

II-565 - AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE DESPRENDIMENTO DE GASES DISSOLVIDOS PARA O CONTROLE DE EMISSÕES DE H₂S EM REATORES UASB TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO

Robson Costa da Costa⁽¹⁾

Técnico em Saneamento Ambiental (CEFET-PA). Engenheiro Sanitarista e Ambiental (UFPA). Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG).

Claudio Leite de Souza

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Bárbara Batista dos Santos

Graduanda do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Augusto de Assis Temponi Cabral Dias

Graduando do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Endereço⁽¹⁾: Rua São José, 236 – Bengui – Belém - PA - CEP: 66630-165 - Brasil - e-mail: engrobsonrcc@gmail.com

RESUMO

O aprimoramento do reator UASB é buscado visando o gerenciamento dos gases residuais gerados no processo tal como o sulfeto de hidrogênio (H₂S) que é um gás corrosivo e que possui um odor característico de ovo podre, o que em ambientes urbanos se constitui um entrave à instalação de Estações de Tratamento de Esgoto. Alguns aprimoramentos foram testados avaliando-se duas técnicas de desprendimento de gases: injeção de ar (*stripping*) no decantador de reator UASB e queda d'água em câmara de dissipação que recebe efluente do reator UASB, visando a maior remoção do H₂S e, conseqüentemente, a redução dos problemas gerados pelo mesmo. Para esse estudo foi realizado o monitoramento das fases líquida e gasosa (sulfeto dissolvido e no gás residual) no efluente dos reatores UASB experimentais e das unidades de remoção de gases dissolvidos. O dispositivo de *stripping* baseia-se na injeção de ar na zona de decantação do reator UASB. Sua eficiência chegou a 59% de remoção desse gás, para taxa de aplicação de ar de 170 L/m³.min. Com a câmara de dissipação avaliou-se o desprendimento de H₂S através da queda do efluente tratado. Esta unidade promoveu eficiência média de até 93,1% com altura de queda d'água de 1,10m.

PALAVRAS-CHAVE: Sulfeto de Hidrogênio, Gases dissolvidos, Técnicas de desprendimento, Reator UASB.

INTRODUÇÃO

Os reatores UASB utilizados no tratamento de esgoto doméstico apresentam limitações relacionadas ao gerenciamento dos gases originários em seu processo de tratamento, em especial do sulfeto de hidrogênio (H₂S). Esses gases podem ser completamente controlados quando coletados no interior do separador trifásico dos reatores (na forma de biogás), mas podem também ser emitidos de forma descontrolada, a partir dos compartimentos de decantação, ou liberados do próprio efluente líquido desses reatores (SOUZA, 2010).

Em se tratando do H₂S emerge a preocupação com a geração de odores nos arredores das estações de tratamento de esgoto, o que pode ocasionar rejeição e/ou descrédito da população para a instalação de sistemas de tratamento anaeróbio. As maiores taxas de liberação desse gás para a atmosfera pode ocorrer nas estruturas hidráulicas, que produzem turbulências no fluxo do líquido.

Outro problema comumente associado com o sulfeto de hidrogênio é o relacionado com a corrosão das estruturas físicas dos reatores anaeróbios. Tanto no separador trifásico como no decantador do reator, a presença de H₂S pode estimular a formação de ácido sulfúrico e provocar corrosão das superfícies do reator, sendo elas feitas em concreto ou em aço (CHERNICHARO, 2007).

Segundo Souza (2010), a concentração de sulfeto dissolvido no efluente varia de 7 a 11mgS/L. Dessa forma, o sulfeto de hidrogênio é motivo de preocupação em tratamento anaeróbios, tanto por causa de sua propriedade de gerar odores quanto por ocasionar corrosão de estruturas de diferentes materiais.

Idealmente, deveria ser utilizada uma unidade ou processo para, de forma controlada, capturar o H_2S para posterior tratamento, de modo a prevenir a gradual e descontrolada emissão nas superfícies líquidas expostas, dentro da tubulação de condução, na unidade aeróbia posterior ou mesmo fora da estação, isto é, no corpo hídrico que recebe o efluente.

Embora existam diversas alternativas para o controle de gases, a seleção de uma em particular ou a combinação de tecnologias para o desprendimento e remoção de sulfeto ainda não se encontra consolidada no país. Enquanto algumas alternativas de controle são mais apropriadas para a supressão das emissões de sulfeto, outras são efetivas apenas para evitar a formação de H_2S .

A emissão de gases residuais em sistemas e/ou processos de tratamento de esgotos, pode simplesmente decorrer do gradiente de concentração do composto na interface líquido-gás, ou ser induzida pela ação do vento em superfícies quiescentes ou agitadas, aeração forçada (mecânica), queda do filme líquido sobre um vertedor, escoamento do líquido sobre um canal, etc (SÁ, 2011).

O desprendimento ou transferência de massa de gases do meio líquido, tais como o sulfeto de hidrogênio e uma variedade de compostos orgânicos voláteis, através de mecanismo físico, ocorre através do processo de aeração, isto é, contato livre ou forçado com o ar atmosférico.

Dentre esses processos de aeração utilizados para o desprendimento de gases tem-se a injeção de ar (*stripping*) e o desprendimento gasoso através de estruturas de queda d'água (dissipação).

A emissão gasosa na técnica de *stripping* ocorre através das bolhas formadas pela injeção de ar na massa líquida que se impregnam do composto, remetendo-o à atmosfera confinada (*headspace*) (GREENFIELD e BATSTONE, 2004). Já em estruturas de queda d'água essa transferência de massa ocorre através do (ou para o) filme de esgoto em queda, gotículas que se desintegram do jato de esgoto, de respingos e gotículas aspergidas geradas pelo impacto do filme com a superfície líquida, da superfície líquida altamente agitada e transferência das (ou para as) bolhas de ar que resultam da entrada do jato no seio da massa líquida (SÁ et al., 2005).

O presente trabalho avaliou o desempenho de diferentes técnicas de desprendimento de H_2S dissolvido no efluente, visando o aprimoramento do controle de gases odorantes emitidos em reatores UASB tratando esgoto doméstico. Dentre as tecnologias existentes, avaliou-se o efeito da utilização de *stripping* na zona de decantação do reator UASB e da unidade de dissipação (câmara de dissipação) pós-reator.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de aplicação

Os aparatos experimentais foram instalados no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) UFMG/COPASA, que funciona junto à Estação de Tratamento de Esgoto da bacia do Ribeirão Arrudas (Belo Horizonte-MG) e recebe uma pequena fração do esgoto já submetido ao tratamento preliminar para remoção de sólidos grosseiros e areia.

Aparato experimental

Os experimentos foram conduzidos em dois reatores UASB em escala piloto, doravante denominados reatores R2 e R3, ambos operando com tempo de detenção hidráulica próximo de 7 horas e vazão 48 L/h. O reator R2 é um piloto de um UASB convencional, feito de fibra de vidro (decantador) e polietileno (zona de digestão). Ele possui 0,30 m de diâmetro no compartimento de digestão, altura útil de 4 m e volume útil de 338 L. O reator R3 é um piloto de UASB todo de fibra de vidro, possui 0,30 m de diâmetro no compartimento de digestão,

altura útil de 4,25 m e volume útil de 356 L. Ambos os reatores possuem modificações que visam aprimorar a remoção dos gases dissolvidos.

No reator R3 (Figura 1a), analisaram-se os efeitos da técnica de *stripping* com ar difuso aplicado no compartimento de decantação, visando à redução da concentração de H_2S dissolvido no efluente tratado por meio do arraste desse composto pelas bolhas de ar injetadas. No reator R2, instalou-se uma câmara de dissipação (CD) externa e em série com o mesmo. Esta unidade avalia o desprendimento de H_2S através de turbulências hidráulicas mediante ao processo de queda d'água.

Stripping

O processo de aeração aplicado na zona de decantação do reator UASB experimental R3 (*stripping*) foi analisado em duas etapas. Na primeira (Etapa 1), o ar foi introduzido com taxa de aplicação de $170 \text{ L/m}^3\cdot\text{min}$ ($Q=13,6 \text{ L/min}$) a partir de quatro pontos de injeção, enquanto que na segunda etapa (Etapa 2) foi de $85 \text{ L/m}^3\cdot\text{min}$ (também com quatro pontos e $Q=6,3 \text{ L/min}$).

Para estas etapas, utilizou-se duas bombas peristálticas (MasterFlex – mod. 7720-40) cada uma acoplada a dois cabeçotes (Figura 1d). A introdução de ar foi feita utilizando-se de quatro mangueiras de PVC (4 pontos de distribuição), com 1cm de diâmetro cada, conectadas a pequenos chuveiros (de 10cm de diâmetro) instalados no compartimento de decantação aproximadamente 15 cm abaixo do ponto de saída do efluente tratado (Figura 1b). Além disso, com o intuito de fazer o controle do gás residual gerado no compartimento de decantação e amostrar esse efluente gasoso, instalou-se uma tampa de acrílico com encaixe sobre o decantador do reator, dotado de ponto de convergência e coleta do gás residual (Figura 1c).



Figura 1. *Stripping* na zona de decantação. a-R3; b-pontos de distribuição da vazão de ar; c-ponto de coleta do gás H_2S ; d- bombas de ar.

Câmara de dissipação (CD)

Essa unidade avaliou o desprendimento de H_2S através de uma queda de 55 cm (Etapa 1 – 2 meses) e outra de 110 cm (Etapa 2 - 2 meses), conforme pode ser observado nas Figuras 2 e 3, respectivamente. Em ambas as etapas, a câmara foi posicionada no nível do solo ao lado do reator UASB experimental.

A CD permite que a atmosfera gasosa fique perfeitamente confinada, uma vez que a parte superior da câmara apresenta uma tampa de vedação flangeada, e a inferior apresenta um selo hídrico construído por meio de peças hidráulicas na sua parte externa. Ademais, esta unidade apresenta, além do orifício de entrada do efluente,

outros dois orifícios, os quais permitiram a saída do gás liberado do efluente, e a entrada de ar limpo da atmosfera exterior.

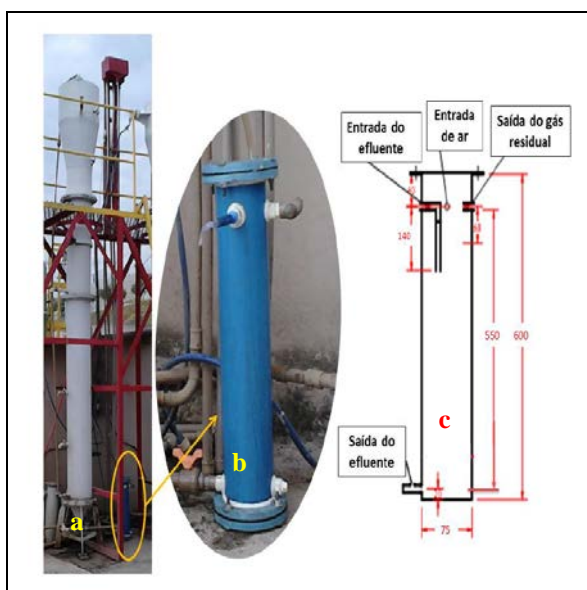


Figura 2. Câmara de dissipação – 1ª etapa. a- R2; b-CD; c-desenho da CD em mm.



Figura 3. CD na 2ª etapa.

Monitoramento e procedimento analítico

O monitoramento em ambas as unidades foi realizado com frequência de coleta semanal (em duplicata). As concentrações de H_2S foram analisadas tanto na fase líquida quanto na fase gasosa.

Para coleta de amostras na unidade com *stripping* na zona de decantação, inicialmente ligava-se a bomba peristáltica de ar e realizava-se procedimento de coleta de amostras da fase líquida e gasosa. Para análise da fase líquida coletou-se amostras afluente (ponto abaixo de aproximadamente 15cm do ponto de injeção de ar na zona de decantação do reator R3) e efluente ao *stripping* (saída do reator). Para a fase gasosa foram coletadas amostras em seringas de gás e posteriormente acondicionadas devidamente até o momento da leitura no equipamento de detecção portátil de gás Odialog®, com limite de detecção máximo de 2000 ppm.

A CD também era colocada em operação apenas nos dias de coleta, pois a técnica de desprendimento analisada ocorre mediante a um processo de caráter físico, não demandando a manutenção biológica. A bomba de exaustão era também uma bomba peristáltica com vazão de 1,7 L/min. Após a renovação de quatro vezes o volume da atmosfera, fazia-se a coleta tanto da amostra gasosa quanto das amostras líquidas isto é, afluente e efluente à CD, conforme pontos de coleta ilustrados na Figura 3. Para a análise da concentração de H_2S do gás residual nesta unidade também foram coletadas amostras em seringa de 60 mL e da leitura realizada no equipamento de detecção portátil de gás Odialog®.

A determinação dos sulfetos dissolvidos em ambas as unidades foi feita pelo método adaptado por Plas *et al.* (1992). A faixa de H_2S detectável por este método abrange 0,1 a 51 mg/L. A concentração obtida por este método é feita por colorimetria. Neste método há leitura das absorbâncias relativas em um espectrofotômetro para interpolação gráfica dos valores de concentração, por meio de uma curva de calibração previamente confeccionada.

Com as concentrações de H_2S na fase gasosa foi possível calcular a taxa de emissão, referente a cada unidade de dissipação, de acordo com a Equação 1.

$$TE = C_g \cdot Q_g$$

Equação (1)

Em que: TE: é a taxa de emissão ($\text{mgH}_2\text{Sgás/h}$); C_g : concentração de H_2S na fase gasosa (mg/L); Q_g : vazão do gás (L/h).

Todos os dados obtidos foram avaliados mediante estatística descritiva (média, máximo, mínimo, desvio padrão, série temporal e box-plot).

RESULTADOS

Stripping

Na Tabela 1 podem-se observar os valores médios obtidos das concentrações de H_2S dissolvido (liq.), antes (R3) e após o processo de *stripping* (Pós-*stripping*).

Tabela 1. Resultados estatísticos dos dados obtidos com *stripping* para sulfeto dissolvido.

Etapa	R3 – H_2S (mg/L)			Pós <i>stripping</i> - H_2S (mg/L)		
	Média	Nº de dados	Desvio Padrão	Média	Nº de dados	Desvio Padrão
1	2,9	35	2,0	1,19	35	2,1
2	5,1	30	2,1	3,51	30	2,4

Conforme pode ser observado na Tabela 1 e nas Figuras 4, 5 e 6, nota-se que o processo de *stripping* provocou uma redução na concentração de sulfeto de hidrogênio dissolvido no efluente tratado.

Pode-se observar que a Etapa 1 mostrou-se mais eficiente que a Etapa 2. Na primeira etapa, houve redução média de 1,73 mg/L de sulfeto dissolvido, o que corresponde a uma eficiência de aproximadamente 59%. Na outra etapa, observou-se redução de 1,63 mg/L de sulfeto dissolvido, o que resulta em eficiência de aproximadamente 32 %. A diferença de vazão de ar aplicada nas etapas explica a divergência de resultados. A menor vazão aplicada na segunda etapa provocou menor eficiência de remoção de H_2S dissolvido no efluente tratado, já que quanto menor a vazão, menor a quantidade injetada de bolhas para o arraste do composto.

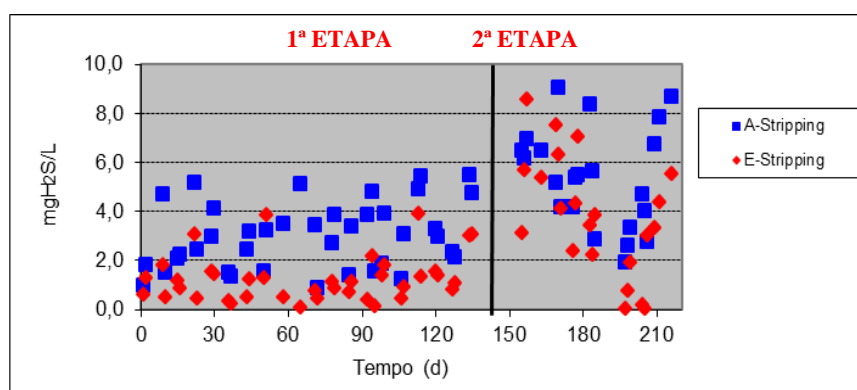


Figura 4. Gráfico em série temporal da concentração de Sulfeto de hidrogênio no efluente do R3 antes (A-*stripping*) e depois (E-*stripping*) do dispositivo de *stripping*.

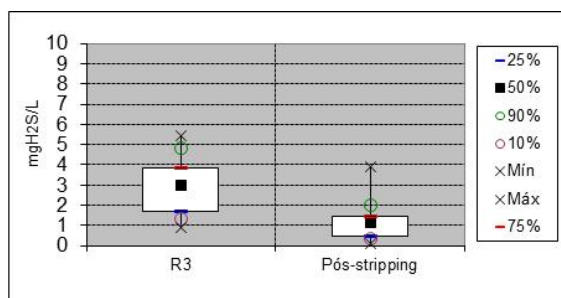


Figura 5. Gráfico box-plot da concentração de H_2S na 1ª etapa antes (R3) e depois (Pós-stripping) do stripping.

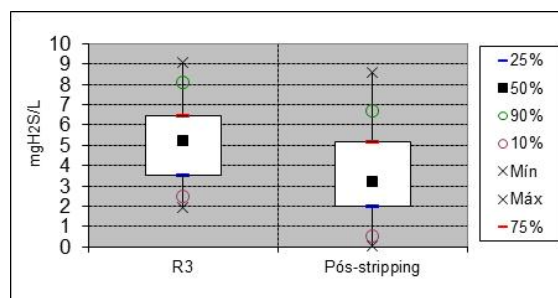


Figura 6. Gráfico box-plot da concentração de H_2S na 2ª etapa antes (R3) e depois (Pós-stripping) do stripping.

Na Tabela 2 pode-se observar os valores referentes à média, número de dados, desvio padrão, valor mínimo e máximo das concentrações de H_2S emitidas mediante a técnica de stripping.

Tabela 2. Resultados estatísticos dos dados obtidos das concentrações de H_2S desprendido (gasoso) através da técnica de stripping na 1ª e 2ª etapa.

Etapa	Stripping - Sulfeto gasoso (ppm _{v/v})				
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Nº de dados
1	103	40	13	300	32
2	201	34	22	486	28

Analisando os resultados de H_2S emitidos em ambas as etapas nota-se que a concentração média de sulfeto emitida para o meio atmosférico confinado (*headspace*) do R3 na 2ª etapa aproxima-se relativamente a uma concentração duplicada em relação a 1ª etapa. Isso possivelmente pode ser explicado por dois fatos: ao reduzir a vazão de injeção de ar na zona de decantação do R3 reduziu-se a velocidade ascendente das bolhas de ar formada e com isso aumentou-se o tempo de contato da bolha de ar com o composto dissolvido possibilitando assim que a bolha ficasse impregnada ao máximo do composto; e ao reduzir a vazão de ar diminuiu-se a possibilidade de diluição da concentração de H_2S emitido para o *headspace* o que possivelmente contribuiu para que a 2ª etapa apresentasse valor médio elevado quando comparado com a 1ª etapa.

Porém, mediante a obtenção dos resultados de H_2S gasoso (gás concentrado no *headspace*) e da vazão de ar injetada, calculou-se a taxa de emissão no compartimento de decantação provocada pelo stripping na 1ª e 2ª etapa a qual correspondeu a 1,95 e 1,90 mg H_2S gás/h, respectivamente e, dessa forma, notou-se que a aplicação das vazões adotadas, para a técnica do stripping, não alteraram significativamente a taxa de emissão uma vez que a redução da vazão em 50% (2ª etapa) ocasionou o aumento (duplicação) da concentração de H_2S desprendido (emitido). Isso proporcionou que as taxas de emissão, em ambas as etapas, ficassem praticamente equivalentes.

Com os resultados obtidos para sulfeto dissolvido (valores de remoção) e emitido (gasoso) em ambas as etapas foi possível determinar que apenas 2,4% (1ª etapa) e 2,5% (2ª etapa) do total de sulfeto removido correspondem à concentração de sulfeto desprendida da massa líquida e 97,6% (1ª etapa) e 97,5% (2ª etapa) são referentes a outras rotas de conversão que ocorreram, as quais podem ser de carácter químico (oxidação química) ou microbiológico (oxidação por atividade microbiana) que possivelmente ocasionaram a formação de sulfato e/ou de enxofre elementar. Para a quantificação e determinação da predominância do composto formado faz-se necessário a realização de estudo mais específicos sobre esses processos oxidativos e/ou biooxidativos para a técnica em questão.

Câmara de dissipação

Na Tabela 3 podem-se observar os valores médios, desvio padrão e número de dados obtidos das concentrações de H_2S dissolvido (liq.), antes (efluente do R2) e após a CD (Pós-CD).

Tabela 3. Resultados estatísticos dos dados obtidos com a CD para sulfeto dissolvido.

Etapa	R2 – H ₂ S (mg/L)			Pós CD - H ₂ S (mg/L)		
	Média	Desvio Padrão	Nº de dados	Média	Desvio Padrão	Nº de dados
1	7,2	2,8	26	1,0	0,8	26
2	6,4	3,6	15	0,4	0,4	15

De acordo com a Tabela 3 e como pode ser observado nas Figuras 7, 8 e 9, verifica-se que a câmara de dissipação promoveu diminuição significativa na concentração de sulfeto de hidrogênio dissolvido. Na Etapa 1, observou-se eficiência de remoção de 85,6% (redução média de 7,2 mg/L para 1,0 mg/L), enquanto, na Etapa 2 nota-se maior eficiência o correspondente a 93,1% (redução média de 6,4 mg/L para 0,4 mg/L). Dessa forma, constata-se que o aumento da altura de queda d'água da unidade provocou maior remoção de H₂S no efluente tratado. As concentrações relativamente mais baixas obtidas na 2ª etapa do efluente da CD demonstram que o efeito de queda d'água de 1,10m potencializou a turbulência d'água e consequentemente o efeito de remoção do gás a H₂S dissolvido.

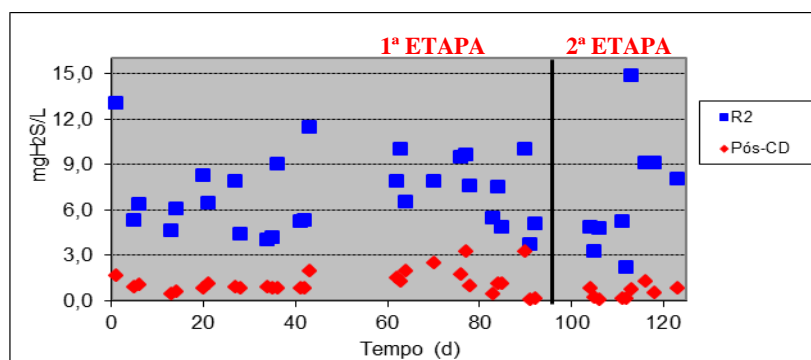


Figura 7. Gráfico em série temporal da concentração de Sulfeto de hidrogênio no efluente antes (R2) e depois (CD) da câmara de dissipação.

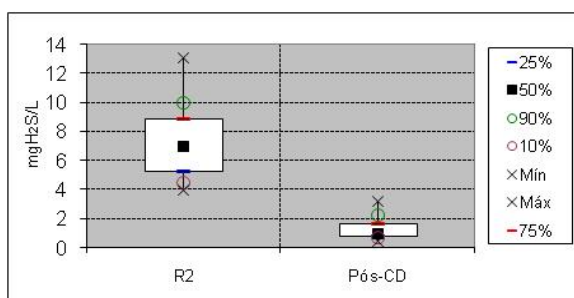


Figura 8. Gráfico box-plot da concentração de H₂S na 1ª etapa antes (R2) e depois da CD (Pós-CD).

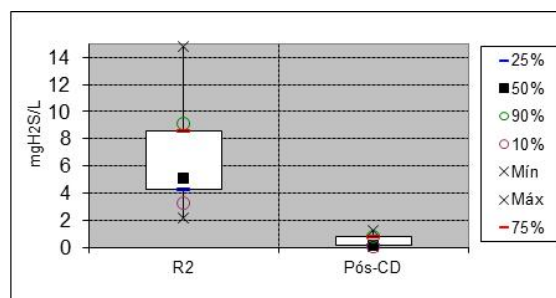


Figura 9. Gráfico box-plot da concentração de H₂S na 2ª etapa antes (R2) e depois da CD (Pós-CD).

Na Tabela 4 pode-se observar os valores referentes a média, número de dados, desvio padrão, valor mínimo e máximo das concentrações de H₂S emitidas mediante a técnica de queda d'água através da CD.

Tabela 4. Resultados estatísticos dos dados obtidos das concentrações de H_2S desprendido (gasoso) através da técnica de queda d'água – CD na 1ª e 2ª etapa.

Etapa	CD - Sulfeto gasoso (ppm _{v/v})				
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Nº de dados
1	121	87	14	357	28
2	206	103	13	373	15

As concentrações de H_2S emitidas através da utilização da CD com altura de 1,10m (2ª etapa) estão 1,7 vezes acima da concentração média obtida com altura de 0,55m (1ª etapa). Com esses resultados obtidos, tanto para o H_2S dissolvido (fase líquida) quanto para o emitido (fase gasosa), em ambas as etapas foi possível determinar que apenas 0,10% (1ª etapa) e 0,17% (2ª etapa) do total de sulfeto removido corresponde a concentração de sulfeto desprendida da massa líquida e emitida para o *headspace* da CD. Dessa forma, tem-se um percentual elevado de 99,9% e 99,83% de H_2S removido que não foi emitido e possivelmente seguiu outra rota de redução, as quais podem ser de carácter químico (oxidação química) ou microbiológico (biodegradação por atividade microbiana) que possivelmente ocasionaram a formação de sulfato e/ou de enxofre elementar.

A taxa de emissão determinada para a CD, conforme resultados encontrados, foi de 0,3 e 0,5 mg H_2S _{gás}/h para a 1ª e 2ª etapa, respectivamente.

Através deste resultado nota-se que a técnica do *stripping* apresentou maior emissão, isto é desprendimento, em comparação com a técnica de queda d'água (CD). O que é particularmente interessante dentro da perspectiva de remoção por desprendimento com posterior exaustão do H_2S e condução para um possível tratamento como a biofiltração. Contudo, a CD foi globalmente mais eficiente na remoção de sulfeto, certamente por outros processos que não por desprendimento, do que o dispositivo de *stripping*, mesmo considerando a vazão de ar para exaustão na CD bem menor quando comparada com a vazão de ar introduzida no decantador pelo dispositivo de *stripping*.

Porém, conforme mostrado na Figura 10, pode-se observar que das técnicas de remoção de sulfeto dissolvido utilizadas com suas etapas e modificações operacionais, em efluente de reator UASB, a unidade com queda d'água, câmara de dissipação (CD), com altura de 1,10m, foi a que apresentou maior eficiência (mediana de 95%) na redução deste composto odorante.

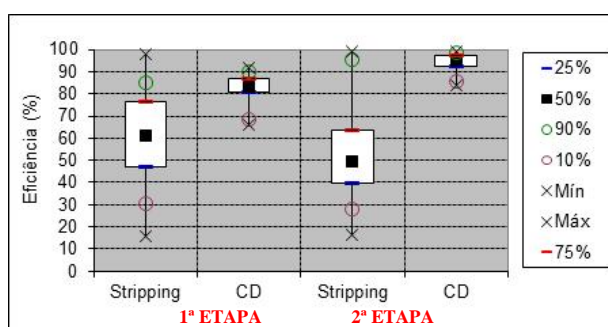


Figura 10. Gráfico box-plot da eficiência das técnicas de remoção de sulfeto na 1ª e 2ª etapa.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que as técnicas da câmara de dissipação e do *stripping* com ar na zona de decantação se mostraram como alternativas potencialmente eficazes para o desprendimento e remoção de H_2S dissolvido em efluente de reatores UASB. Foram obtidas eficiências médias de remoção de H_2S variando de 32 a 59% com a técnica de *stripping*, e 86 e 93% com a câmara de dissipação, para as diferentes condições testadas.

Vale ressaltar o desempenho da câmara de dissipação, apesar da simplicidade operacional e estrutural, alcançou ótimos resultados de remoção de sulfeto. Contudo, o presente estudo constatou que o principal processo de

remoção não seria por desprendimento, mas provavelmente por processos de conversão de sulfeto a compostos oxidados pelo oxigênio.

Torna-se pertinente a realização de estudos mais avançados e específicos para a quantificação e determinação da predominância de possíveis compostos formados, tais como sulfato e enxofre elementar, assim como também a verificação de possíveis alterações na qualidade do efluente.

A utilização de técnicas como essas, em reatores UASB, proporciona melhor controle e potencial coleta dos gases residuais para a realização de possíveis tratamentos, contribuindo assim para a diminuição de problemas relacionados a odores e corrosão em tecnologias com tratamento anaeróbio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHERNICHARO, C. A. L. *Princípio do tratamento biológico de águas residuárias – Reatores anaeróbios*. Departamento de engenharia sanitária e ambiental – DESA/UFMG, Belo Horizonte, v. 5, 2ª edição, 380 p., 2007.
2. CHERNICHARO, C. A. L.; AQUINO, S. F.; MELO, G. C. B.; SOUZA, C. L.. Determinação de metano dissolvido em efluentes de reatores UASB: identificação da perda de potencial energético e das emissões de gás de efeito estufa. In: 25º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental. *Anais...* Recife, Pernambuco, 2009.
3. CHERNICHARO, C.A.L.; STUETZ, R.M.; SOUZA, C.L.; MELO, G.C.B. Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, ABES, v. 15, n. 3, p. 229-236, Jul/Set. 2010.
4. STUETZ, R.M.; CHERNICHARO, C.A.L.; SOUZA, C.L.; MELO, G.C.B. Contribuição para o projeto de biofiltros aplicados ao tratamento de emissões odorantes provenientes de reatores anaeróbios. *Revista DAE*, ano 59, n. 186, p. 56-62, Mai. 2011.
5. DARTO FILHO, J.; SOUSA, A. M. *O cascadeamento como uma opção para o arejamento de efluentes anaeróbios diluídos*. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. *Anais...* p. 253-261, 1997.
6. GREENFIELD, P. F.; BATSTONE, D. J. Anaerobic digestion: impact of future GHG mitigation policies on methane generation and usage. In: ANAEROBIC DIGESTION, [Anais eletrônico...] Montreal. 2004.
7. HUDSON, N., and AYOKO, G.A. Odour sampling. 1. Physical chemistry considerations. *Bioresource Technology*, v.99, p.3982-3992, 2008.
8. LOPES, E. S.; SANTOS, J. M.; REIS, N. C.; GONÇALVES, R. F.; MAI, B. G. *Modelagem da emissão de sulfeto de hidrogênio em ETE considerando os mecanismos de remoção por biodegradação e oxidação química*. In: 23º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, [Anais eletrônico...] Campo Grande, 2005.
9. MORGAN S., J. M.; REVAH M., S.; NOYOLA R., A. Algunas tecnologías para la remoción de H₂S por vía fisicoquímica y microbiológica. *Revista del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos*, A. C. v. 9-12, p. 207-215, 2001.
10. PLAS, C.; Harant, H.; Danner, H.; Jelinek, E.; Wimmer, K.; Holubar P.; Braun, R. Ratio of biological and chemical oxidation during the aerobic elimination of sulphide by colourless sulphur bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*. v. 36, n. 6, p. 817-822, 1992.
11. PÖPEL, H. J. *Aeration and gas transfer*. 2 ed Delft, Delft University of Technomic Publishing Co, Lancaster, EUA, p. 589, 1979.
12. SÁ, L. M. Modelagem matemática da formação e emissão do gás sulfídrico no tratamento dos esgotos domésticos. 2011. 140 f. Tese (Doutorado em engenharia ambiental) – Centro tecnológico, Universidade Federal de Espírito Santo Minas Gerais, 2011.
13. SÁ, L. M.; SANTOS, J. M.; REIS, N. C.; GONÇALVES, R. F. Modelagem da emissão de sulfeto de hidrogênio proveniente de estações de tratamento de esgotos. In: 23º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental [Anais eletrônico...] Campo Grande, 2005.
14. SANTOS, J. M., LOPES, E. S., REIS JUNIOR, N. C., SÁ, L. M., HORAN, N. J. Mathematical modelling of hydrogen sulfide emission and removal in aerobic comprising chemical oxidation. *Water Research*. VV. 43 P. 3355-3364, 2009.
15. SOUZA, C. L. *Estudo das rotas de formação, transporte e consumo dos gases metano e sulfeto de hidrogênio resultantes do tratamento de esgoto doméstico em reatores UASB*. 2010. 147 f. Tese de

- Doutorado (Programa de Pós-Graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos)-Escola de Engenharia-Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
16. SOUZA, C. L., SILVA, S.Q., AQUINO, S. F., CHERNICHARO, C. A. L. Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, n. 54, p. 201-208, 2006.
 17. SOUZA, C. L., CHERNICHARO, C.A.L., MELO, G.C.B. Methane and hydrogen sulfide emissions in UASB reactors treating domestic wastewater. In: 12th CONGRESS ON ANAEROBIC DIGESTION, México, IWA, 2010.
 18. STUETZ, R.M.; CHERNICHARO, C.A.L.; SOUZA, C.L.; MELO, G.C.B. Contribuição para o projeto de biofiltros aplicados ao tratamento de emissões odorantes provenientes de reatores anaeróbios. *Revista DAE*, ano 59, n. 186, p. 56-62, Mai. 2011.
 19. VAN GROENESTIJN, J.W. and HESSELINK, P.G.M. 'Biotechniques for air pollution control'. *Biodegradation*, 4:283-301, 1993.
 20. VASCONCELOS, E. H. *Avaliação e modelagem do desprendimento de sulfeto em ressaltos hidráulicos*. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR, 2009.
 21. WEF. *Control of odors and emissions from wastewater treatment plants*. Alexandria: Water Environment Federation, 2004.
 22. ZHANG, L.; DE SCHRYVER, P.; DE GUSSEME, B.; DE MUYNCK, W.; BOON, N.; VERSTRAETE, W. Chemical and biological Technologies for hydrogen sulfide emission control in sewer: A review. *Water Research*, v. 42, p. 1-12, 2007.