

II-350 – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE COLIFORMES TOTAIS E ESCHERICHIA COLI EM REATOR UASB COM DECANTAÇÃO DE ALTA TAXA SEGUIDO POR FILTROS BIOLÓGICOS PERCOLADORES BASEADOS EM ESPUMA DE POLIURETANO**Thiago Bressani Ribeiro⁽¹⁾**

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

Carlos Andrés Díaz Flórez

Engenheiro Sanitarista pela Universidad de Antioquia. Mestrando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG (DESA/UFMG).

Paulo Gustavo Sertório de Almeida

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG (DESA/UFMG). Pós-doutorando no Institute for Water Education UNESCO-IHE.

Carla Vieira Serufo

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

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne – UK. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Antônio Carlos 6.627 – Universidade Federal de Minas Gerais - Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Bloco 1. Belo Horizonte. Minas Gerais. CEP: 31270-901. Brasil - Tel: +55 (31) 9828-2182 - e-mail: thiago.bressani@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho avaliou a influência de um decantador lamelar de alta taxa e diferentes tipos de espuma de poliuretano na remoção de coliformes totais - CT e *Escherichia coli* - *E. coli*, em um sistema UASB seguido por filtros biológicos percoladores (sistema UASB/FBP) sem a etapa de decantação secundária. Em dos compartimentos de decantação do reator UASB ($TDH_{\text{médio}} = 8,6$ h) foi inserido um decantador de alta taxa (lamelar), cujo efluente era direcionado ao pós-tratamento em escala piloto, composto por 3(três) FBPs em paralelo. Para cada FBP, um tipo de espuma com densidade e tamanho de poros distintos foi considerado como meio suporte. O decantador lamelar (reator UASB) e o tamanho de poros associados às espumas de poliuretano influenciaram não somente a remoção de Coliformes Totais, mas também a remoção de *E. coli* (remoções de CT e *E. coli* de até 4,7-4,9 unidades log). Mesmo sem o uso de decantação secundária, o sistema UASB/FBP produziu um efluente final com qualidade semelhante ou superior ao observado para sistemas naturais, em termos de concentrações de CT e *E. coli*. Este trabalho é importante, pois apresenta a influência de aspectos de projeto e operação voltados para a simplificação operacional de sistemas UASB/FBP na remoção de organismos patogênicos.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto doméstico, Sistema UASB/FBP, Decantador Lamelar, Espuma de Poliuretano, remoção de Coliformes Totais e *Escherichia coli*.

INTRODUÇÃO

Os sistemas simplificados de tratamento de esgoto doméstico constituem-se como uma alternativa para a superação do déficit em infraestrutura sanitária brasileira, notadamente no tratamento de efluentes sanitários. Neste contexto, o sistema reator UASB seguido por filtro biológico percolador (sistema UASB/FBP) preenchido com meio suporte baseado em espuma de poliuretano, tem se apresentado como uma promissora tecnologia para o tratamento do esgoto doméstico em países em desenvolvimento. Para a simplificação do sistema, basicamente em relação ao gerenciamento da fase sólida, tal tecnologia tem sido avaliada sob a perspectiva da eliminação de decantadores secundários, visando o controle de cargas efluentes de sólidos nas próprias unidades de tratamento biológico (SILVA e GONÇALVES, 2003; PONTES e CHERNICHARO, 2004; ALMEIDA *et al.*, 2011). Neste caso, o uso de decantador de alta taxa (pelo incremento da área

disponível para a sedimentação de partículas) e meios suportes que permitam uma maior idade do lodo no sistema (maior retenção intersticial da biomassa) podem ser importantes estratégias para a redução da probabilidade de falha, considerando os padrões de lançamento previstos em legislações brasileiras.

No entanto, além da necessidade de remoção complementar de matéria orgânica e nutrientes (N e P) em uma etapa de pós-tratamento (CHERNICHARO, 2006; CHONG *et al.*, 2012), a concentração de organismos patogênicos no efluente final é um importante aspecto. Pelo nosso conhecimento, a qualidade do efluente em termos de concentrações de indicadores de contaminação fecal (CT e *E. coli*) para sistemas UASB/FBP operando sem decantadores secundários não tem sido reportada.

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência de um decantador lamelar de alta taxa e diferentes tipos de espuma de poliuretano, em termos de tamanho de poros, na remoção das bactérias indicadoras de contaminação fecal (coliformes totais - CT e *Escherichia Coli* - *E. coli*) em um sistema UASB seguido por filtros biológicos percoladores (sistema UASB/FBP) sem o uso da etapa de decantação secundária.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo e alimentação das unidades experimentais

A pesquisa foi desenvolvida no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento UFMG/COPASA (CePTS), localizado junto à Estação de Tratamento de Esgotos do Arrudas (ETE Arrudas), em Belo Horizonte – MG. O afluente que alimentava as unidades experimentais era proveniente de uma fração do esgoto municipal encaminhado à etapa de tratamento primário da ETE Arrudas, após a passagem pelo tratamento preliminar (etapa de gradeamento e desarenação).

Aparato experimental: reator UASB seguido por FBPs em escala piloto

Reator UASB. O reator UASB em escala de demonstração foi dimensionado para um equivalente populacional de 380 habitantes (per capita de esgoto: 125 L.hab⁻¹.d⁻¹), e executado em aço-carbono, com dimensões de 2,50 m (comprimento) x 1,40 (largura) m e 4,50 m (altura) (volume útil: 16.8 m³). O sistema operava em regime de vazão variável, de acordo com um hidrograma típico de vazões observado em ETEs de pequeno porte. O tempo de detenção (TDH_{UASB}) médio era de 8,6 h. Em um dos compartimentos de decantação do reator UASB foi inserido um decantador de alta taxa (lamelar), composto por placas em fibra de vidro (Figura 1). A finalidade do uso do decantador lamelar foi reduzir a carga de sólidos encaminhada à etapa de pós-tratamento, e, portanto, as concentrações de indicadores de contaminação fecal no efluente (STEVİK *et al.*, 2004).

Decantador lamelar. O decantador lamelar foi projetado para a retenção de partículas com velocidade de sedimentação maior ou igual a 70% da velocidade ascensional média do líquido (neste caso, 70% de 0.68 m/h). As placas que constituíam a estrutura (Figura 1) foram dispostas em um ângulo de inclinação de 60°, espaçadas por 10 cm, com comprimento útil de 59 cm e perfazendo todo o comprimento do reator UASB no referido compartimento de decantação (área superficial útil = 1,2 m²).

O dimensionamento do decantador de alta taxa foi baseado (com adaptações) nos critérios de taxa equivalente (velocidade crítica de sedimentação) e máxima velocidade de arrasto, conforme apresentado por Richter e Netto (1991). Tais formulações foram desenvolvidas para decantadores tubulares, e, portanto, a aplicação para decantadores de placas em reatores UASB deve ser vista com ressalvas. Predefinida a largura total do decantador e a distância entre as placas paralelas, o número de canais formados pode ser obtido a partir da Equação 1.

$$N = \frac{A \sin \theta}{a \times d}$$

Equação (1)

Em que:

N = número de canais formados entre placas paralelas (n)

A = área superficial útil (m²)

Θ = ângulo de inclinação das placas (graus)

a = largura total do decantador (m)

d = distância entre placas paralelas (m)

A determinação da área superficial útil é dada pela Equação 2:

$$A = \frac{Q}{F \cdot V_s}$$

Equação (2)

Em que:

Q = vazão

F = fator de forma [para placas paralelas: $F = \sin\theta (\sin\theta + L \cos\theta)$]

V_s = velocidade de sedimentação (70% da velocidade ascensional média do líquido: $0,7 \times 0,68 \text{ m/h} = 0,48 \text{ m/h}$).

Assim, o comprimento total do decantador é dado por:

$$C = l \cdot \cos\theta + \frac{N \cdot d + (N+1) \cdot e}{\sin\theta}$$

Equação (3)

Em que:

C = comprimento total do decantador (m)

L = comprimento do elemento tubular (m)

e = espessura das placas (m)

As dimensões obtidas pelo roteiro acima descrito necessitam ser avaliadas por meio da conferência da velocidade longitudinal no interior dos elementos tubulares em conjunto com a velocidade longitudinal máxima, considerando-se o regime hidráulico laminar. A descrição desta etapa de cálculo é detalhadamente apresentada em Richter e Netto (1991).

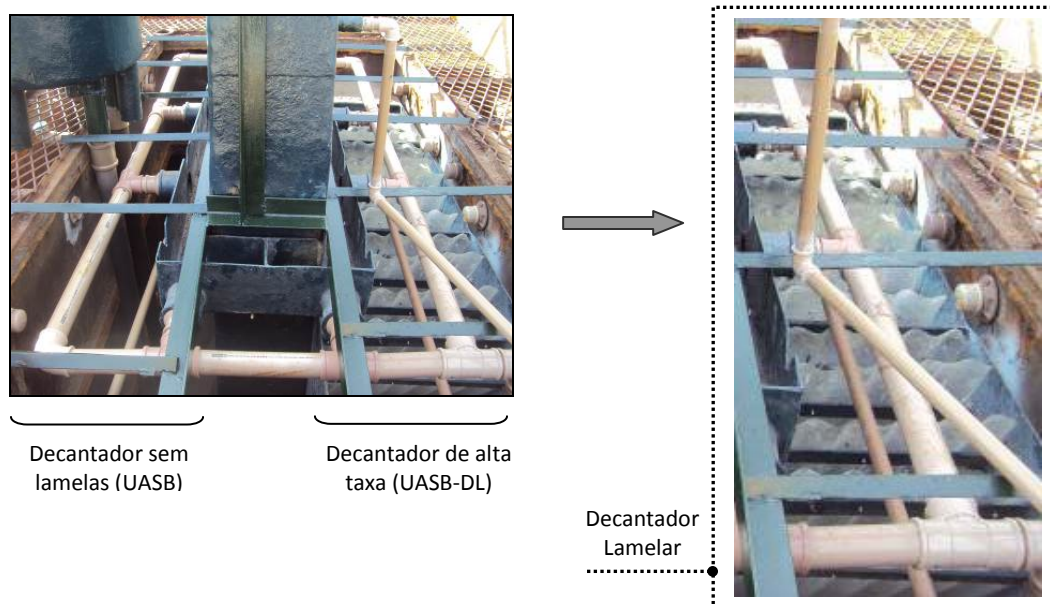


Figura 1. Topo do reator UASB (decantador). (a) Decantador sem lamelas (UASB). (b) Decantador com decantação de alta taxa (UASB-DL).

Filtros biológicos percoladores (FBP-piloto). Três unidades piloto de fluxo descendente (FBP-piloto) baseadas em espumas de poliuretano foram instaladas em paralelo pós-reator UASB (Figura 2), e recebiam uma alíquota (0,2 L/min por FBP) do efluente do reator UASB com decantador lamelar. O controle de vazão afluente aos FBP-piloto (regime constante) foi efetuado por meio de uma bomba peristáltica digital de 600 rpm.

O FBP-piloto (Figura 2) era constituído por três placas plásticas verticais, às quais foram aderidas 24 (vinte e quatro) peças retangulares de espuma de poliuretano (dimensões: 0,49 m (comprimento) x 0,025 m (largura) e 0,15 m (altura)) (8 peças/placa). As espumas componentes de cada FBP-piloto apresentavam características físicas distintas, em termos de densidade e tamanho de poros, a saber: (i) Espuma filtral 25 (densidade: 25 kg.m⁻³; tamanho de poros: 1 mm); (ii) Espuma-23 (densidade: 23 kg.m⁻³; tamanho de poros: 0.5 mm); (iii) Espuma-12 (densidade: 12 kg.m⁻³; tamanho de poros: < 0.5 mm). A etapa de pós-tratamento (FBP-piloto) foi dimensionada para operação sem o uso de decantadores secundários.

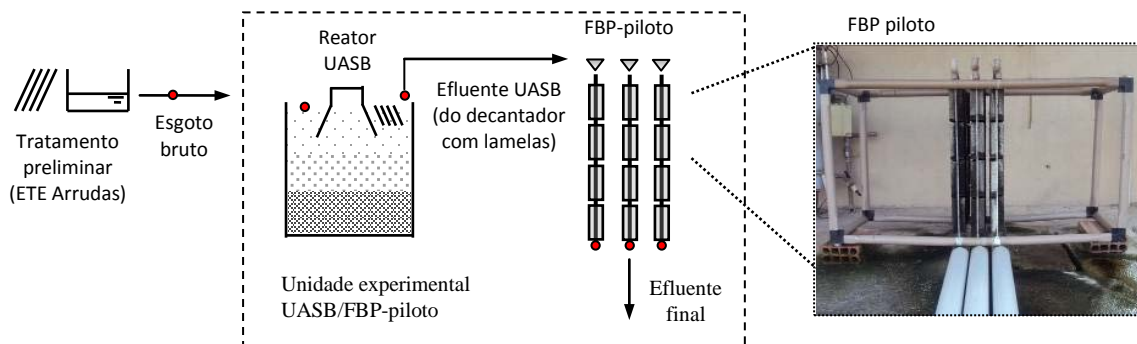


Figura 2. Fluxograma do sistema UASB/FBP. Cada FBP-piloto era alimentado com o efluente do reator UASB proveniente do decantador com lamelas. (Pontos de coleta indicados por círculos vermelhos).

Condições Operacionais

A adução de esgoto bruto ao reator UASB ocorreu segundo um hidrograma de vazão similar ao de uma ETE de pequeno porte, com picos mínimo e máximo de vazão de $0,5.Q_{med}$ e $1,6.Q_{med}$, respectivamente. Em torno de 50% do período operacional, as vazões afluentes eram (30%) maiores que a vazão média, resultando em um TDH em torno de 6,7 h e COV de $1,77 \text{ kgDQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$. A curva de vazões foi controlada por um PLC (*Programmable Logic Controller*) acoplado ao inversor de frequência da bomba de alimentação do reator UASB. A massa mínima de lodo foi calculada considerando-se em uma atividade metanogênica específica de $0,15 \text{ kgDQO-CH}_4.\text{kgSTV}^{-1}.\text{d}^{-1}$, conforme Souto (2007). Durante os experimentos, o sistema foi operado com a massa de lodo próxima da massa mínima.

O FBP-piloto foi operado em regime de vazão constante, com uma COV_{med} de $1,8 \text{ kgDQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ (em termos do volume de espuma), a uma TAS_{med} de $12,5 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{d}^{-1}$. A aplicação de uma COV_{med} mais elevada ocorreu em virtude do uso do decantador lamelar no reator UASB.

Amostragem da fase líquida e da fase sólida

Fase líquida. As amostras de esgoto bruto, do efluente dos compartimentos do reator UASB e dos efluentes de cada FBP-piloto foram realizadas uma vez por semana, por meio de coletas simples (pontos de coleta - Figura 2). As coletas de efluentes dos FBPs iniciaram-se 5 dias após a partida dos reatores. As análises dos parâmetros microbiológicos de coliformes totais (CT) e *Escherichia Coli* (*E. coli*) foram conduzidas a partir da técnica *Enzyme Substrate Coliform Test* (Colilert, Colilert 18 and Colisure for multi-tube), de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Fase sólida. A amostragem de biomassa foi executada para a determinação de estimativas da idade do lodo em cada FBP investigado, a qual foi calculada baseando-se na massa de STV retida nas espumas de cada reator e na concentração de STV no efluente final, conforme descrito por Tandukar *et al.* (2006). Uma fração da espuma de cada FBP (entre 80-250 cm²) foi extraída e lavada para o desprendimento virtualmente integral dos sólidos retidos. O líquido coletado de cada porção de espuma foi centrifugado separadamente a 4000 rpm por 10 minutos, visando a composição de alíquotas de aproximadamente 5 g para as análises de sólidos totais voláteis (STV).

Análises estatísticas

Foram executados testes de hipóteses não-paramétricos para análises estatísticas dos dados. O teste de Wilcoxon foi utilizado em virtude do caráter dependente das amostras (pareadas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra as concentrações de CT e *E. coli* para a fase líquida (pontos de coleta - Figura 2). As médias geométricas de concentrações de coliformes totais e *Escherichia Coli* encontradas no esgoto bruto afluente ao sistema foram de $1,4 \times 10^{11}$ NMP/100ml e $8,6 \times 10^8$ NMP/100ml, respectivamente, o que condiz com os valores reportados na literatura (CALIJURI *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2013; ZERBINI *et al.*, 2000). As concentrações de CT e *E. coli* no efluente dos reatores UASB indicaram uma potencial efetividade do decantador lamelar na redução de indicadores de contaminação fecal, mesmo com a massa de lodo próxima da massa mínima (dado não apresentado). Adicionalmente, o tipo de espuma de poliuretano parece influenciar nas concentrações de CT e *E. coli*.

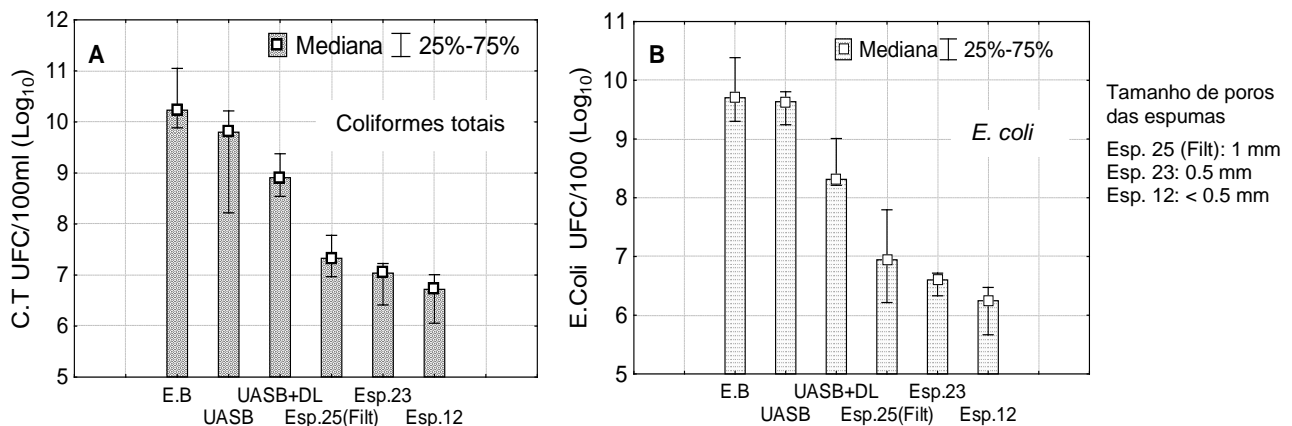


Figura 3. (A) Concentrações de coliformes totais (C.T.) e (B) *Escherichia Coli*: i) Esgoto Bruto (EB), ii) Reator UASB sem decantador de alta taxa (UASB), e iii) com decantador lamelar (UASB+DL). FBP-piloto iv) Espuma filtral - 25 (Esp.25 (Filt)), v) Espuma 23 (Esp.23), vi) Espuma 12 (Esp.12).

A Figura 4a apresenta as eficiências de remoção de coliformes totais e *E. coli* para o reator UASB. Como esperado, para o reator UASB sem decantador lamelar foram observadas remoções médias de coliformes totais e *E. coli* da ordem de 1,9 unidades log. (94,4 %) e 1,7 unidades log. (92,8 %), respectivamente. Para o reator UASB com decantação de alta taxa, as eficiências médias de remoção de coliformes totais e *E. coli* foram de 2,1 unidades log. (97,1 %) e 2,2 (97,9 %), respectivamente. Conforme mencionado, o decantador lamelar atribuiu ao reator UASB um maior potencial de remoção de indicadores de contaminação fecal (CT e *E. coli*).

Na etapa de pós-tratamento (FBP) (Figura 4b) foram observadas remoções médias de coliformes totais entre 1,9 e 2,6 unidades log (96,5% - 99,2%) e entre 1,8 e 2,7 unidades log (95,1%-99,4%) para *E. coli*, com uma tendência de incremento da eficiência com a diminuição do tamanho dos poros. Os valores médios (estimados) de idade do lodo (Θ) foram de 82 dias, 100 dias e 117 dias para as espumas 25, 23 e 12, respectivamente.

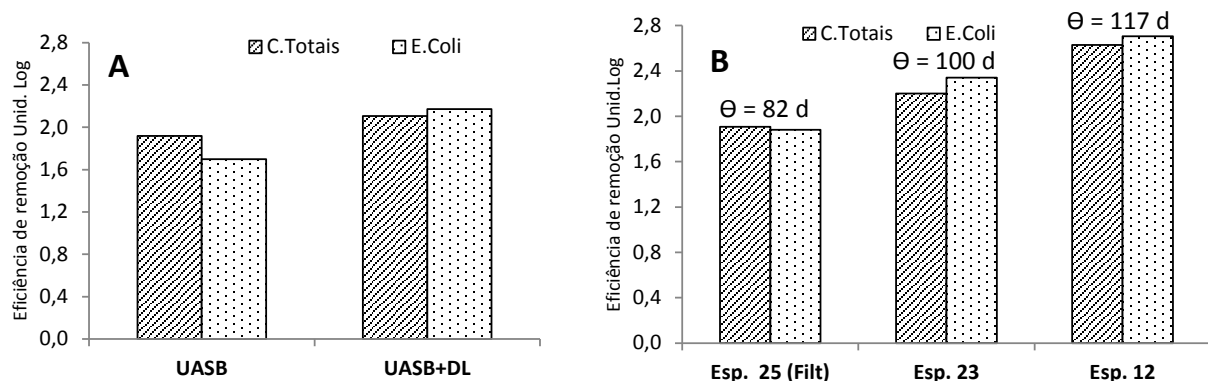


Figura 4. Eficiências de remoção de coliformes totais e *E. coli* para: (A) os efluentes do reator UASB (UASB; UASB-DL), e (B) FBPs (FBP com espuma filtral - 25 (Esp.25); com espuma 23 (Esp.23); com espuma 12 (Esp.12)).

O aparente melhor desempenho observado com o uso do decantador lamelar pode estar associado à menor variabilidade das concentrações de SST observadas para o efluente do reator UASB com decantador de alta taxa (UASB-DL) (Figura 5). Cabe ressaltar que o monitoramento do sistema UASB/FBP em uma operação de longo-termo (Reator UASB: 275 dias) tem claramente demonstrado diferenças em termos de concentrações de sólidos no efluente do reator UASB, considerando uma massa de lodo no compartimento de digestão acima da massa mínima (dados não apresentados). Assim, a efetividade do decantador de alta taxa para a redução de concentrações de indicadores de contaminação fecal em efluentes de reatores UASB pode ser ainda mais expressiva do que o observado neste trabalho (Figuras 3 e 4). Mesmo que o decantador lamelar tenha produzido um efeito positivo na qualidade do efluente do reator UASB, o dimensionamento de tal estrutura deve ser tema de estudos visando adaptações mais consonantes com o comportamento dos sólidos no compartimento de decantação de reatores UASB, considerando o uso de placas paralelas.

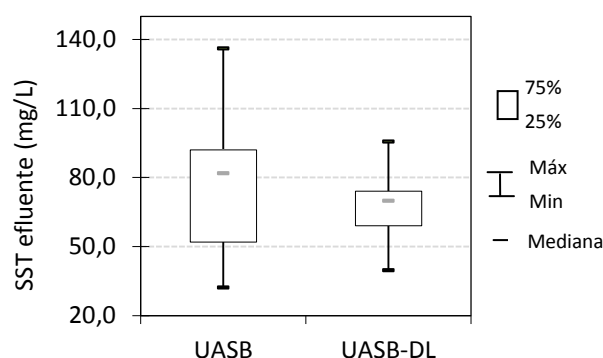


Figura 5. Concentrações de SST para o efluente do reator UASB.

De acordo com os resultados obtidos, o uso de espuma de poliuretano com tamanho de poros de menor magnitude (espuma 12) contribuiu não somente para menores concentrações efluentes de CT, mas também para menores concentrações de *E. coli*. Contudo, a aplicação do teste estatístico de Wilcoxon, realizado para comparação das eficiências de remoção entre as três espumas, indicou que diferenças estatísticas para a remoção de *E. coli* foram observadas entre todos os FBPs-piloto, mas para a remoção de CT as diferenças estatísticas foram apenas observadas entre as espumas 12 (menor tamanho de poros) e filtral-25 (maior tamanho de poros). Na visão dos autores, tal constatação deve ser posteriormente avaliada para uma maior quantidade de dados, visando confirmar as tendências observadas neste trabalho.

Considerando a idade do lodo na etapa de pós-tratamento, os resultados obtidos demonstram a boa capacidade de retenção de biomassa em filtros biológicos percoladores com meio suporte de retenção intersticial (espuma). Tendo em vista o tempo de detenção hidráulica (TDH) (1,2 h) e idade do lodo na etapa de pós-tratamento (80-120d) observa-se que o uso de espuma de poliuretano influencia processos físicos associados à remoção de microrganismos patogênicos. Segundo Tawfik *et al.* (2006), a redução dos poros da espuma resulta em um maior TDH, sendo um importante fator para os mecanismos de adsorção e predação.

Adicionalmente, Bomo *et al.* (2003) observaram que espumas com poros de maior dimensão parecem criar menor resistência ao deslocamento do fluido, reduzindo o TDH e a remoção de organismos patogênicos. Neste caso, o menor potencial para a retenção de sólidos também é um fator. Tais observações são compatíveis com o fato de que espumas com maior índice de vazios (menor volume de fibras) podem prover condições menos favoráveis ao desenvolvimento de protozoários e metazoários no sistema (associados aos mecanismos de predação), que, por sua vez possuem cinética de crescimento consideravelmente lento em comparação com bactérias (NI *et al.*, 2009).

As eficiências de remoção de coliformes totais associadas aos FBP-piloto com espumas de poliuretano foram superiores ao que se reporta na literatura (VON SPERLING, 2014) para FBPs de alta ou baixa carga (70% - 90%) preenchidos com pedra britada, lagoas facultativas (90% a 99%) ou escoamento superficial no solo (90% - 99%). As eficiências de remoção de CT e *E. coli* foram similares ao que se observa para *wetlands* como unidades de pós-tratamento de efluentes anaeróbios, considerando os dados de Calijuri *et al.* (2009). Portanto, os resultados sugerem que sistemas compactos UASB/FBP, considerando o uso de espuma de poliuretano

como meio suporte, tenderam a produzir um efluente final com qualidade semelhante ou superior ao observado para sistemas naturais do tipo *wetlands*, em termos de concentrações de CT e *E. coli*.

CONCLUSÕES

- O uso de decantador de alta taxa (decantador lamelar) contribuiu para o incremento da remoção de indicadores de contaminação fecal (CT e *E. coli*) no reator UASB, o que provavelmente está associado à maior remoção de SST. Portanto, avanços para o uso de tal estrutura em reatores UASB pode ser um importante aspecto para o aprimoramento da tecnologia.
- Houve associação entre a redução do tamanho dos poros das espumas e a melhoria de desempenho do sistema reator UASB/FBP para a remoção de coliformes totais e *E. coli*, o que demonstra a relevância da idade do lodo e das condições de projeto e operação adotadas visando conjugar a simplificação do sistema e a melhoria da qualidade do efluente final.
- Os sistemas compactos testados (sistema UASB/FBP), considerando o uso de espuma de poliuretano como meio suporte na etapa de pós-tratamento, tenderam a produzir um efluente final com qualidade semelhante ou superior ao observado para sistemas naturais do tipo *wetlands*, em termos de concentrações de CT e *E. coli*. Portanto, tal tecnologia pode ser uma alternativa quando a limitação de área e as restrições de lançamento em relação a organismos patogênicos são fatores de relevância.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido das seguintes agências e empresas na realização deste trabalho: CNPq, FAPEMIG, FINEP, CAPES, COPASA-MG, ART TÉCNICA, BIOFIBRA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
2. BOMO, A.; HUSBY, A.; STEVIK, T. K.; HANSSSEN, J.F. Removal of fish pathogenic bacteria in biological sand filters. *Water Research*, v. 37, p. 2618-26, Jan 2003.
3. CALIJURI, M.; BASTOS, R. K. C.; MAGALHÃES, T. B.; CAPELETE, B. C.; DIAS, E. H. O. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/*wetlands* construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.14 n.3, p 421-430, jul/set 2009.
4. CHERNICHARO, C. A. L. Post-Treatment Options for the Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, v. 5, n. 1, p. 73-92, 2006.
5. CHONG, S.; KANTI SEN, T.; KAYAALP A.; ANG H. M. The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment--a state-of-the-art review. *Water Research*, v. 46, n. 11, p. 3434-70, Jul 2012.
6. HALALSHEH, M. M.; MUHSEN, H. H.; SHATANAWI, K. M.; FIELD, J. A. Improving solids retention in upflow anaerobic sludge blanket reactors at low temperatures using lamella settlers. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng*, v. 45, n. 9, p. 1054-9, Jan 2010.
7. NI, B.-J.; RITTMANN, B.E.; YU, H.-Q. Modeling Predation Processes in Activated Sludge. *Biotechnology and Bioengineering*, v. 105(6), 1021-1030, 2009.
8. PONTES, P.P.; CHERNICHARO, C.A.L. Avaliação de desempenho de um sistema reator UASB – filtro biológico percolador operando com e sem decantador secundário. In: anais do Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental - AIDIS, Punta del Leste, 2006.
9. SOUTO, T. F. D. S. Influência das Condições de Incubação no Teste de Atividade Metanogênica Específica (AME) de Lodos Anaeróbios .2007. 194 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
10. STEVIK, T.K.; KARI, A.; AUSLAND, G.; JENSSEN, P.D. Retention and removal of pathogenic bacteria in wastewater percolating through porous media: a review. *Water Res.* 38, 1355–1367, 2004.

11. RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. *Tratamento de Água – Tecnologia atualizada*. Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1991. 332 p.
12. RUDOLFS, W.; FRANK, L.L.; RAGOTZKIE, R.A. Literature review on the occurrence and survival of enteric, pathogenic, and relative organisms in soil, water, sewage, and sludge, and on vegetation. *Sewage Ind Waste* 1950;22:1261–81.
13. SILVA, G.M.; GONÇALVES, R. F. Desempenho de um sistema UASB + filtro biológico percolador sem etapa de decantação tratando esgoto sanitário. In: anais do 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, Campo Grande, 2004.
14. SILVA, M.N.C.; MARQUES, F.C.S.; BASTOS, G.S.M.; CHERNICHARO, C.A.L. Avaliação da eficiência de remoção de *Escherichia Coli* e ovos de helmintos por reator UASB seguido de Filtro Biológico Percolador. In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2013. *Anais...* Goiânia GO, 2013.
15. TANDUKAR, M.; UEMURA, S.; MACHDAR, I.; OHASHI, A.; HARADA, H. A low-cost municipal sewage treatment system with a combination of UASB and the “fourth-generation” downflow hanging sponge reactors. *Water Science and Technology*, v. 52, n. 1-2, p. 323-329, 2005.
16. TANDUKAR, M.; MACHDAR, I.; UEMURA, S.; OHASHI, A.; HARADA, H. Potential of a Combination of UASB and DHS Reactors a Novel Sewage Treatment System for Developing Countries: Long-Term Evaluation. *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, v. 132, n. 2, p. 166-172, 2006.
17. TAWFIK, A.; EL-GOHARYA F.; OHASHI, A.; HARADA H. The influence of physical-chemical and biological factors on the removal of faecal coliform through down-flow hanging sponge (DHS) system treating UASB reactor effluent. *Water Research*, v. 40, n. 9, p. 1877-83, May 2006.
18. 14. VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Editora UFMG. 4.ed, 2014. 470 p.
19. ZERBINI, A.M.; CHERNICHARO, C.A.L.; VIANA, E.M. Estudo da remoção de ovos de helmintos e indicadores bacterianos em um sistema de tratamento de esgoto doméstico por reator UASB e aplicação superficial no solo. XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 1999. *Anais...* Rio de Janeiro RJ, 1999.