percebeu-se que a introdução da microaeração realizada na manta de lodo do reator, para as duas fases microaeróbias (2 e 3), produziu um efeito grande, reduzindo-se significativamente as concentrações de  $H_2S$ . Na fase 1, sem aplicação de tal microaeração, o reator apresentou concentração de  $H_2S$ , em termos de mediana, da ordem de 1358,5 ppm. Enquanto que a concentração deste mesmo gás para a fase 2 e 3, em termos de mediana, foram de 45,0 e 8,0 ppm, respectivamente (Tabela 2). Ou seja, a introdução da microaeração produziu abatimento relativo da ordem de 99% deste gás. A seu turno, se a comparação for em termos de abatimento de carga diária de sulfeto de hidrogênio no biogás, para se retirar o efeito da diluição pela introdução de ar, a minimização fica em torno de 95%, comprovando ser baixo o efeito da diluição e alto o efeito de conversão. Segundo Peu, *et al.* 2012, para evitar-se problemas de operação, em sistemas de aquecimento e geração de energia, por meio da utilização do biogás, a concentração de  $H_2S$  deve ficar menor do que 100 ou 300 ppm, dependendo do equipamento utilizado. Ou seja, pelos resultados obtidos na presente pesquisa, o biogás gerado no reator UASB atenderia a estes requisitos, e nesta situação poderia ser utilizado para fins de aquecimento e geração de energia, com a minimização de problemas como corrosão.



**Figura 3: a) Concentrações de sulfeto de hidrogênio, em biogás, para as fases operacionais 1 (N=10), 2 (N=30) e 3 (N=10); b) Constituição do biogás, para fase operacional 3 (N=10).**

A Tabela 2 apresenta os principais resultados dos fluxos e concentrações de compostos gasosos obtidos nas fases operacionais 1, 2 e 3. Destaca-se que a introdução de ar atmosférico na manta de lodo do reator UASB fez com que se apresentassem elevados níveis de oxigênio e nitrogênio no biogás. Pode-se dizer que houve relativa diluição do biogás, principalmente pela alta concentração de nitrogênio presente no ar atmosférico (fases 2 e 3). A concentração de metano foi, em termos de mediana, da ordem de 51,5%, na fase 2 e de 41,0%, na fase 3, contra 65%, fase 1, demonstrando tal diluição. Já concentração de nitrogênio no biogás foi de 41,5% e 45,0%, para as fases 2 e 3, respectivamente. A concentração do nitrogênio ( $N_2$ ) é usualmente perto de 25% (Cakir and Stenstrom 2005). Percebe-se também concentrações elevadas de oxigênio 5,2% e 7,3%, para as fases 2 e 3 respectivamente.

**Tabela 2: Resultados de medianas para produção de biogás e concentração dos constituintes**

Fase operacional	Vazão ar (mL/min)	Produção de biogás (L/d)	$CH_4$ (%)	$H_2S$ (ppm)	$O_2$ (%)	$N_2$ (%)
Fase 1	0	78	65,0	1358,5	-	-
Fase 2	30	137	51,5	45,0	5,2	41,5
Fase 3	40	156	41,0	8,0	7,3	45,0

Adicionalmente, avaliando a Tabela 2, por meio da comparação da produção de metano nas fases 1, 2 e 3, considerando as concentrações de metano e a produção diária de biogás (L/d) e fazendo o seu produto, entende-se que a produção de metano na fase 2 (71 L/d) e na fase 3 (64 L/d) são maiores que na fase 1 (51 L/d). Desta forma, entende-se que a microaeração, nestas configurações, não comprometeu o processo de produção de metano.

Novamente quanto à remoção de  $H_2S$ , o aumento da taxa de microaeração da fase 2 para a fase 3 promoveu o aumento dos níveis de remoção de  $H_2S$  no biogás. No entanto, os níveis de diluição foram mais intensos na fase 3, certamente devido a esta maior taxa de microaeração utilizada, como pode ser percebido nas Figuras 3a, 3b e Tabela 2.

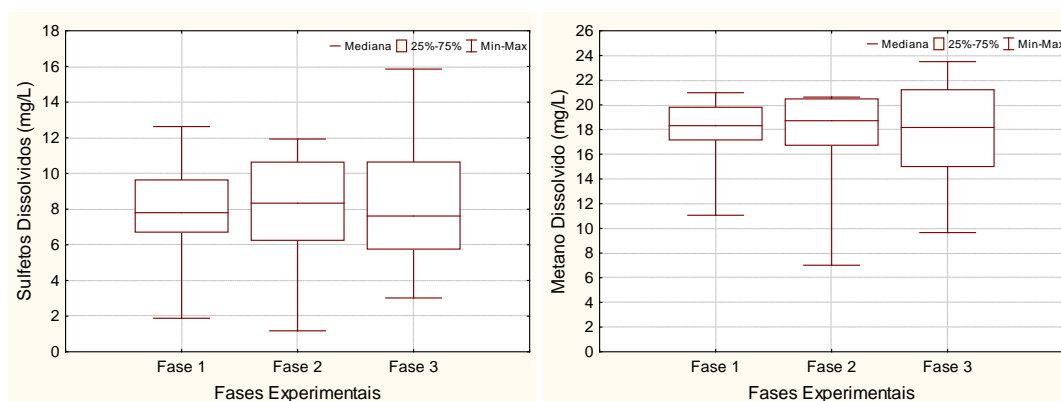
A referida diluição pode ter um lado negativo, pelo fato de haver considerável perda de valor energético no biogás. No entanto, esta diluição não desfigura a sua utilização como recurso energético, já que a aplicação em cogeração energética (elétrica e térmica) requer teor de metano no biogás não abaixo de 40 – 45%. Valores menores do que estes podem efetivamente criar problemas operacionais (FNR, 2010). Mas, na verdade, esta técnica de dessulfurização tem muitas vantagens, como relatado para digestores anaeróbios em geral, e a desvantagem óbvia na perspectiva da obtenção de um biogás de alta qualidade, com alta concentração de metano e baixas concentrações de nitrogênio e oxigênio, como o gás natural (FNR, 2010).

Por meio dos gráficos Box-Wiskers, apresentados na Figura 4, analisou-se os valores encontrados nas três fases operacionais testadas, para as concentrações de metano e sulfetos dissolvidos no efluente tratado do reator UASB. Por meio de uma avaliação simples dos dados, sugere-se que a aplicação da microaeração na manta de lodo não teve efeito positivo na redução dos níveis de metano e sulfetos dissolvidos. Por meio da



análise da mediana dos dados obtidos, obteve-se que os níveis de sulfetos dissolvidos permaneceram, nas três fases operacionais, próximos a 8 mg/L. A seu turno, percebeu-se que as concentrações de metano dissolvido permaneceram, para as três fases testadas, em torno de 18 mg/L, também quanto a mediana.

Contrariamente eram esperadas remoção destes gases dissolvidos, por meio da técnica de microaeração. No contexto do metano dissolvido era esperado a diminuição dos níveis no efluente tratado, devido ao arraste potencialmente promovido pelo fluxo ascendente das bolhas de ar para o biogás. Em se tratando dos sulfetos dissolvidos, era esperado que o efeito da oxidação, química e bioquímica, auxiliassem o controle deste composto no efluente tratado. Neste sentido o possível sucesso desta técnica poderia evitar a utilização de equipamentos externos ao reator UASB para o controle dos gases dissolvidos, evitando-se custos adicionais para o controle de odor, corrosão e lançamento de gases de efeito estufa. Especula-se a falta de êxito da remoção de sulfetos dissolvidos pode estar relacionada a problemas de má difusão do oxigênio dissolvido na massa líquida. Quanto a não remoção de metano dissolvido, pode ter se dado devido a aplicação de bolhas de ar relativamente grandes, prejudicando o efeito de *stripping*.



**Figura 4: a) Concentrações de sulfetos dissolvidos, para as fases operacionais 1 (N=10), 2 (N=10) e 3 (N=35); b) Concentração de metano dissolvido para as fases operacionais 1 (N=10), 2 (N=10) e 3 (N=35).**

Ao avaliar o sistema de tratamento empregado nesta pesquisa, pôde-se entender que a princípio a introdução da microaeração não afetou significativamente a eficiência na remoção de DQO. Neste sentido eficiências de remoção de DQO da ordem de 71%, 66% e 70%, foram obtidas, para as fases 1, 2 e 3, respectivamente. A Tabela 3 apresenta de estatística básica para os valores de DQO das fases testadas na pesquisa

**Tabela 3: Estatística descritiva para análise de DQO (mg/L) realizada nas três fases operacionais**

	N	Média	Mediana	Min	Max	Des. Pad.
<b>EB</b>	36	651	565	115	2061	368
<b>R1/F1</b>	37	199	164	102	391	76
<b>R1/F2</b>	15	188	191	147	215	23
<b>R1/F3</b>	36	177	172	144	229	24

**EB** - Esgoto Bruto; **R1/F1** - Efluente do reator controle R1, na fase 1; **R1/F2** - Efluente do reator R1, na fase 2; **R1/F3** - Efluente do reator R1, na fase 3; N - Número de amostras.

## CONCLUSÕES

A partir das análises do presente estudo conclui-se que a realização de microaeração na manta de lodo em reatores tipo UASB é potencialmente relevante, principalmente na remoção do sulfeto de hidrogênio a níveis que possibilitem o aproveitamento do biogás para fins energéticos. Constatou-se também que, a partir dos dados obtidos na pesquisa, não houve interferência, devido a aplicação da microaeração, na eficiência de remoção de DQO, a qual se situou, em torno de 70%, em todas as fases testadas. Entretanto, novos estudos

com a microaeração devem ser realizados para se conseguir a minimização do efeito da diluição por nitrogênio e oxigênio no biogás.

Conclui-se também que não houve o efeito esperado da redução de metano e sulfeto dissolvidos no efluente tratado do reator UASB, sugerindo que adaptações no dispositivo de microaeração poderão ser necessárias para atingir tal objetivo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao suporte no desenvolvimento da pesquisa e na sua divulgação dado pelas seguintes instituições: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA;AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, 2005.
2. CAKIR, F. Y.; STENSTROMB, M. K. 2005. Greenhouse gas production: A comparison between aerobic and anaerobic wastewater treatment technology. *Water Research*, v.39, p.4197-4203.
3. CHERNICHARO, C.A.L. Reatores Anaeróbios – Princípio do tratamento biológico de águas residuárias v.5, 2ª Ed, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007. 380p.
4. DÍAZ, I.; FDZ-POLANCO, M. Robustness of the microaerobic removal of hydrogen sulfide from biogás, *Water Science & Technology*, v. 65, n.8, p. 1368-1374, 2012.
5. DÍAZ, I.; LOPES, A.C.; PÉREZ S.I.; FDZ-POLANCO, M.. 2010. Performance evaluation of oxygen, air and nitrate for the microaerobic removal of hydrogen sulphide in biogas from sludge digestion *Bioresource Technology* 101. 7724–7730
6. DÍAZ, I., PÉREZ, S.I., FERRERO, E.M., FDZ-POLANCO, M. 2011. Effect of oxygen dosing point and mixing on the microaerobic removal of hydrogen sulphide in sludge digesters. *Bioresource Technology*. 102 (4), 3768–3775.
7. FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE. 2010. Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização. Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha.
8. GOSTELOW, P., PARSONS, S.A.; STUETZ, R.M. Odour measurement in sewage treatment :A review. *WaterResearch*, v.35, n.3, p.579-597, 2001.
9. JENICEK, P.; SMEJKALOVA, P.; POKORNA, D.; ZABRANSKA, J.; DOHANYOS, M. The improvement of anaerobic digestion efficiency by microaerobic sulphide removal - full scale experience. 11ª IWA World Congress on Anaerobic Digestion, 23-27 - September, 2007, Brisbane - Australia.
10. LASTELLA, G.; TESTA, C.; CORNACCHIA, G.; NOTORNICOLA, M.; VOLTASIO, F. 2002. Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification. *Energy Conversion and Management*. 43 - 63-75.
11. KRAYZELOVA, L.; BARTACEK, J.; KOLESAROVA, N.; JENICEK, P. 2014. Microaeration for hydrogen sulfide removal in UASB reactor *Bioresource Technology* 172- 297–302
12. NOYOLA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J. M.; LOPEZ-HERNANDEZ, J. E. .Treatment of biogas produced 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.
13. PEU, P., PICARD, S., DIARA, A., GIRAULT, R., BÉLINE, F., BRIDOUX, G., DABERT, P., 2012. Prediction of hydrogen sulphide production during anaerobic digestion of organic substrates. *Bioresour. Technol.* 121, 419–424.
14. PLAS, C.; HARANT, H.; DANNER, H.; JELINEK, E.; WIMMER, K.; HOLUBAR P.; BRAUN, R. 1992 Ratio of biological and chemical oxidation during the aerobic elimination of sulphide by colourless sulphur bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 36(6), 817-822.
15. RAMOS, I.; FDZ-POLANCO, M. 2014a. Microaerobic control of biogas sulphide content during sewage sludge digestion by using biogas production and hydrogen sulphide concentration *Chemical Engineering Journal* 250 - 303–311

16. RAMOS, I.; PEÑA, M.; FDZ-POLANCO, M.2014. Where does the removal of H<sub>2</sub>S from biogas occur in microaerobic reactors? Bioresource Technology 166 - 151–157
17. SOUZA, C.L., CHERNICHARO, C.A.L., AQUINO, S.F. 2011 Quantification of dissolved methane in UASB reactors treating domestic wastewater under different operating conditions. WaterSci. Technol. v. 64,n. 11, p. 2259-2264.