

OXIDAÇÃO DE SULFETOS: UMA ALTERNATIVA PARA MINIMIZAR OS PROBLEMAS COMUNS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO QUE UTILIZAM REATORES UASB

Rodrigo de Andrade Barbosa¹
José Tavares de Sousa²
George Rodrigues Lambais³
Salomão de Sousa Medeiros⁴
Mateus Cunha Mayer⁵

RESUMO

No tratamento de esgoto sanitário em reatores UASB ocorre a digestão anaeróbia, dentre os vários processos que a compõe, a sulfetogênese ocasiona a produção de sulfetos, que resulta em vários problemas, como: emanção de odores, corrosão, toxicidade e diminuição da concentração de metano no biogás. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar alternativas de oxidar os sulfetos, reduzindo a concentração no efluente e no biogás de reatores UASB em plantas de tratamento de esgoto sanitário. Foram estudados 3 reatores, dois microaeróbios e um reator UASB com adição de nitrato ao afluente. Ao se analisar os resultados do monitoramento dos reatores, identificou-se que os reatores UASB submetidos a ambiente microaeróbio tiveram eficiências de remoção de sulfeto superiores a 90%. E uma produção de enxofre elementar de aproximadamente 28% em relação ao enxofre total afluente. O reator UASB com adição de nitrato apresentou eficiência de 98% na remoção de sulfetos, com concentração média de $0,2 \pm 0,06 \text{ mg S-S}^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$.

Palavras-chave: Remoção de sulfetos, Microaeração, Tratamento de esgoto.

INTRODUÇÃO

A utilização de reatores anaeróbios no tratamento de esgotos, onde normalmente encontra-se concentrações de sulfato entre 20 e 50 mg/L, proporcionando condições favoráveis à ação das bactérias redutoras de sulfato que irão utilizar o oxigênio como aceptor final de elétrons, obtendo energia para oxidar matéria orgânica e gerar subprodutos de enxofre na forma reduzida, que são tóxicos, corrosivos e causam maus odores (METCALF & EDDY, 2003). Este processo é denominado como sulfetogênese e compete com a metanogênese, influenciando na eficiência do processo de digestão, diminuindo a produção de metano e

¹ Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, rodrigo.barbosa@insa.gov.br;

² Professor da Universidade Estadual da Paraíba-UEPB, sousajf@cct.uepb.edu.br;

³ Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, george.lambais@insa.gov.br;

⁴ Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, salomao.mederios@insa.gov.br;

⁵ Pesquisador do Instituto Nacional do Semiárido - INSA, mateus.mayer@insa.gov.br;

aumentando a concentração de matéria orgânica no efluente do tratamento (VISSER et al., 1996).

O principal subproduto da sulfetogênese é o sulfeto de hidrogênio, também conhecido como gás sulfídrico, extremamente tóxico, tanto para os microrganismos quanto para os seres humanos, pode estimular a formação de ácido sulfúrico, podendo corroer as tubulações ou o próprio reator sendo ele feito em concreto ou em aço, além de produzir um odor desagradável, que é perceptível em concentrações mínimas, causando desconforto nas áreas circunvizinhas as estações de tratamento de esgoto. A exposição a esse gás pode afetar a saúde das pessoas, principalmente daquelas que se expõem mais frequentemente, como é o caso dos operadores das ETEs. No anexo XI da NR 15 (115.000-8) estabelece que para jornadas semanais de até 48 horas, é permitido a concentração de até 8 ppm de gás sulfídrico em locais de trabalho. Existem inúmeros processos para a remoção de sulfetos, eles envolvem injeção direta de ar, precipitação química e oxidação. Os requisitos de energia relativamente elevada ou os elevados custos químicos e de tratamento de lodos, constituem inconvenientes importantes destes métodos. Nos processos que envolvem oxidação de sulfetos, como aeração, cloração, ozonização, permanganato de potássio e peróxido de hidrogênio, além de enxofre elementar, o tiosulfato de sódio ($S_2O_3^{2-}$) e sulfato (SO_4^{2-}) também podem ser formados como produtos finais. (JASSEN et al., 1999). Desta forma, os sulfetos gerados no tratamento anaeróbio de esgoto sanitário devem ser removidos, preferencialmente através de um sistema que remova sulfato e sulfeto, simultaneamente, obtendo no efluente final enxofre elementar que pode ser recuperado e reutilizado na agricultura ou na indústria. Segundo Buisman et al. (1990), o sulfeto de hidrogênio e o dióxido de enxofre são convertidos a enxofre elementar através do ciclo biológico do enxofre, desde que seja submetido a baixa concentração de oxigênio. Então menos de 10% dos sulfetos (em concentração maior que 10 mg/L) são convertidos a sulfato, com maior parte convertida a enxofre elementar.

Contudo, Segundo Rocha et al. (2009), os reatores UASB se tornaram uma alternativa muito vantajosa para o tratamento de despejos líquidos no Brasil, pois o clima é um fator condicionante, além de possuir baixos custos de instalação e operação. Estas grandes vantagens em utilizar processos anaeróbios para tratamento de águas residuárias, em alguns casos inibe a preocupação com o potencial de geração de odores e gases corrosivos e suas consequências.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a oxidação de sulfetos em reatores UASB, produzindo enxofre elementar no final do processo de tratamento, utilizando técnicas como a microaeração e desnitrificação. Este enxofre é potencialmente valioso, e pode ser

recuperado para posterior reutilização na produção de ácido sulfúrico, fertilizantes ou ser aplicado em processos de biolixiviação (JASSEN et al., 1994).

METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES), pertencente à Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) cedida a UEPB/UFCG/INSA para utilização na realização de pesquisas, localizada em Campina Grande-PB. O esgoto sanitário do setor leste da cidade é transportado por um emissário, um trecho deste passa no interior da EXTRABES, onde existe um poço úmido conectado ao mesmo, o esgoto sanitário é acumulado, posteriormente, é recalcado por uma bomba submersa (Anauger 65m AN900) até um tanque de equalização. De onde o esgoto era bombeado para os reatores.

A investigação experimental consistiu na instalação, operação e monitoramento de quatro reatores UASB em escala experimental denominados R1, R2 e RNO₃₋₁ e RC₁, suas características estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1- Principais características dos reatores anaeróbios

CARACTERÍSTICAS	R1	R2	RNO ₃₋₁	RC ₁
Volume útil (L)	10,4	9,0	1,0	2,0
Altura total (m)	1,42	1,20	0,85	1,10
Altura útil (m)	1,32	1,14	0,80	1,03
Diâmetro (mm)	100	100	40	50
Material Construtivo	PVC	Acrílico	PVC	PVC
TDH (h)	10,4	12,0	3,0	4,0
Vazão afluyente (L/d)	24	18	3	12

Reator UASB microaerado de fluxo semicontínuo (R1)

O reator UASB com microaeração em fluxo semicontínuo (R1) apresentado na Figura 1, tem como diferencial a microaeração, implantada com intuito de oxidar sulfetos e obter enxofre elementar ou manter o enxofre na forma de sulfato (SO_4^{2-}), forma mais oxidada, visando a redução de mau odor e outros problemas indesejáveis. O esgoto sanitário foi armazenado em tanque de equalização (TE) com volume de 150L, provido de agitador mecânico para homogeneização, a alimentação contínua foi possível devido ao uso de uma bomba dosadora (A).

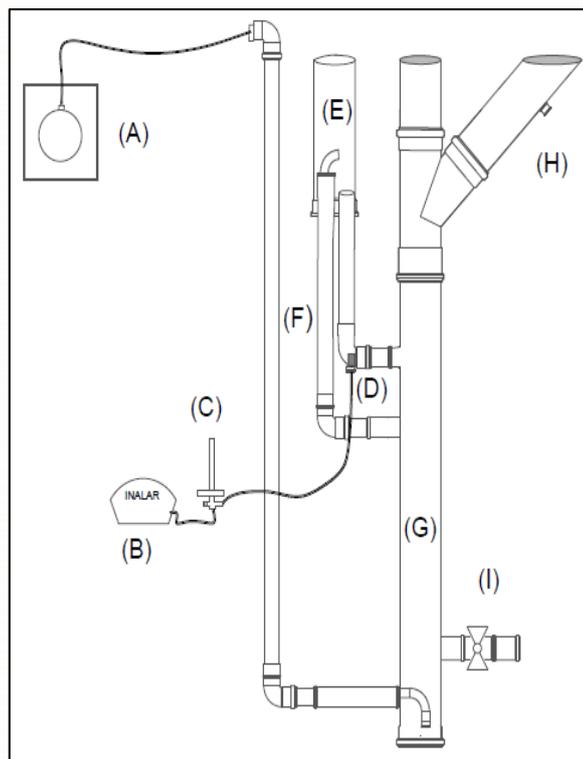


Figura 1 - Reator anaeróbio microaerado com fluxo semicontínuo (R1)

Fonte: Própria

(A) – Bomba dosadora bombeando esgoto bruto do tanque de equalização; (B) – Nebulizador (Nebular Plus®, Daru, Inhauma, RJ, Brasil); (C) – Fluxômetro (Oxigel, São Paulo, SP, Brasil); (D) – Pedra Porosa inserida no tubo de PVC 20 mm; (E) – Compartimento de aeração; (F) – Tubo de PVC 20 mm para retorno do efluente oxigenado; (G) – Zona de digestão do reator UASB; (H) – Saída do efluente tratado; (I) – Ponto de retirada de lodo.

A microaeração era semicontínua, utilizando um temporizador analógico, programado para ligar a microaeração durante 15 minutos e permanecer 60 minutos desligada. Totalizando 19 ciclos diários. Era realizada utilizando um tubo de PVC com 20 mm de diâmetro (D) localizado acima da manta de lodo do reator, onde uma pedra porosa foi adicionada ao interior do tubo para injetar e distribuir ar atmosférico oriundo de um nebulizador (Nebular Plus®, Daru, Inhauma, RJ, Brasil).

A vazão de ar afluente necessária ao reator era baixa, principalmente, quando comparada a vazão naturalmente fornecida pelo nebulizador, então foram necessárias derivações de tubos, permitindo que parte do ar fosse perdido para atmosfera antes de chegar ao fluxômetro (Oxigel, São Paulo, SP, Brasil) e conseqüentemente ao interior do compartimento de aeração.

Devido ao equilíbrio hidrodinâmico ocorre o deslocamento de uma fração do efluente do reator UASB para o recipiente (E) apresentado na Figura 4, onde ocorrerá a microaeração. O efluente oxigenado foi transportado para o interior do reator através de um tubo de PVC 20 mm (F) chegando a cerca de 0,20 m antes do separador de fases, que pode ser observado na Figura 4. A vazão de ar foi quantificada utilizando um fluxômetro de oxigênio, durante as leituras observou-se uma média de 0,1 mL de ar por minuto. Então em cada ciclo tinha-se 1,5 mL de ar. Desta forma a vazão diária de ar afluente ao sistema foi de 30 L/d, cerca de 7 $\text{LO}_2 \cdot \text{d}^{-1}$. Sabendo que o reator trata 20L de esgoto por dia, tivemos uma relação de 0,35 L O_2/L de esgoto tratado.

O controle da concentração de OD no reator é essencial para a efetivação da microaeração, então para monitorar esse parâmetro foram realizadas medições de oxigênio diariamente utilizando um medidor de oxigênio do tipo Lutron DO-5519 e respirômetro do tipo Beluga S32 (Desenvolvido na Universidade Federal da Paraíba) ligado a um eletrodo YSI (Yellow Springs, OH, EUA). Antes de cada teste, os equipamentos eram calibrados seguindo método padrão fornecidos no manual de cada equipamento. O eletrodo de oxigênio (YSI) e o eletrodo do medidor de oxigênio eram inseridos no braço do reator R1 (reator em forma Y), na profundidade de 30 cm com relação a saída do efluente.

O respirômetro funcionou de forma contínua durante três dias consecutivos, 24h por dia. Enquanto que as medições utilizando o Lutron DO-5519 foram realizadas diariamente durante o monitoramento do sistema. Este procedimento de monitoramento do oxigênio dissolvido era repetido para todos os reatores operados nesta fase da pesquisa de forma similar, variando apenas o local e profundidade de alocação dos eletrodos. Durante a utilização do respirômetro, buscando diminuir a imprecisão na medição de OD, todos os dias dava-se uma pausa na captura de dados do software, limpava-se a membrana do eletrodo (YSI) e observava suas condições, caso necessário, a troca era realizada. Este procedimento de preservação da precisão do equipamento era repetido todos os dias durante as medições de OD. Para comprovar a difusão do oxigênio dissolvido do recipiente para o interior do reator, as medições de OD também foram realizadas com o eletrodo inserido no recipiente do reator (20 cm) e no tubo de PVC central (30 cm), nas profundidades indicas entre parêntese.

Reator UASB microaerado com membrana submersa (R2)

O Reator UASB microaerado com membrana submersa (R2), tem suas principais características descritas na Tabela 2. Assim como o reator R1, diferencia-se dos reatores UASB convencionais, devido a microaeração, que neste caso foi realizada utilizando ar atmosférico distribuído no reator por um elástico cilíndrico de látex perfurado (C), que neste trabalho chamaremos de membrana.

A membrana era ligada a um tubo de 8 mm, conectado ao compressor de ar Schulz CSA 8,3 25L 1500W (B). Ela localizava-se a 20 cm da saída do efluente e próxima ao separador trifásico (D) como apresenta a Figura 2. Os furos presentes na membrana originou micro-bolhas de ar que promoveram uma melhor distribuição da microaeração. A vazão de ar era controlada mantendo o controlador de vazão do compressor no seu nível mínimo, proporcionando uma baixa concentração de oxigênio dissolvido (OD) no interior do reator.

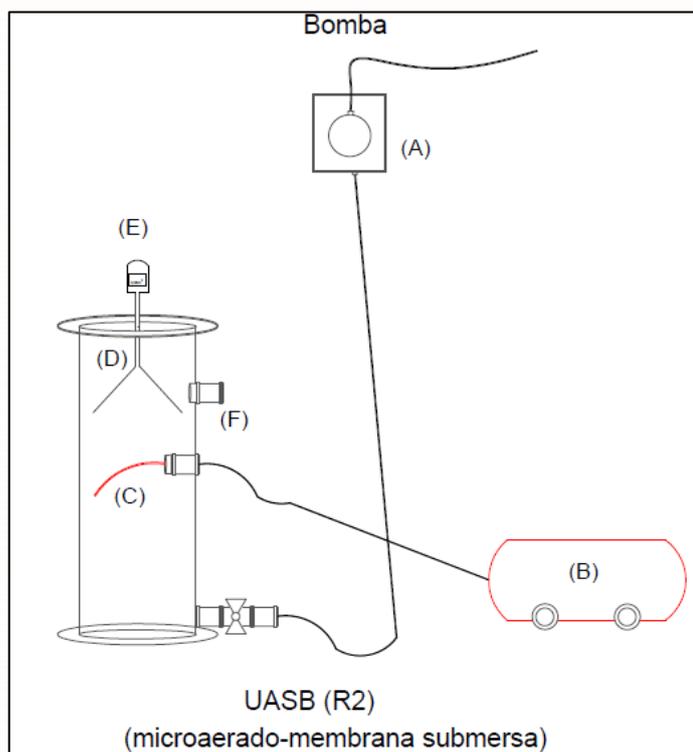


Figura 2- Reator UASB microaerado com membrana submersa (R2)

Fonte: Própria

(A) – Bomba dosadora bombeando esgoto bruto do tanque de equalização; (B) – Compressor de ar Schulz CSA 8,3; (C) – Elástico cilíndrico de látex perfurado; (D) – Separador trifásico; (E) – Gasômetro; (F) – Saída do efluente tratado.

O monitoramento da concentração de OD procedeu-se de forma similar as medições realizadas no reator R1, neste caso, os eletrodos eram inseridos no interior do reator, na profundidade de 20 cm, em relação a saída do efluente.

Reator UASB com adição de nitrato (RNO_{3-1})

O esgoto sanitário bombeado do tanque de equalização (TE), com agitação manual onde se misturava 3L de esgoto sanitário a 45 mg de Nitrato de Sódio P.A diariamente. Essa mistura, após a homogeneização era transferida para o recipiente (A) com um volume de 3,3L. O reator RNO_{3-1} esquematizado na Figura 3, tem suas características descritas na Tabela 1. A alimentação era realizada por equipo, sua mangueira foi inserida em um cilindro de alumínio perfurado na extremidade inferior (Figura 3-1), que permanecia no interior do reator UASB para possibilitar um fluxo ascendente. Para melhor visualização da extremidade inferior do tubo de alumínio, uma ampliação é apresentada na Figura 3-2.

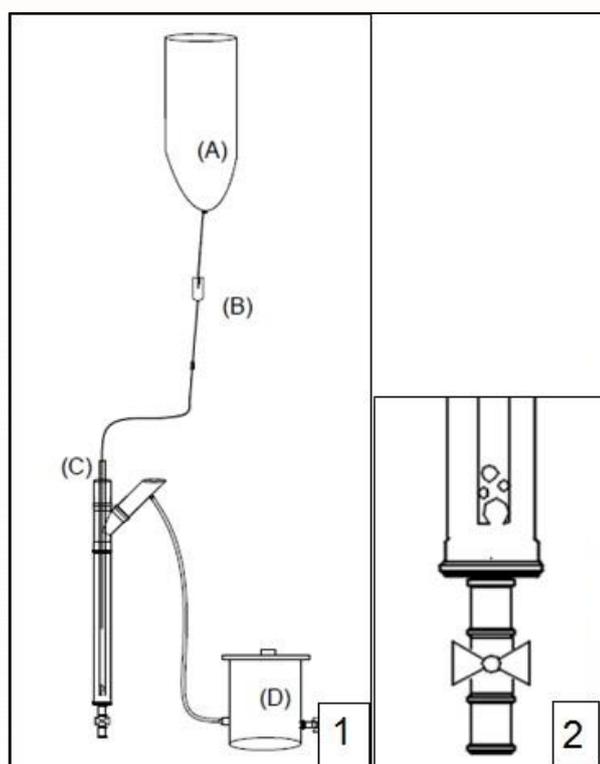


Figura 1 - Reator UASB com adição de nitrato (RNO_{3-1})

Fonte: Própria

1-(A) – Recipiente (Garrafa PET adaptada); 1-(B) – Equipo macrogotas; 1-(C) – Tubo de alumínio com ponta inferior perfurada; 1-(D) – Coletor de efluente tratado;

A alimentação do reator era controlada por um equipo macrogotas (B) acoplado ao recipiente promovendo um gotejamento com vazão aproximada de 0,33 L/h. A alimentação

do recipiente foi realizada diariamente, então, o reator funcionou em batelada, tratando 3L de esgoto sanitário por dia, operando 9h e com 15h de descanso.

A utilização deste tipo de equipo para distribuição do esgoto exige bastante atenção na verificação da colmatação. Para evitar problemas é necessária a limpeza diária do recipiente e troca do equipo, semanalmente, principalmente, devido aos sólidos presentes no esgoto e a formação de biofilme.

Reator UASB controle (RC₁)

O reator de controle esquematizado na Figura 4-1 tem suas principais características descritas na Tabela 1, ele era operado como um reator UASB convencional, sem a adição de microaeração, para servir como reator controle, comparando-o com os reatores com a adição de oxidantes.

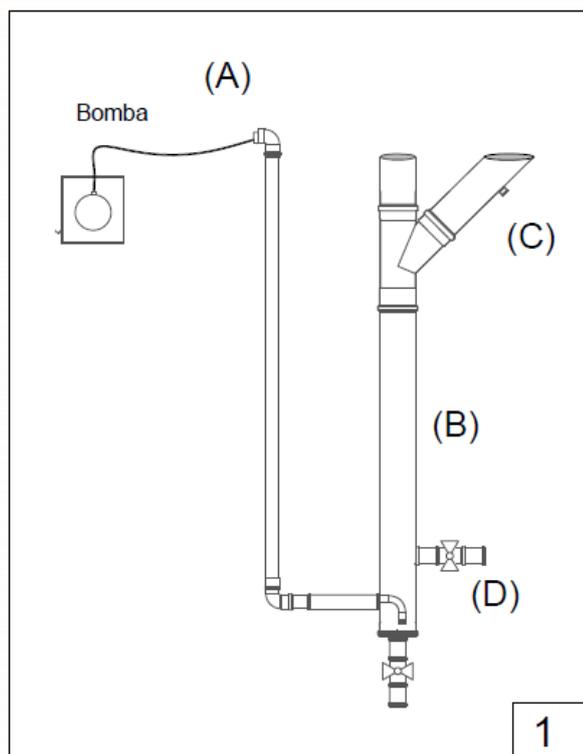


Figura 4- Esquema do reator de controle (RC₁) 1

Fonte: Própria

1-(A) – Bomba dosadora bombeando esgoto bruto do tanque de equalização; 1-(B) – Zona de digestão; 1-(C) –Saída do efluente; 1-(D) – Válvula de descarte de lodo;

A medição da concentração de OD se procedeu de forma similar ao R1, sendo que os eletrodos foram inseridos no braço do reator, na profundidade de 25 cm em relação à saída do efluente. Os resultados obtidos nestes testes foram considerados como base, para comprovar e

quantificar a diferença na concentração de oxigênio dissolvido entre os reatores microaerados e não microaerados. As amostras do monitoramento foram coletadas e analisadas na Estação Experimental de Tratamento biológico de Esgoto Sanitário-EXTRABES de acordo com as metodologias previstas em APHA, AWWA e WEF (2012).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados os resultados referentes à operação dos sistemas durante esta pesquisa. Avaliando e discutindo os comportamentos dos reatores com relação aos principais parâmetros monitorados, como concentração de oxigênio, sulfato, sulfeto, OD e DQO. A fim de avaliar o uso de oxidantes na remoção de sulfetos.

Oxigênio dissolvido

Durante o monitoramento do reator RC₁ encontrou-se uma concentração média de 0,25 mgO₂. L⁻¹. Como este reator funcionou como UASB convencional, essa concentração de OD, deve-se possivelmente aos traços de oxigênio oriundos da atmosfera, pois a parte superior do reator é aberta. Assim como os demais reatores operados neste estudo.

Na Figura 5 apresenta-se a variação de OD e temperatura ao longo das 72 h de medição no reator R1. A temperatura variou entre de 22 a 23°C e o oxigênio dissolvido variou de 0,72 a 0,79 mgO₂. L⁻¹, com média de 0,74 mgO₂. L⁻¹.

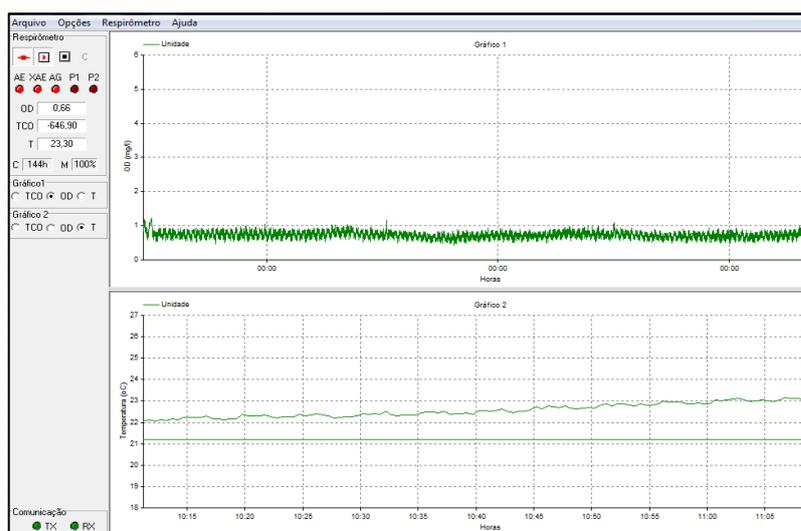


Figura 5- Variação da concentração de OD no reator R1

Como a injeção de ar (microaeração) no reator R1, ocorria de forma direta no recipiente acoplado ao mesmo. Medições de OD também foram realizados no reator, com o

intuito de comparar a concentração de OD presente no interior do reator e a apresentada no efluente do reator (saída). Visando constatar se ocorreu uma difusão de OD eficiente. Os resultados no compartimento de microaeração constataram uma concentração de OD média de $0,74 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, valor muito próximo ao encontrado no interior de R1. Não caracterizando uma diferença estatística considerável, com isto, podemos afirmar que o OD no recipiente e em R1, foram equivalentes. Então assim a difusão no meio líquido realmente deve acontecer para possibilitar essa situação. Este acompanhamento das concentrações de OD no compartimento de microaeração também serviram para avaliar a influência do fluxo semicontínuo de ar na variação deste parâmetro.

Na Figura 6 pode se observar a variação de OD e temperatura ao longo do monitoramento do reator R2.

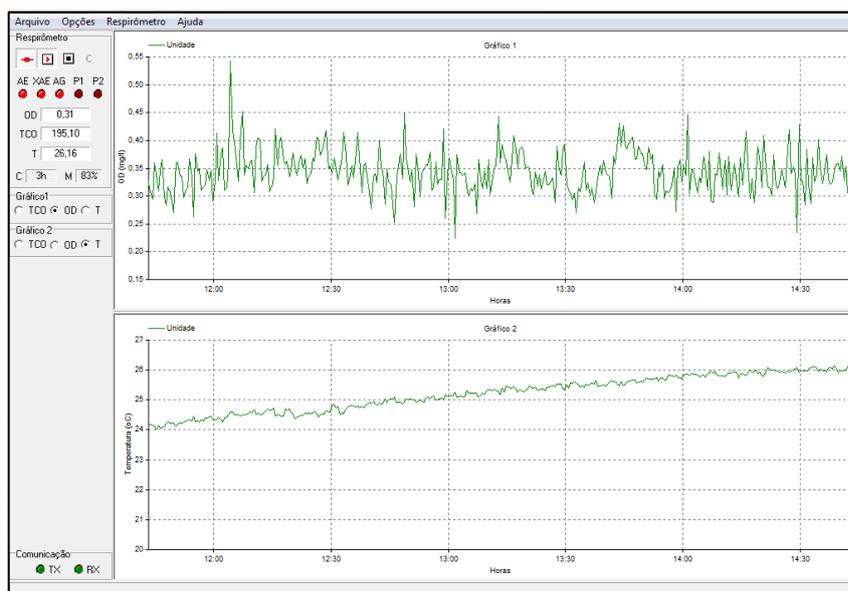


Figura 6- Variação de OD no reator R2

No reator encontrou-se uma média global de $0,36 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$. Então para saber a concentração de OD realmente proporcionada devido à microaeração, o valor médio encontrado no reator controle (RC_1) deve ser subtraídos das concentrações médias de OD encontradas em R1 e R2. Desta forma, temos que a microaeração aumentou em $0,49 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ e $0,11 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente.

Sulfato

As concentrações de sulfatos nos afluentes e efluentes foram monitoradas e os resultados obtidos para os reatores R1, R2 e RNO_{3-1} podem ser observados no gráfico

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

presente na Figuras 7. Para melhor visualização dos dados os afluentes e efluentes foram legendados da seguinte forma: EB – afluente (esgoto bruto), R1 – efluente do reator R1, R2 – efluente reator R2 e RNO₃₋₁ – efluente do reator RNO₃₋₁.

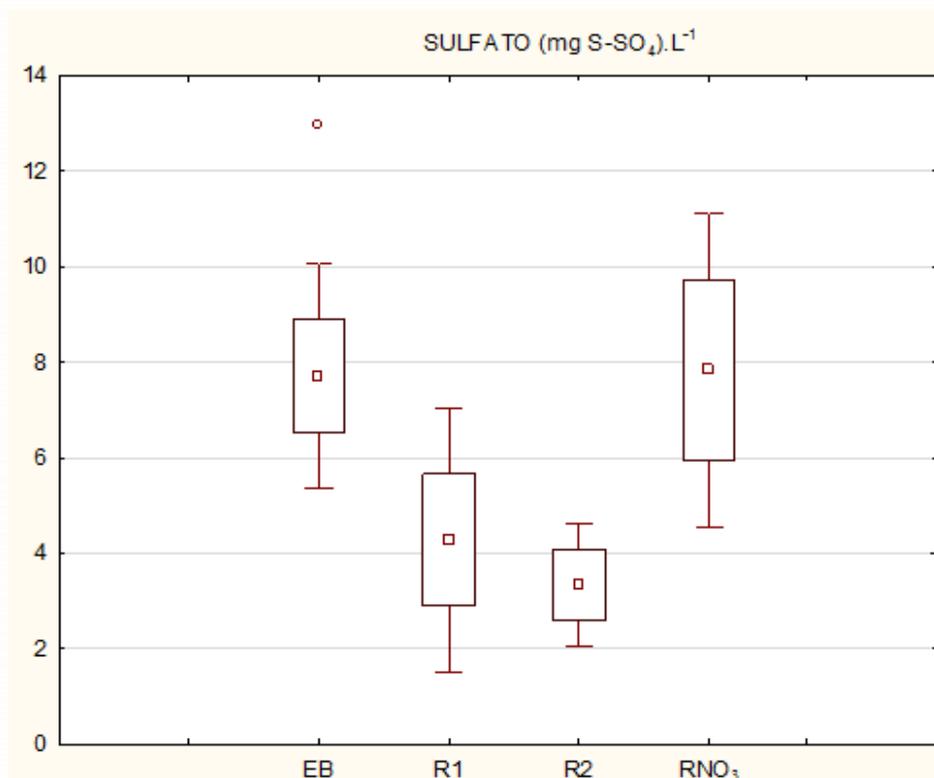


Figura 7- Resultados do monitoramento do parâmetro sulfato

O afluente dos reatores era o esgoto sanitário bruto (EB), no monitoramento encontrou-se médias de $7,7 \pm 2,3 \text{ mgS-SO}_4 \cdot \text{L}^{-1}$ no EB, e nos efluentes dos reatores R1: $4,3 \pm 2,8 \text{ mgS-SO}_4 \cdot \text{L}^{-1}$, R2: $3,3 \pm 1,3 \text{ mgS-SO}_4 \cdot \text{L}^{-1}$ e RNO₃₋₁: $7,8 \pm 3,3 \text{ S-SO}_4 \cdot \text{L}^{-1}$.

As concentrações efluentes de sulfato foram superiores à concentração afluente no reator RNO₃₋₁. Este fenômeno também foi observado por Garcia *et al.*, (2015), operando reatores UASB com pós tratamento em reatores de oxidação de sulfetos biológicos. Outros autores também detectaram esse tipo de comportamento, como no caso de Zitomer e ShROUT (2000) a aeração era realizada em um ponto localizado no fundo do leito. Eles observaram um aumento de 30% na concentração efluente de sulfato da microaeração do sistema. No caso dessa pesquisa aumento pode ser atribuída a adição de nitrato de sódio suficiente para oxidar o sulfeto para sua forma mais oxidada.

Sulfeto Total Dissolvido (STD)

A concentração do parâmetro sulfeto dissolvido total (SDT) monitorada no afluente e efluente podem ser observadas na Figura 8.

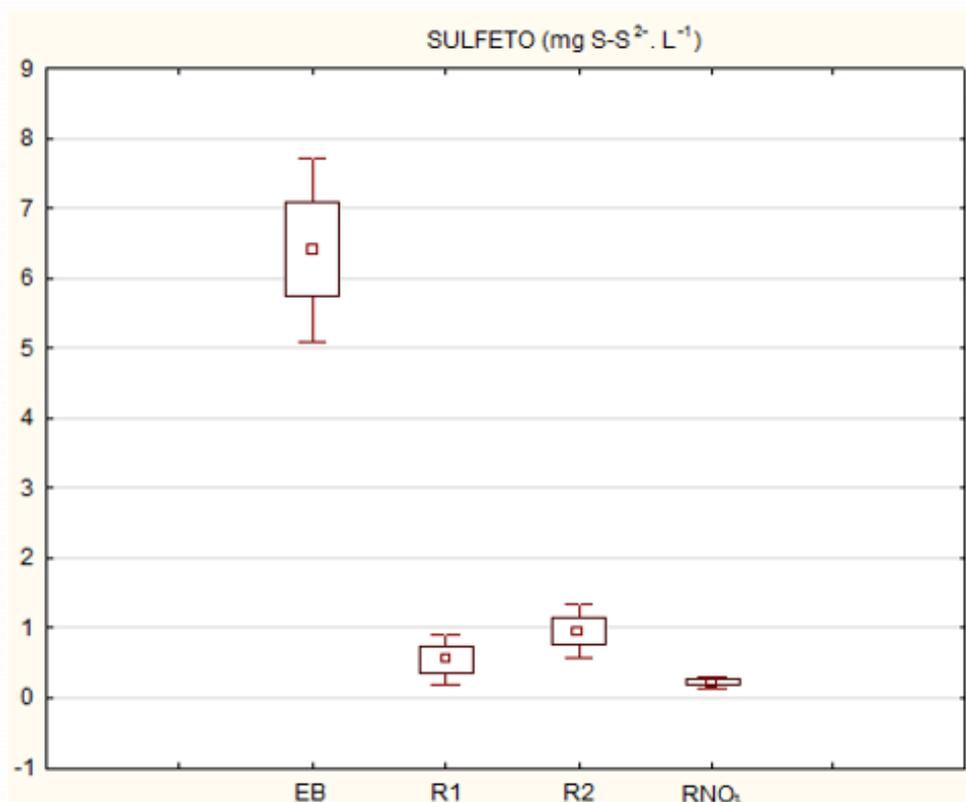


Figura 8- Resultados do monitoramento do parâmetro Sulfeto.

A concentração média de sulfeto no (EB): $6,41 \pm 1,31 \text{ mgS-S}^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$ e nos efluentes dos reatores R1: $0,55 \pm 0,36 \text{ mgS-S}^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$, R2: $0,95 \pm 0,39 \text{ mgS-S}^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$ e RNO_{3-1} : $0,23 \pm 0,08 \text{ mgS-S}^{2-} \cdot \text{L}^{-1}$. Os reatores apresentaram as seguintes eficiências de remoção de sulfeto total dissolvido: 91%, 85 % e 96% respectivamente. Considerando os dados afluentes de enxofre e a quantidade de oxigênio adicionada ao reator R1, a relação molar encontrada foi de aproximadamente $24 \text{ mmolO}_2/\text{mmol S}$.

O reator RNO_{3-1} operado apresentou a maior eficiência na remoção de sulfeto. Estes resultados confirmam as hipóteses de Reyes *et al.* (2004), e condizem com os resultados encontrados por Santos *et al.*, (2019), que encontram remoção de sulfeto e nitrato superiores a 98%. Assim como, com os resultados de Cai *et al.* (2008), que obtiveram eficiências de remoção de sulfeto e nitrato acima de 99%. Eles recomendam que para a obtenção de enxofre elementar a relação de S/N seja menor que a utilizada.

A adição de nitrato foi eficiente na remoção de sulfetos, porém existem outras alternativas que podem apresentar resultados tão eficientes quanto. Uma delas é a adição de nitrito, pois Auguet *et al.* (2016), trabalharam com águas residuárias em tratamento anaeróbio e dosagens de nitrito, afirma que devido a adição deste oxidante, a microbiologia do sistema foi alterada e que obteve uma remoção de sulfeto de 100%.

A utilizando microaeração nos reatores UASB apresentou elevadas eficiências na remoção de sulfetos, valores superiores aos resultados obtidos por Lima *et al.* (2015), encontraram uma redução de 81% do sulfeto, mantendo uma concentração de oxigênio dissolvido entre 0,6 e 1,2 mg O₂. L⁻¹. Próximos aos resultados encontrados por Sousa *et al.* (2016), operando um reator anaeróbio híbrido e um reator UASB microaerado com relação de 16 mmolO₂/mmol S, obtiveram eficiências de 89% e 79% na remoção de sulfeto dissolvido total, respectivamente. Krayzelova *et al.* (2014), operando um reator microaeróbio com volume de 2,7L e com vazão de ar de 1L por dia, tratando efluente de cervejaria a uma temperatura de 37°, obteve uma remoção de 74% de sulfeto, no entanto, a relação O₂/S foi menor que a utilizada no reator R1.

Van der Zee *et al.* (2007), operando um reator anaeróbio de leito fluidizado (1,7 L; TDH de 5 dias) e alimentado com água residuária com baixa concentração de sulfato, o qual foi operado sob condições estritamente anaeróbias e, posteriormente, microaeróbio, com a introdução de ar (0,7 – 0,9 m³.m⁻³.d⁻¹) durante 28 dias subsequentes. Eles encontraram que durante a operação totalmente anaeróbia, a quantidade de sulfeto dissolvido correspondia a 29,4 mg S.d⁻¹ enquanto que na fase microaeróbia esse valor foi reduzido para apenas 8,6 mg S.d⁻¹, ou seja, o efluente do reator continha 71% menos sulfeto do que na fase anaeróbia.

Díaz *et al.* (2010), operando reatores com digestão lodo, encontraram que as quantidades de sulfeto dissolvido permaneciam constantes (sem redução) comparada à fase totalmente anaeróbia, a partir da injeção de ar (1,27 N m³.m⁻³ de lodo alimentado) no *headspace* de um digestor de lodo em escala piloto com volume útil de 200L e operado com um TDH de 20 dias, por outro lado, Oliveira (2013), operando um reator nas condições citadas anteriormente, obteve remoção de sulfeto de aproximadamente 50%, mesmo microaerando no *headspace*.

A remoção de sulfetos em todos os reatores ocorreu de forma eficiente com concentrações de STD nos efluentes variando de 0,23 a 0,95 mg S-S²⁻. L⁻¹, assim como, no trabalho de Sousa *et al.* (2016) e Barbosa *et al.* (2019), que constatou também que a microaeração reduz o sulfeto presente no biogás, evitando odores. Isso reafirma a

aplicabilidade de reatores microaeróbios e reatores alimentados com efluentes nitrificados para remoção de sulfetos.

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A concentração média de DQO total no afluente (EB) foi de $715 \pm 206 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Para os efluentes obteve-se, R1: $327 \pm 126 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, R2: $329 \pm 128 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ e RNO_{3-1} : $326 \pm 212 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Os reatores apresentaram as seguintes eficiências de remoção de material carbonáceo: 54%, 53 % e 54%, respectivamente. Por outro lado, Lima *et al.* (2015), operando um reator UASB convencional, alcançou eficiências de remoção de matéria orgânica variando de 54 a 59%. Eles também operaram um reator com adição de oxigênio na manta de lodo, encontraram eficiências variando de 52 a 58%. Evidenciam que baixas concentrações de OD não inibem a atividade metanogênica e que a eficiência na remoção de DQO não é afetada negativamente pelo OD. Segundo Oliveira (2013), a microeração pode aumentar a remoção de DQO, principalmente devido à oxidação facultativa da matéria orgânica pela presença de oxigênio, ou efeito da diminuição da quantidade de sulfeto no interior do sistema, consequentemente, menor toxicidade. Um leve aumento na remoção de DQO foi constatado por Barbosa *et al.* (2019). Enquanto Van der Zee *et al.* (2007), operaram um reator anaeróbio e posteriormente microaeróbio, e não identificaram diferença significativa na eficiência de remoção de DQO com valores de $86,3\% \pm 0,7\%$ e $86,6\% \pm 0,7\%$ para as fases microaeróbia e anaeróbia, respectivamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A microeração em reatores UASB é uma alternativa factível para remoção de sulfeto total dissolvido no efluente e no biogás, melhorando a qualidade do biogás, minimizando odores, corrosão e outros problemas oriundos do enxofre reduzido.

A adição de nitrato de sódio removeu 98% e a microeração apresentou eficiências sempre superiores a 80%, resultados promissores, que devem ser estudados em reatores UASB em escala real.

A dosagem de nitrato de sódio causou aumento na concentração de sulfato, que é um composto com baixa aplicabilidade, porém caso haja interesse na recuperação do enxofre, recomenda-se utilizar concentrações inferiores às desta pesquisa, pois favorecerá a formação de enxofre elementar, para reaproveitamento na agricultura ou indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA., 2012. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22a. ed. Washington: American Public Health Association.
- AUGUET, O.; PIJUAN, M.; BORREGO, C. M.; GUTIERREZ, O., 2016. **Control of sulfide and methane production in anaerobic sewer systems by means of Downstream Nitrite Dosage**. Science of The Total Environment. v. 550, p. 1116–1125.
- BARBOSA, R.A.; SOUSA, J.T.; LOPES, W.S.; LEITE, V.D.; CABRAL, L.L.B. **Sulphide removal in microaerated UASB reactors treating sanitary sewage**. REVISTA DAE, 2019. V 216, p.5 a p.19 . <DOI: 10.4322/dae.2019.011> ISSN 0101-6040.
- BUISMAN, C.J.N.; GERAATS, B.G.; IJSPEERT, P.; LETTINGA, G., 1990. **Optimization of sulphur production in a biotechnological sulphide-removing reactor**. Biotechnol. Bioeng. v. 35, p. 50.
- CAI, J.; ZHENG, P.; MAHMOOD, Q. 2008. Effect of sulfide to nitrate ratios on the simultaneous anaerobic sulfide and nitrate removal. n 13, v. 99, p.5520-5527. <doi: [Http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.053](http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.10.053)>.
- 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, v. 101, p. 7724-7730.
- GARCIA *et al.*, 2015. **Biological sulphide removal from anaerobically treated domestic sewage: Reactor performance and microbial community dynamics**. Environmental Technology <doi: <http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2015.1024174>>.
- JANSSEN, A.; GROTENHUIS, J.T.C.; LETTINGA, G.; RULKENS, W., 1994 **Possibilities for using biologically-produced sulphur for cultivation of thiobacilli with respect to bioleaching processes**. R. Tichý, Biores. Technol., v. 48, p. 221.
- JANSSEN, A.; LETTINGA, G.; KEISER, A., 1999. **Removal of hydrogen sulphide from wastewater and waste gases by biological conversion to elemental sulphur: Colloidal and interfacial aspects of biologically produced sulphur particles**. Elsevier, [Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects](#), v. 15, p. 389-397.
- KRAYZELOVA, L.; BARTACEK, J.; KOLESAROVA, N.; JENICEK, P. 2014. **Microaeration for hydrogen sulfide removal in UASB reactor**. V. 172, p. 297-302. <doi: [Http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.056](http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.09.056)>.
- LIMA, J.F. SOUSA, J.T. LIMA, D.A. HENRIQUE, I.N. SANTOS, E.V.M. **Control and removal of sulfides in anaerobic reactors treating sewage**. DAE, 2015.
- METCALF & EDDY INC., 2003. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Books, 1815p.

OLIVEIRA, C. J. S., 2013. **Avaliação da microaeração na eficiência, estabilidade operacional, qualidade do biogás e controle de odor em sistemas anaeróbios de tratamento.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará.

REYES-AVILA J.S.; RAZO-FLORES, E.; GOMEZ, J., 2004. **Simultaneous biological removal of nitrogen, carbon and sulfur by denitrification.** Water Res., v. 38, p. 3313–3321.

SANTOS, S. L.; BARBOSA, R. A.; SOUSA, J. T. et al., 2019. **Remoção de sulfeto utilizando desnitrificação autotrófica em reator UASB.** In: *XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais eletrônicos.* NATAL-RN, ABES, 2019.

SOUSA, J.T.; LIMA, J.F.; SILVA, V.C.; LEITE, V.D.; LOPES, W.S., 2016. **Recovery of elemental sulphur from anaerobic effluents through the biological oxidation of sulphides.** Environmental Technology. V 38:5, p 529-537, <doi:10.1080/09593330.2016.1201148>.

VAN DER ZEE, F. P.; VILLAVERDE, S.; GARCIA, P. A. 2007. **Sulfide removal by moderate oxygenation of anaerobic sludge environments.** *Bioresource Technology*, v. 98, n.3, p. 518–524, 2007.

VISSER, A.; HULSHOFF-POL, L. W.; LETTINGA, G., 1996. **Competition of methanogenic and sulfidogenic bacteria.** *Water Science and Technology*, v. 33, n. 3, p. 99-110. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00324-1](http://dx.doi.org/10.1016/0273-1223(96)00324-1)>. Acesso em: 01jun2015.

ZITOMER, D. H.; SHROUT, J. D. **High sulfate oxygen demand wastewater aerated methanogenic fluidized beds.** *Water Environmental Research*, v. 72, n.1, p. 90-97, 2000.