

II-020 - REMOÇÃO DE SULFETOS EM REATOR ANAERÓBIO COM PRESENÇA DE OXIDANTE

Jéssyca de Freitas Lima⁽¹⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará – *Campus* Limoeiro do Norte. Mestra em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Doutoranda em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará.

Dayane de Andrade Lima⁽²⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará – *Campus* Limoeiro do Norte. Mestra em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba. Doutoranda em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará.

Tales Abreu Tavares de Sousa⁽³⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba - UEPB. Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental - UEPB. Doutorando em Ciência e Tecnologia Ambiental - UEPB.

Israel Nunes Henrique⁽⁴⁾

Químico Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo Prodepa UEPB/UFPB. Doutor em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Pós-Doutorado pelo Edital 028/PNPD/CNPq. Professor do magistério superior da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA.

José Tavares de Sousa⁽⁵⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba. Especialista em Metodologia do Ensino Superior pelo Fundação Universidade Regional do Nordeste. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. Pós-Doutorado PROCAD/CAPES. Professor do magistério superior da Universidade Estadual da Paraíba.

Endereço⁽¹⁾: Rua José Estácio Filho, 012 – Jardim de São José - Russas - CE - CEP: 62900-000 - Brasil - Tel: (88) 9713-5745 - e-mail: jessyca-11f@hotmail.com

RESUMO

O processo que ocorre em reatores anaeróbios denominado de sulfetogênese, é um processo considerado indesejável devido aos vários problemas que ele acarreta com a produção de sulfetos, causando: odores agressivos, corrosão, toxicidade, e diminuição da concentração de metano no biogás. A presente pesquisa objetivou avaliar o desempenho de reatores anaeróbios quanto à concentração de sulfetos presente no efluente, no tratamento de águas residuárias. Foram utilizados dois reatores anaeróbios, do tipo UASB, um com baixa concentração de oxigênio na manta de lodo e outro com características de um UASB sem modificações para serem comparados. Ao se analisar os resultados é possível identificar que a adição de oxigênio resultou na oxidação do sulfeto de hidrogênio produzido no reator UASB a sulfato, obtendo uma concentração final no efluente de $12,09 \pm 3,22 \text{ mg S-SO}_4^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$ e $2,54 \pm 1,92 \text{ mg S-S}^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$, inibindo o mau cheiro e os diversos problemas relacionados com a formação de sulfeto em reatores anaeróbios. O UASB – Controle, obteve uma concentração de $1,57 \pm 0,68 \text{ mg S-SO}_4^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$ e $13,20 \pm 8,65 \text{ mg S-S}^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$, sendo possível afirmar que de fato a sulfetogênese ocorreu de forma efetiva no reator Controle.

PALAVRAS-CHAVE: Sulfato, Sulfeto, UASB.

INTRODUÇÃO

Na natureza o enxofre encontram-se em quatro formas principais: sulfato (SO_4^{2-}), sulfeto (H_2S , HS^- , S^{2-}), enxofre elementar (S^0) e compostos orgânicos sulfídricos (R-SH). O enxofre está sendo constantemente transformado e transportado no meio ambiente, e muitas dessas transformações podem causar transtornos. As alterações podem envolver reações de oxidação-redução química ou podem ocorrer espontaneamente ou associadas a processos biológicos, tais como redução assimilatória e dissimilatória, e dessulfuração. Outro processo biológico que ocorre é a conversão do enxofre orgânico em inorgânico durante a biodegradação do material orgânico pelas bactérias redutoras de sulfato (SUBTIL, 2012).

O sulfato é encontrado nas águas residuárias descarregadas por indústrias farmacêuticas, unidades químicas e também na produção de papel (Zhang, 2013). Valores entre 40 a 70 $\text{mgSO}_4^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$ foram relatados em alguns trabalhos no tratamento anaeróbico de esgotos sanitários do Brasil e da Colômbia. No entanto, em outras partes do mundo vários reatores UASB recentemente construídos, tem encontrado problemas graves devido à presença de níveis muito alto de sulfato no esgoto, como por exemplo no Egito, onde se encontra concentrações de 100-500 $\text{mgSO}_4^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$ (Van Haandel e Van Der Lubbe, 2012).

Os reatores UASB apresentam-se como uma alternativa bastante atrativa para o tratamento de esgotos, no entanto, ainda apresentam algumas limitações não solucionadas completamente, sendo uma delas o gerenciamento de emissões gasosas, como o sulfeto de hidrogênio (H_2S) (CHERNICHARO & STUETZ, 2008). Isso ocorre devido à redução de sulfato, uma vez que as bactérias redutoras de sulfato (BRS) podem reduzir o sulfato a H_2S por meio do processo redução de sulfato dissimilatória, acarretando vários problemas, tais como: toxicidade, odores agressivos, pode estimular a formação de ácido sulfúrico e provocando corrosão das superfícies do reator, sendo elas feita em concreto ou em aço, provoca um efeito tóxico as bactérias metanogênicas, deficiência na remoção da DQO efluente e diminuição da concentração de metano no biogás (BUISMAN *et al.*, 1991; Lens *et al.*, 2000; CHERNICHARO 2007; SUBTIL *et al.*, 2012; Joseph *et al.*, 2012; Zhang *et al.*, 2013; JIANG *et al.*, 2013). O tipo de sulfeto depende do pH, se o mesmo está ácido o sulfeto será volátil como H_2S , o HS^- é a forma predominante a um pH neutro, e S^{2-} é a forma dominante em um pH alcalino (KOYDON, 2004).

A principal desvantagem de reatores anaeróbios é o odor característico e desagradável que ele produz. Segundo a NBR 9896/1993, o odor é definido como uma sensação que resulta da excitação dos órgãos olfativos, é o ato de perceber um cheiro. A propriedade da substância que afeta ou estimula o sentido do olfato é chamada de propriedade osmogênica ou propriedade odorante. Em uma Estação de Tratamento de Água Residuária, os principais compostos odoríficos são provenientes de uma mistura complexa de moléculas com enxofre (H_2S , mercaptanas e outros compostos reduzidos a base de enxofre), nitrogênio (NH_3 e aminas), fenóis, aldeídos, álcoois, ácidos orgânicos (MORALES, 2012). O gás sulfídrico (H_2S) é considerado o principal composto responsável pela percepção de odores em estações de tratamento de esgotos, principalmente pelo fato de o sistema olfativo humano ser capaz de detectá-lo em baixas concentrações, cerca de 5 ppb (LUPATINI, 2007; CARVALHO, 2013).

Aliando-se portanto a diversos problemas, a presente pesquisa objetivou avaliar a oxidação por via aeróbia de espécies de enxofre em reator anaeróbico, do tipo UASB utilizando baixa aeração na própria manta de lodo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sistema Experimental

A investigação experimental consistiu na instalação e operação de dois Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo (UASB) em escala experimental com características distintas entre si.

A primeira fase experimental foi iniciada em novembro de 2013 e teve duração de 6 meses. Durante a pesquisa, os reatores foram operados simultaneamente e sob condições ambientais idênticas. No primeiro reator (UASB – O_2) (**Figura 1a**) foi implantado uma baixa aeração com intuito de manter sulfato – SO_4^{2-} (forma de enxofre mais oxidada), ou enxofre elementar, para que não produza mau odor e uma série de problemas indesejáveis; o segundo reator (UASB – Controle) (**Figura 1b**) foi operado em condições normais de um UASB com o objetivo de ter um reator controle. A **Figura 1c** apresenta a imagem real dos reatores.

Os sistemas foram alimentados com esgoto sanitário proveniente do interceptor leste do sistema de esgotamento sanitário da cidade de Campina Grande – PB. A biomassa utilizada como inóculo para os dois reatores era proveniente de um reator UASB (UpFlow Anaerobic Sludge Blanket). As concentrações do inóculo em termos de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis totais (SVT) foram, respectivamente, de 48 $\text{gST} \cdot \text{L}^{-1}$ e 28 $\text{gSVT} \cdot \text{L}^{-1}$.

As características e aspectos operacionais dos dois reatores UASB estão apresentadas na **Tabela 1**.

Tabela 1: Parâmetros, dimensionamento e operação dos três reatores

Parâmetros	Medidas dos reatores UASB
Volume útil (L)	4
Altura total (m)	0,64
Altura útil (m)	0,54
Diâmetro (mm)	100
Material Construtivo	PVC
Tempo de detenção hidráulica (h)	8
Número de ciclos por dia	3
Vazão efluente (L/d)	12

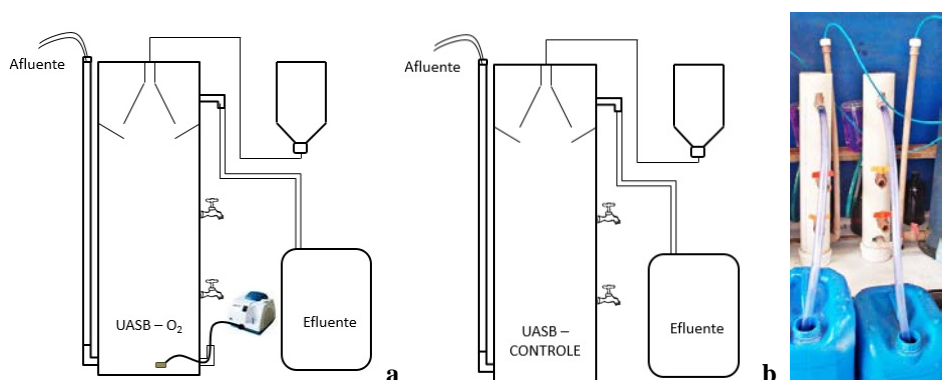


Figura 1: Esquema e Foto do UASB (oxidante - O₂) e UASB (Controle)

Etapas I

No *UASB - O₂* foi implantado uma micro aeração, injetada por pulsos de ar com duração de um minuto a cada duas horas, com uma concentração aproximada de 0,1 a 0,2 mg O₂.L⁻¹, com o intuito de oxidar o sulfeto de hidrogênio produzido pelo reator UASB a sulfato e consequentemente a inibição do odor.

O *UASB - Controle* tem características de um UASB normal, predominando todos os grupos de bactérias anaeróbias, ele serve como referência para o outro reator.

Etapas II

Na Etapa III, foi modificada a concentração de oxigênio injetada no reator *UASB - O₂*. Foi injetado pulsos de ar com duração de dois minutos a cada 0,5 horas, com uma concentração aproximada de 0,1 a 0,2 mg O₂.L⁻¹, com a finalidade de oxidar o sulfeto produzido pelo reator UASB a sulfato e consequentemente a inibição do odor.

Métodos Analíticos

Foram realizadas semanalmente análises dos parâmetros listados na **Tabela 2**. Essas análises foram desempenhadas no afluente e nos efluentes dos reatores, possibilitando assim a verificação de desempenho da eficiência de remoção dos mesmos.

Tabela 2: Parâmetros analisados no acompanhamento do desempenho dos reatores.

Variáveis	Métodos Analíticos	Referência
Demanda Química de Oxigênio	Titulométrico Refluxação Fechada	Seção 5220 C. / APHA et al. (2012)
Sulfato	Método Turbidimétrico	Seção 4500 E. / APHA et al. (2012)
Sulfeto	Método Iodométrico	Seção 4500 B / APHA et al. (2012)
pH	Potenciométrico	Seção 4500 / APHA et al. (2012)
Alcalinidade	Kapp	Seção BUCHAUER (1998)

Os cátions e ânions presentes nas amostras, foram determinados por Cromatografia de Íons, em equipamento Dionex – Thermo Scientific, modelo ICS – 1100. As amostras foram filtradas em membrana de acetato de celulose 0,45 µm e em seguida em 0,22 µm, após a filtragem as amostras foram diluídas e posteriormente analisadas no ICS - 1100.

RESULTADOS

O monitoramento do oxigênio injetado no reator UASB (oxidante – O₂), ocorreu da seguinte forma:

- Quantificação do total de litros de ar que entrava por dia no sistema, monitorado por um gasômetro;
 - Testes respirométricos para verificar a concentração de oxigênio dissolvido dentro do sistema.
- A vazão que alimentava o reator UASB – O₂ na Etapa I era de 20±7 L⁻¹.d e na Etapa II de 29±9 L⁻¹.d

O teste respirométrico foi utilizado para identificar a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) que continha na manta de lodo. Foi utilizado o respirômetro Beluga modelo S32c, desenvolvido no Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG – Universidade Federal de Campina Grande.

Monitoramento do Oxigênio

A **Figura 2** apresenta um respirograma gerado pelo software, onde está expressa a concentração de oxigênio (±0,1 mgO₂.L⁻¹) ao longo do dia, com uma mínima variação. A parte inferior apresenta a variação de temperatura (Etapa I).

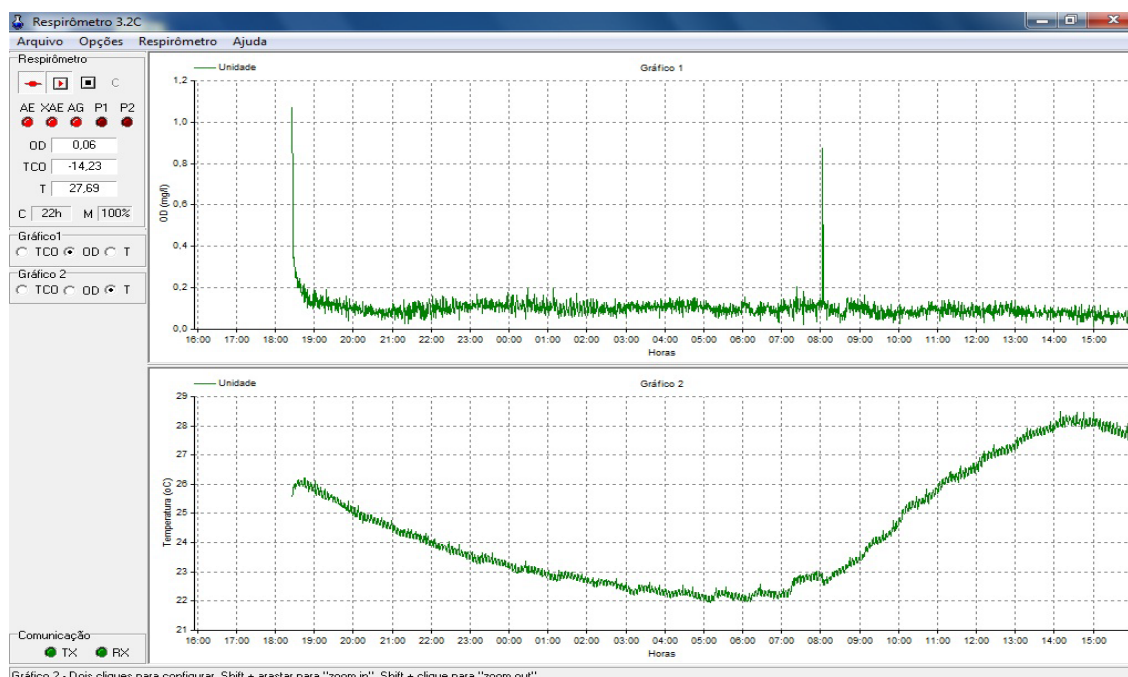


Figura 21: Respirograma com a concentração de OD.

Na **Figura 3** o respirograma corresponde a Etapa II, onde está expressa a concentração de oxigênio (±0,6 mg O₂.L⁻¹) ao longo do dia, com uma mínima variação. A parte inferior apresenta a variação de temperatura.

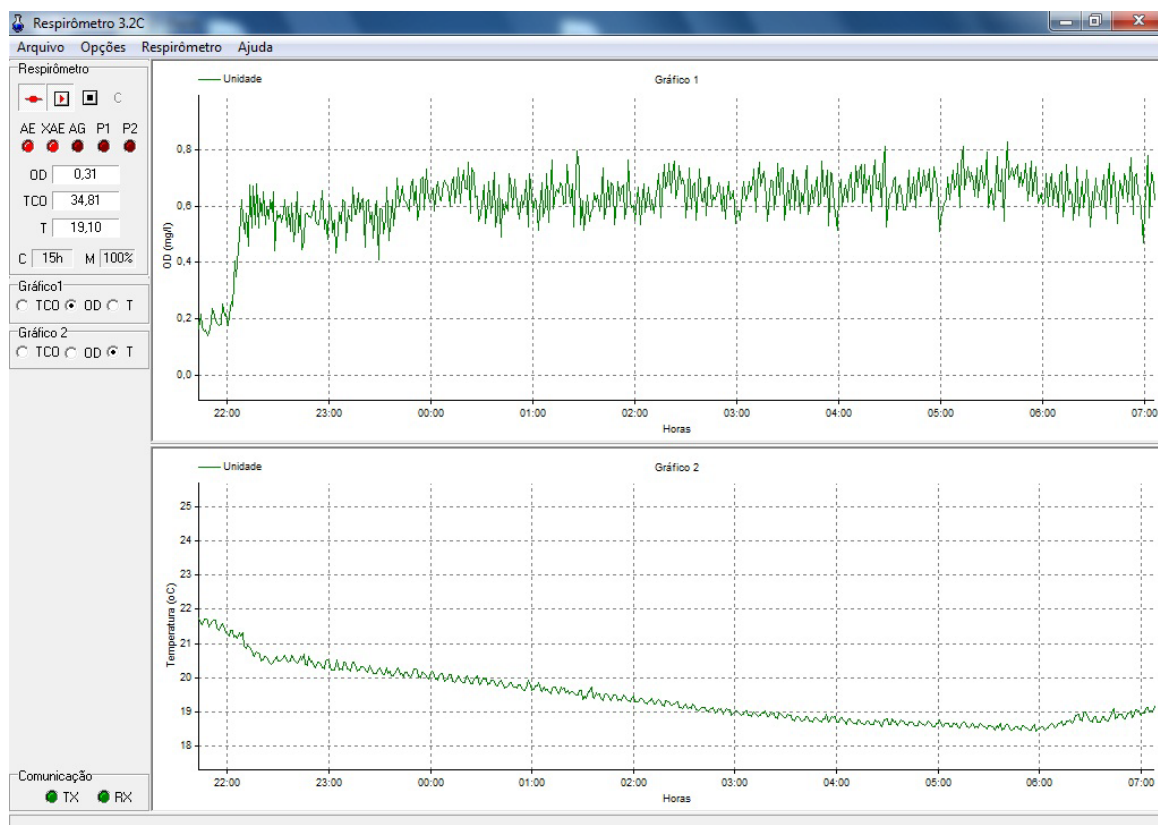


Figura 3: Respirograma com a concentração de OD.

Segundo Oliveira (2008) a aeração contínua ($1-3 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$) por mais de 9 horas reduz significativamente a atividade metanogênica de lodos anaeróbios, porém períodos mais curtos de aeração tem apenas um efeito menor e transitório. Com isso nota-se que o oxigênio injetado não afetou a atividade metanogênica, pois o oxigênio foi injetado por pulsos com duração mínima de 1 min e máxima de 2 min, com espaçamento mínimo de 0,5 h entre os pulsos de ar, além de não atingir $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de oxigênio dissolvido.

Remoção de Sulfetos

A concentração dos íons SO_4^{2-} e S^{2-} foram monitoradas no afluente e efluentes dos reatores UASB. Os resultados obtidos podem ser observados na **Figura 4 e 5**.

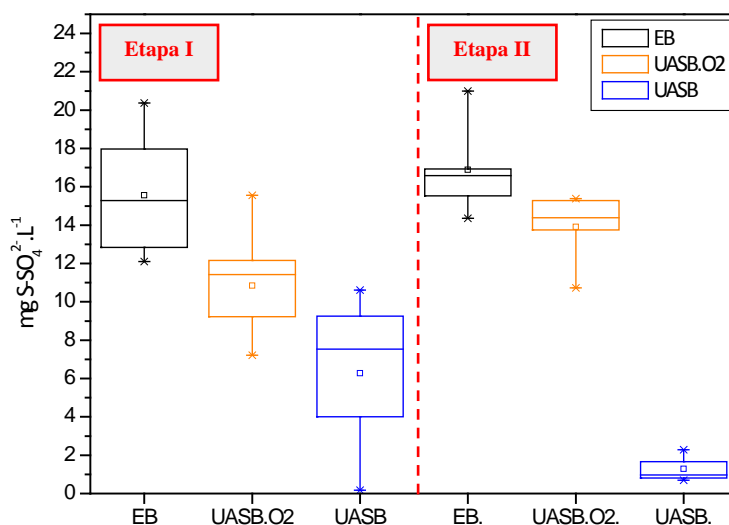


Figura 4: Monitoramento do sulfato na Etapa I e II.

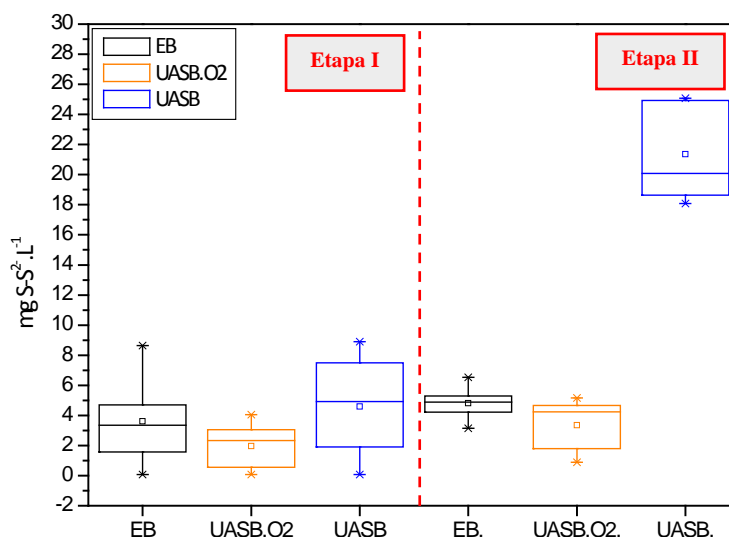


Figura 5: Monitoramento do sulfeto na Etapa I e II.

Na Etapa I, fazendo-se relação das Figuras 4 e 5 (sulfato e sulfeto), é possível identificar que o reator UASB – O_2 , (com adição de oxigênio durante 1 min a cada 2 h) manteve a forma mais oxidada do enxofre ($10,84 \pm 2,23 \text{ mg S-SO}_4^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$), não permitindo assim a formação de sulfeto e consequentemente minimizando o mau cheiro e diversos problemas relacionados com a formação de sulfeto em reatores anaeróbios. Analisando os resultados do reator UASB – Controle, identifica-se que o mesmo obteve uma concentração de sulfeto de $4,60 \pm 2,87 \text{ mg S-S}^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$ e $6,27 \pm 3,47 \text{ mg S-SO}_4^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$, porém os resultados são parecidos com os do UASB – O_2 .

Devido os resultados da Etapa I não serem tão significativos, optou-se por injetar uma concentração maior de oxidante no reator UASB – O_2 , para ser perceptível a diferença entre os reatores. Contudo na Etapa II o oxigênio foi injetado durante 2 min a cada 0,5 h. Ao se observar os resultados desta Etapa, pode-se perceber que a concentração de sulfato e sulfeto para o reator UASB – O_2 foi de $12,09 \pm 3,22 \text{ mg S-SO}_4^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$ e $2,54 \pm 1,92 \text{ mg S-S}^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$ e para o reator UASB – Controle, $1,57 \pm 0,68 \text{ mg S-SO}_4^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$ e $13,20 \pm 8,65 \text{ mg S-S}^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$, sendo possível afirmar que de fato a sulfetogênese ocorreu de forma efetiva no reator Controle, isso porque, em condições anaeróbias as BRS reduzem compostos orgânicos simples como sulfato, e geram sulfeto e alcalinidade (Jong e Parry, 2003). E no reator com adição de O_2 o sulfeto produzido foi rapidamente oxidado a sulfato inibindo assim o mau odor característico de ovo podre.

Para melhor visualização desses dados, realizou-se um balanço de massa (Tabela 3) em termos das concentrações médias de enxofre, com estados de oxidação +6 e -2, afluentes e efluentes aos reatores UASB, onde as concentrações das espécies sulfato e sulfeto dissolvido foram determinados a partir das contribuições de cada composto presente na fase líquida.

Figura 3: Balanço de Massa do Enxofre

	Sulfeto (mg S-S ²⁻ .L ⁻¹)	Sulfato (mg S-SO ₄ ²⁻ .L ⁻¹)	Enxofre (mg S-S.L ⁻¹)
Etapa I			
Esgoto Bruto	3,61	15,56	19,17
UASB – O ₂	1,95	10,84	12,79
UASB – Controle	4,60	6,27	10,87
Etapa II			
Esgoto Bruto	4,30	16,85	21,15
UASB – O ₂	2,54	12,09	14,63
UASB – Controle	13,20	1,57	14,77

Na Etapa I, 67% do enxofre foi recuperado para o UASB – O₂, e 57% para o UASB – Controle. Na Etapa II a recuperação do enxofre foi de 69% para o UASB – O₂, e 70% para o UASB – Controle, e consequentemente a perda foi de 31 e 30% para os reatores respectivamente. Speece (1996) cita que é muito difícil “fechar” o balanço de massa para o enxofre no processo anaeróbico, principalmente devido ao problema do desaparecimento de sulfeto, que pode ser causado pela síntese microbiana de enxofre e precipitação interna do sulfeto produzido.

O Potencial Hidrogeniônico (pH) e a alcalinidade total foi monitorada tanto no afluente como nos efluentes dos reatores, nas 2 Etapas realizadas (Figura 6 e 7).

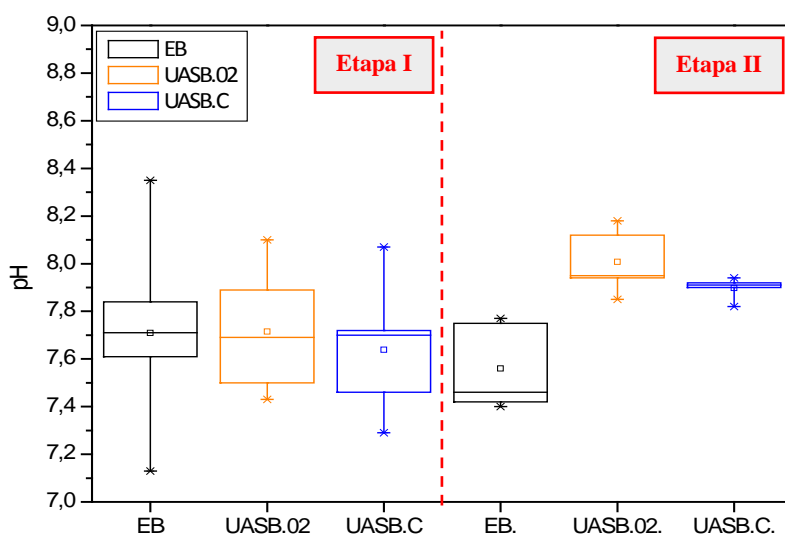


Figura 6: Potencial Hidrogeniônico

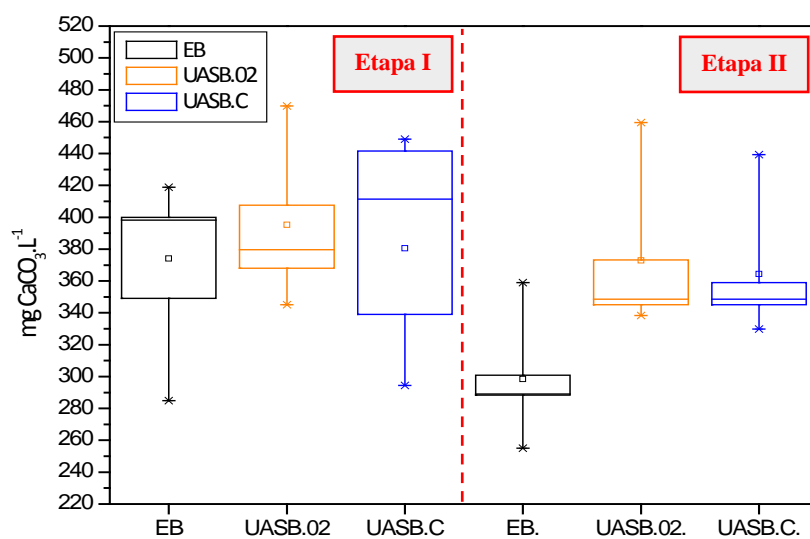


Figura 7: Alcalinidade Total

O controle do pH é bastante importante quando se objetiva a remoção de sulfetos, pois o pH em torno de 7,0, 50% da concentração de íons está na parte dissociada (HS⁻) e 50% está na forma não dissociada (H₂S), menos tóxica e mais tóxica respectivamente (Chernicharo, 2007).

A média das análises diárias de pH (Figura 6) tanto para o esgoto bruto quanto para os efluentes dos reatores na Etapa I e II os valores aproximam-se de 7,5 com um desvio padrão menor que 0,30 sendo um valor muito considerável para uma medida de dispersão. Os valores desejados são de 7,0 a 7,5, pois com valores abaixo de 6,5 e acima de 8,5 já são inibitórios às arqueas metanogênicas (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999).

Os valores de alcalinidade mantiveram-se sempre elevados tanto para o esgoto bruto quanto para os efluentes em todas as Etapas, com uma média em torno de 400 mg CaCO₃.L⁻¹, sendo assim explicada a mínima variação do pH, pois a alcalinidade ajuda a tamponar o pH fazendo com que o mesmo não tenha muitas variações.

Remoção de Material Carbonáceo

Os valores das concentrações de DQO_{total} e DQO_{filtrada}, afluente e efluente aos reatores UASB são apresentadas nas Figuras 8 e 9.

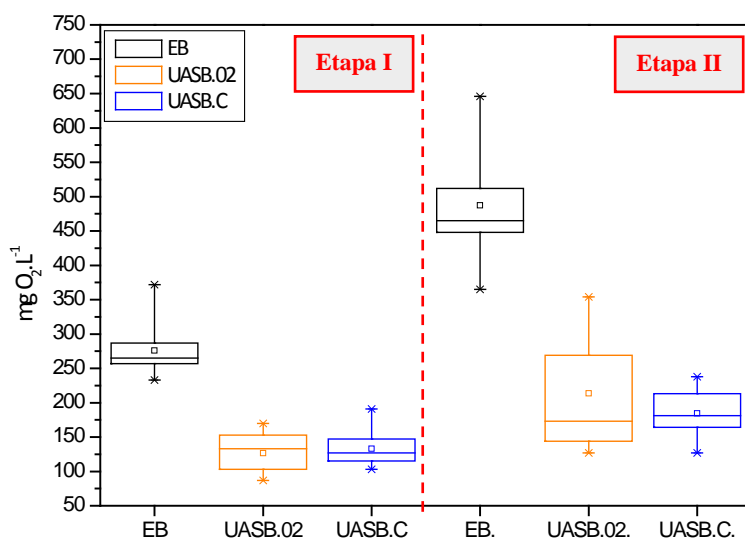


Figura 8: Demanda Química de Oxigênio - Bruta

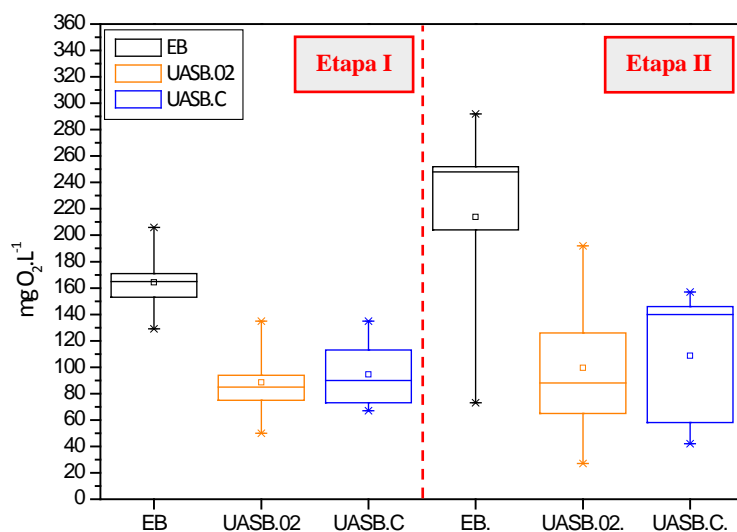


Figura 9: Demanda Química de Oxigênio - Filtrada

Na Etapa I obteve-se uma remoção de 54% e 46% para o UASB – O₂ e 52% e 42% para o UASB – Controle em termos de DQO_{total} e DQO_{filtrada}, respectivamente. Segundo METCALF & EDDY (2003) o esgoto apresenta características de um esgoto fraco.

Na Etapa II a DQO_{total} e DQO_{filtrada} afluenta foi de 501±88 mg O₂.L⁻¹ e 251±88 mg O₂.L⁻¹ (METCALF & EDDY, 2003 avaliam esse esgoto afluenta como um esgoto médio). Permitindo aos reatores uma eficiência de DQO_{total} e DQO_{filtrada} de 58 e 55% para o UASB – O₂ e 59 e 44% para o UASB – Controle. Segundo Metcalf & Eddy (2003), estequiometricamente 1,0 g de DQO é necessário para a redução de 1,5 g de sulfato e, assim, tanto DQO e SO₄²⁻ são removidos no processo.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos na primeira fase, foi possível perceber que:

O uso da baixa aeração na manta de lodo do reator UASB, obteve sucesso, pois a produção de sulfeto foi menor do que em um UASB com condições normais;

- Os testes respirométricos mostraram que o oxigênio adicionado na manta de lodo manteve-se em uma concentração média de 0,1 mgO₂.L⁻¹;
- Os reatores obtiveram uma remoção de material carbonáceo em termos de DQO de 63 e 54% para UASB – O₂ e 61 e 52% para UASB – Controle, na Etapa I e II respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT., 1993. **NBR 9896: Glossário de Poluição das Águas**. Rio de Janeiro, 94p.
2. APHA., 2012. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22^a. ed. Washington: American Public Health Association.
3. BUISMAN, C. J. N., LETTINGA, G., PAASSCHENS, C. W. M. HABETS, L. H. A., 1991. **Biotechnological sulphide removal from effluents**. Wal. Sci. Tech. Vol. 24. No. 3/4. p. 347-356.
4. CARVALHO, G. R., 2013. **Toxicity of species of sulphur in anaerobic reactor treating domestic wastewater**. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica. v. 6, p. 29-41.
5. CHERNICHARO, C. A. L.; STUETZ, R.M., 2008. **Improving the design and operation of UASB reactors for treating domestic wastewater: Management of gaseous emissions**. IX Taller y Simposio Digestión Anaerobia, Ilha de Páscoa.
6. CHERNICHARO, C. A. L., 2007. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Reatores Anaeróbios**. 2^a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. 496 p.

7. Gutierrez. O., *et al.*, 2014. **Assessment of pH shock as a method for controlling sulfide and methane formation in pressure main sewer systems.** water research. v. 48. p. 569-578.
8. JIANG, G., *et al.*, 2013. **Dosing free nitrous acid for sulfide control in sewers: Results of field trials in Australia.** WATER RESEARCH, v. 47, p. 4331-4339.
9. JOSEPH. A. P., *et al.*, 2012. **Surface neutralization and H₂S oxidation at early stages of sewer corrosion: Influence of temperature, relative humidity and H₂S concentration.** WATER RESEARCH. v. 46. p. 4235-4245.
10. KOYDON, S., 2004. **Contribution of sulfate-reducing bacteria in soil to degradation and retention of COD and sulfate.** Zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieur von der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Fridericiana zu Karlsruhe (TH). Karlsruhe.
11. LENS P. N. L., SIPMA, J., HULSHOFF POL L. W., LETTINGA G., 2000. **Effect of nitrate on acetate degradation in sulfidogenic staged reactor.** WATER RESEARCH, v.34, n.1. p. 31-42.
12. LUPATINI, G., *et al.*, 2007. **Monitoramento de odores de estação de tratamento de esgoto anaeróbio em Quatro Barras/PR.** In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais... Belo Horizonte.
13. METCALF e EDDY., 2003. Inc. **Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse.** 4. ed. NewYork, McGraw - Hill Book, 1815p.
14. MORALES, M., *et al.*, 2012. **Biofiltration of hydrogen sulfide by Sulfolobus metallicus at high temperatures.** Water Science & Technology, vol. 66, p. 1958-1961.
15. SUBTIL, E. L.; CASSINI, S. T. A.; GONÇALVES, R. F., 2012. **Sulfate and dissolved sulfide variation under low COD/Sulfate ratio in Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) treating domestic wastewater.** Ambi-Agua, v. 7, n. 1, p. 130-139.
16. VAN HAANDEL, A. C. & VAN DER LUBBE, J., 2012. **Handbook biological wastewater treatment, design and optimization of activate sludge systems.** 2 ed. s.l.:IWA.
17. Zhang, J., *et al.*, 2013. **Biological sulfate reduction in the acidogenic phase of anaerobic digestion under dissimilatory Fe (III) e Reducing conditions.** water research, v. 47, p. 2033-2040.