

II-499 - AVALIAÇÃO DE SISTEMA HIDROSTÁTICO PARA REMOÇÃO DE ESCUMA DO INTERIOR DE SEPARADORES TRIFÁSICOS DE REATORES UASB: ESTUDO DE CASO ETE LABOREAUX

André Pereira Rosa⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental. Doutorem Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professor Adjunto do Curso de Engenharia Química da UFV.

Augusto Diniz de Ulhoa Cintra Schmidt

Graduando em Engenharia Ambiental pela UFMG

Aracele Vieira Santos

Zootecnista. Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

Jorge Martins Borges

Engenheiro Mecânico. Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UFMG. Diretor Técnico do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Itabira - MG

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle Upon Tyne - UK. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Peter Henry Rolfs, s/n. Campus Universitário, Departamento de Química. sala 214- Viçosa/MG - CEP: 36.570-000 - Brasil - Tel.: (31) 3409-4879-e-mail: andrerosa@ufv.br

RESUMO

Este trabalho objetivou quantificar a taxa de acumulação de espuma no interior de separadores trifásicos (STF), assim como a consolidação de um protocolo para a remoção de espuma a partir de um sistema hidrostático. Os trabalhos foram desenvolvidos na ETE *Laboreaux* (População equivalente de 70.000 habitantes), localizada na cidade de Itabira/MG – Brasil. A eficácia do dispositivo hidrostático de remoção de espuma foi avaliado em dois dos sete separadores trifásicos (STF 1 e 4), em um dos oito reatores UASB da ETE *Laboreaux*. Para estes STF, a espuma foi quantificada e removida sistematicamente através de diferentes frequências de descartes, as quais foram comparadas. A espuma removida foi disposta em um leito de secagem, o qual foi avaliado como alternativa de desaguamento, após a passagem por uma peneira. Nos STF 5 e 7 não houve descarte de espuma, sendo determinada a taxa de acumulação para o mesmo período de monitoramento. De acordo com os resultados da eficácia da remoção da espuma, as frequências de duas vezes por semana e em dias alternados resultaram nas maiores eficiências de remoção de espuma, da ordem de 90% (resultados medianos). A produção média de espuma nos STF 5 e 7 foi de 1,95 L.d⁻¹ e 4,70 L.d⁻¹, respectivamente. Pelo uso do leito de secagem na desidratação da espuma em associação com a peneira estática houve uma redução do volume de espuma para um nível inferior a 25% do volume original descartado.

PALAVRAS-CHAVE: Controle operacional, remoção de espuma, reator UASB, tratamento de esgoto.

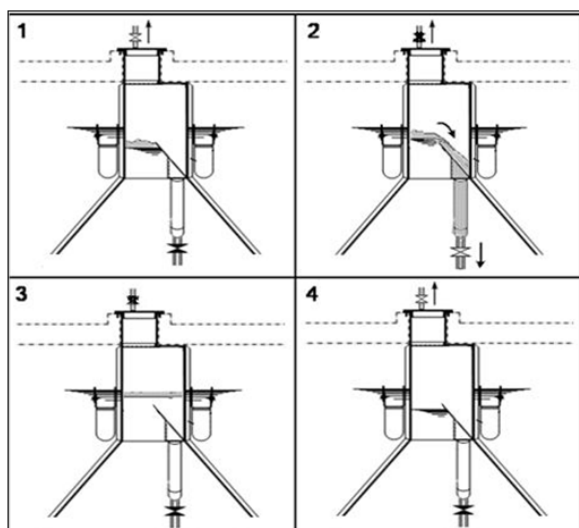
INTRODUÇÃO

Aspectos relacionados ao gerenciamento da espuma produzida em reatores anaeróbios têm sido reportados por diversos autores (Halalshehet *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2006) e apesar de um melhor entendimento sobre as características de espuma (Pereira *et al.*, 2009; Garcia *et al.*, 2012) algumas limitações ainda são evidentes. Atualmente o foco das pesquisas tem ido ao encontro de aspectos práticos do gerenciamento de espuma em estações em escala real, particularmente na ETE *Laboreaux* (EP = 70.000 habitantes) e ETE Onça (EP = 1 milhão de habitantes), respectivamente localizadas nas cidades de Itabira e Belo Horizonte (CHERNICHARO *et al.*, 2009; ROSA *et al.*, 2012).

A espuma constitui-se em uma camada de materiais flutuantes que se desenvolve na superfície de reatores anaeróbios. Junto a essa matriz podem estar presentes gorduras, óleos, ceras, sabões, restos de alimentos, cascas de frutas e vegetais, cabelo, papel e algodão, pontas de cigarros, materiais plásticos e materiais similares (SOUZA, 2006). Este material é de difícil quantificação devido à sua heterogeneidade e ausência de metodologia específica a seu respeito (PEREIRA *et al.*, 2009), o que compromete a avaliação da sua composição, biodegradabilidade e respectivos coeficientes de produção, assim como a dificuldade de

comparação dos resultados disponíveis (HALALSHEH *et al.*, 2005). O acúmulo e a não remoção periódica da espuma gera problemas operacionais no reator, como o bloqueio da passagem natural do gás, prejudicando sua coleta (LETTINGA e HULSHOFF POL, 1991). Pode ainda ocasionar a diminuição da eficiência do tratamento, devido à perda de partículas de espuma juntamente com o efluente final (SILVA *et al.*, 2005; SATO *et al.*, 2006). A prática operacional de remoção da espuma geralmente aplicada consiste na desagregação da espuma para permitir a sucção do material por caminhões limpa-fossa.

Muitos métodos têm sido propostos para a remoção da espuma acumulada no interior do separador trifásico, com diferentes níveis de sucesso. Um método comumente utilizado é a remoção periódica da espuma acumulada através de escotilhas instaladas em intervalos regulares ao longo do comprimento do separador trifásico. Outro método é a aspersão de água sobre a superfície da camada de espuma a fim de quebrar e dispersar a camada de espuma, entretanto, não se tem notificação de resultados efetivos em reatores UASB em operação (Van Lier *et al.* 2010). Recentemente, Chernicharo *et al.* (2009) propuseram a remoção da espuma através de um sistema hidrostático, o qual se baseia na alteração do nível d'água no interior do separador trifásico (STF), de modo a possibilitar que a espuma verta para uma canaleta, interna ao separador, e seja encaminhada para a linha de drenagem, externa ao reator. A alteração do nível d'água no interior do separador é conseguida pelo aumento ou pela diminuição da pressão na linha de gás compreendida entre o separador e um selo hídrico localizado no topo de cada reator. Dessa forma, o nível d'água no interior do selo hídrico possibilita definir o nível da lâmina de espuma no interior do separador trifásico. A Figura 1 ilustra o sistema hidrostático de remoção de espuma da ETE *Laboreaux*, apresentando a sequência de procedimentos para a remoção de espuma pelo alívio da pressão no interior dos separadores trifásicos.



Sequência de procedimentos

1. Em condições normais de operação ocorre o acúmulo de espuma no interior do separador trifásico. Para a condição exemplificada, a válvula de espuma encontra-se fechada e a válvula de biogás permanece aberta. Todavia, a pressão na linha de gás é mantida em um valor previamente definido, de modo a manter o nível da lâmina de espuma ligeiramente abaixo da borda superior da canaleta.
2. Durante a rotina de descarte a válvula de espuma é aberta, permitindo o alívio da pressão e a saída do material para fora do reator.
3. Fim do procedimento de remoção de espuma e fechamento da válvula de espuma.
4. Restabelecimento da condição operacional inicial, resultando em um rebaixamento do nível de espuma no interior do separador trifásico.

Figura1: Representação esquemática do sistema hidrostático de remoção de espuma por alívio da pressão no selo hídrico.

A geração da espuma, após a implantação de uma rotina de descarte, gera a necessidade de destino do material. Leitos de secagem são indicados para o desaguamento de lodo excedente e apresentam a vantagem de simplicidade operacional e reduzido consumo energético e de produtos químicos (GONÇALVES *et al.*, 2001), acredita-se que a disposição da espuma nestas unidades de desidratação apresente condições operacionais semelhantes, configurando-se como uma alternativa para o gerenciamento da espuma. A ausência de estudos sobre o gerenciamento da espuma removida dos reatores UASB é mais um ponto de destaque no aprimoramento da operação desses sistemas de tratamento.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do sistema hidrostático de remoção de espuma a partir do protocolo proposto por Rosa *et al.* (2010), assim como determinar a taxa de acúmulo de espuma no interior dos separadores trifásicos e o emprego de um leito de secagem para a desidratação da espuma removida.

MATERIAL E MÉTODOS

Aparato experimental

Os estudos foram conduzidos na ETE *Laboreaux* localizada na cidade de Itabira–Brasil, como descrito por Chernicharo *et al.* (2009). A ETE *Laboreaux* apresenta fluxograma simplificado, compreendendo unidades de tratamento preliminar (gradeamento e desarenador), unidades de tratamento biológico anaeróbio e aeróbio em sequência (reator UASB, filtro biológico percolador - FBP e decantador secundário), além da unidade de desidratação (filtro-prensa). A complexidade e o tempo gasto para a operação de descarte fica evidente em função da necessidade de realização deste procedimento em 56 STF (8 reatores x 7 STF por reator). A Figura 2 ilustra um esquema representativo dos sete STF e a linha de espuma para um reator típico.

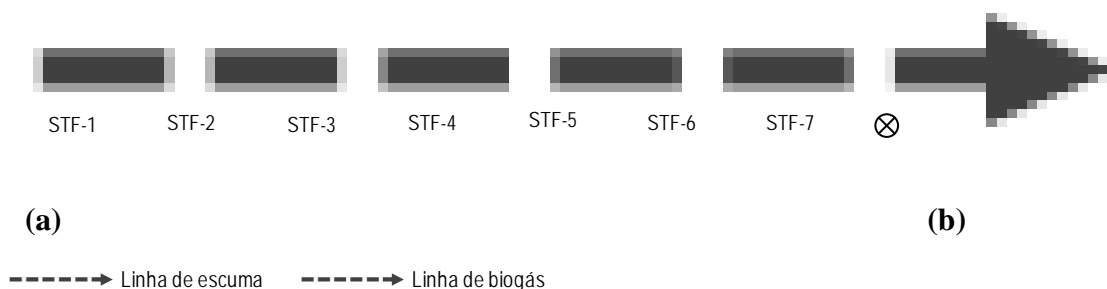


Figura 2: Representação esquemática dos STF dentro de cada reator UASB da ETE *Laboreaux*: (a) corte transversal ao longo do comprimento do reator, evidenciando os sete STF; (b) corte transversal ao longo da largura de um reator, ilustrando o comprimento de cada STF e a linha de drenagem de espuma (linha tracejada).

No caso específico dos reatores UASB da ETE *Laboreaux*, o nível da camada de espuma dentro dos STF é estabelecido a partir da pressão na linha de gás (oito selos hídricos, um por reator, e um tanque corta chamas para o grupo dos oito reatores). Conforme mostrado na Figura 3, o nível da interface espuma-biogás (1) no interior de cada um dos sete STF é simultaneamente controlado pela pressão da linha de gás, que por sua vez é definido e condicionado por um selo hídrico (2) localizado no topo de cada reator. Para o objetivo deste estudo, o nível da interface espuma-biogás dentro de cada STF foi configurado para 30mm abaixo da canaleta coletora de espuma (3) (uma pressão total de 200 mm.c.a. em relação ao nível de água no compartimento de decantação). Os níveis foram estabelecidos a partir de testes preliminares conduzidos por Rosa *et al.* (2010). Com esta configuração, quando ocorre a abertura de cada uma das válvulas de espuma (4) localizadas na parte externa do reator tem-se uma queda de pressão no interior dos STF, permitindo que o nível de espuma, ao subir, verta através da canaleta interna. Na sequência, o material é removido do reator e direcionado para uma peneira estática (5) com o intuito de separação do material grosseiro. A fração líquida da espuma que passa através da peneira é encaminhada para um leito de secagem (6). O material grosseiro removido na peneira é enviado para um aterro sanitário e a espuma seca é avaliada quanto ao seu poder calorífico com o propósito de geração de energia. Na Figura 4 são mostradas vistas das válvulas e da linha de espuma (4) localizadas externamente ao reator (Fig. 4a) e da peneira estática (5) e do leito de secagem (6) utilizados na pesquisa (Fig. 4b).

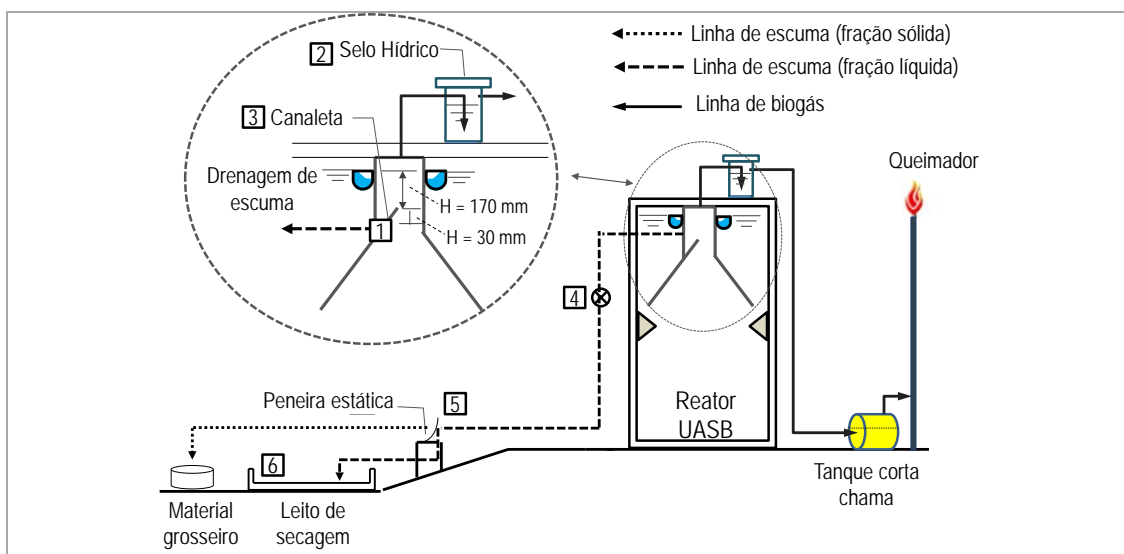


Figura 3: Fluxograma esquemático do sistema testado de remoção de espuma na ETE Laboreaux.
Legenda: (1) interface espuma-biogás; (2) selo hidrôico; (3) canaleta de espuma; (4) válvula de espuma; (5) peneira estática; (6) leito de secagem.

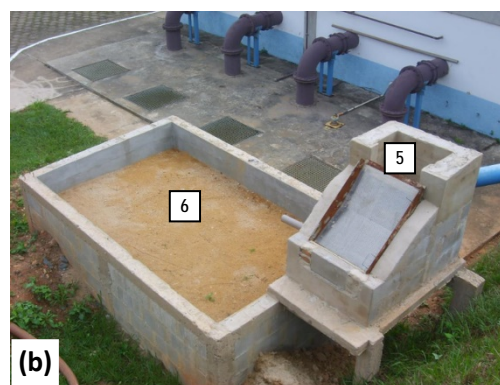
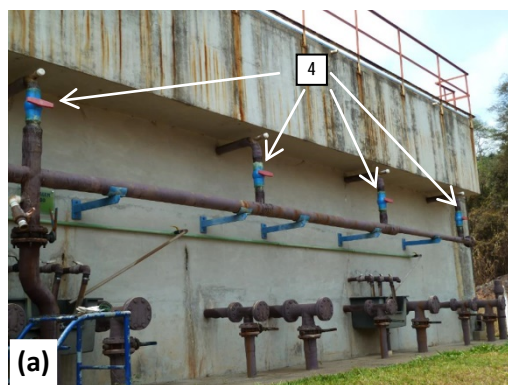


Figura 4: Gerenciamento de espuma na ETE Laboreaux. (a) vistas válvulas e da linha de espuma (4); (b) vista peneira estática (5) e do leito de secagem (6).

Testes para determinação da eficácia do dispositivo de remoção hidrostática

A eficácia do dispositivo de remoção hidrostática da espuma foi avaliada em dois dos sete STF (STF 1 e STF 4), em um dos oito reatores UASB na ETE Laboreaux. Para estes dois STF a espuma foi coletada e quantificada e sistematicamente removida em duas etapas distintas da pesquisa, que compreenderam quatro períodos operacionais. A Tabela 1 apresenta as características operacionais do reator UASB utilizado nos testes, assim como a frequência de remoção de espuma para cada etapa/período. Antes do início dos experimentos, a fração grosseira da espuma anteriormente acumulada no interior dos sete STF foi removida por um caminhão limpa fossa com o intuito de reestabelecer suas condições de fluidez.

Tabela 1: Frequências da remoção de espuma nos STF 1 e 4 e características operacionais do reator UASB utilizado nos testes na ETE Laboreaux.

Etapas	Períodos	Número de testes / duração	Frequência de remoção	Vazão média afluyente ao reator (L.s ⁻¹)	Velocidade ascensional (m.h ⁻¹)	DQO afluyente (mg.L ⁻¹)	Carga orgânica média afluyente (kgDQO.d ⁻¹)	Carga orgânica volumétrica média (kgDQO.m ⁻³ .d ⁻¹)
1	1	4/4 semanas	Uma vez por semana	10,8	0,29	426,4	397,9	0,66
	2	4/4 semanas	Duas vezes por semana	4,9	0,13	345,5	146,3	0,24
	3	4/4 semanas	Dias alternados	3,8	0,10	440,1	144,5	0,24
2	4	6/6 semanas	Duas vezes por semana	11,5	0,31	644,4	640,3	1,06

A fim de determinar a eficiência de remoção de espuma ao longo dos quatro períodos de testes, o procedimento padrão de rotina foi estabelecido pela: i) abertura das escotilhas dos STF 1 e 4; ii) isolamento da área de influência da espuma abaixo das escotilhas ($0,25 \text{ m}^2$); iii) remoção, por meio de uma peneira, da camada de espuma presente na área de influência das escotilhas; iv) quantificação do volume de espuma de acordo com Rosa *et al.* (2012); v) fechamento das escotilhas e pressurização da linha de gás conforme procedimento reportado por Rosa *et al.* (2012); vi) estabelecimento da pressão interna no interior do selo hídrico; vii) abertura das válvulas externas referentes ao STF 1 e 4, uma de cada vez, e descarte da espuma para a peneira estática e para o leito de secagem. Esta operação teve duração de dois minutos, indicando a quase total remoção de espuma; viii) abertura da escotilha de inspeção após a finalização do descarte e coleta da espuma remanescente na área de influência das escotilhas dos STF 1 e 4.

Testes para a determinação da produção de espuma

A determinação da taxa de crescimento de espuma ocorreu em dois dos sete STF (STF 5 e 7) do mesmo reator. Para estes dois STF a espuma não foi removida ao longo do período de amostragem, mas somente amostrada e quantificada. Os testes foram realizados na etapa 1 (período 2) e etapa 2 (período 4). O procedimento para a determinação da produção de espuma no interior dos STF foi realizado da seguinte maneira: i) abertura das escotilhas 5 e 7; ii) isolamento da área de influência da espuma abaixo das escotilhas; iii) remoção, por meio de uma peneira, da camada de espuma contida na área influência das escotilhas; e iv) quantificação do volume de espuma de acordo com procedimento proposto por Rosa *et al.* (2012).

A determinação da taxa de acúmulo de espuma ($\text{L.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$) em cada um dos separadores trifásicos foi calculada através da diferença do volume específico de espuma (L.m^{-2}) pelo período de crescimento monitorado (d). O volume de espuma acumulado no reator (L.d^{-1}) considera uma área superficial da interface espuma/gás de cada STF igual a $0,9 \text{ m}^2$ e $6,3 \text{ m}^2$ para o conjunto de sete STF em cada reator. O coeficiente de espuma (mL.kgDQO^{-1}) corresponde ao volume diário de espuma acumulado (mL.d^{-1}) pela carga orgânica afluyente média ao reator (kgDQO.d^{-1}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Eficácia do dispositivo de remoção de espuma

A Figura 5 indica, respectivamente, os volumes específicos de espuma quantificados no interior dos separadores trifásicos 1 e 4, antes e depois dos procedimentos de descarte nos diferentes períodos operacionais, e as respectivas eficiências de remoção obtidas para as diferentes frequências de descarte de espuma avaliadas (ver Tabela 1).

A partir da Figura 5 é possível identificar que os volumes específicos de espuma anteriores aos procedimentos de descarte foram bastante díspares, tanto considerando os diferentes períodos operacionais (1 a 4) como os diferentes separadores trifásicos (STF 1 e 4). Esses resultados refletem as diferentes dinâmicas de acumulação de espuma no interior de cada separador trifásico, uma vez que podem estar associadas às diferentes condições operacionais a que estiveram expostos os reatores, em termos de TDH, velocidades ascensionais, cargas orgânicas aplicadas (ver Tabela 1) e produção de biogás, e também aos procedimentos anteriores de descarte, que podem ter resultado em maiores ou menores volumes remanescentes de espuma no interior de cada STF. Já em relação aos volumes específicos de espuma posteriores aos procedimentos de descarte, é possível observar que estes se mostraram mais reduzidos, conforme esperado, quando os volumes de espuma anteriores aos descartes já eram baixos (STF 1 e STF 4: períodos 2 e 3). Adicionalmente, os volumes finais de espuma também se mostraram mais baixos quando as frequências de descarte foram mais elevadas (dias alternados e duas vezes por semana), as quais foram praticadas nos períodos 2a 4. De toda sorte, independentemente dos volumes específicos finais, as eficiências de remoção de espuma foram sempre muito elevadas, conforme discutido a seguir.

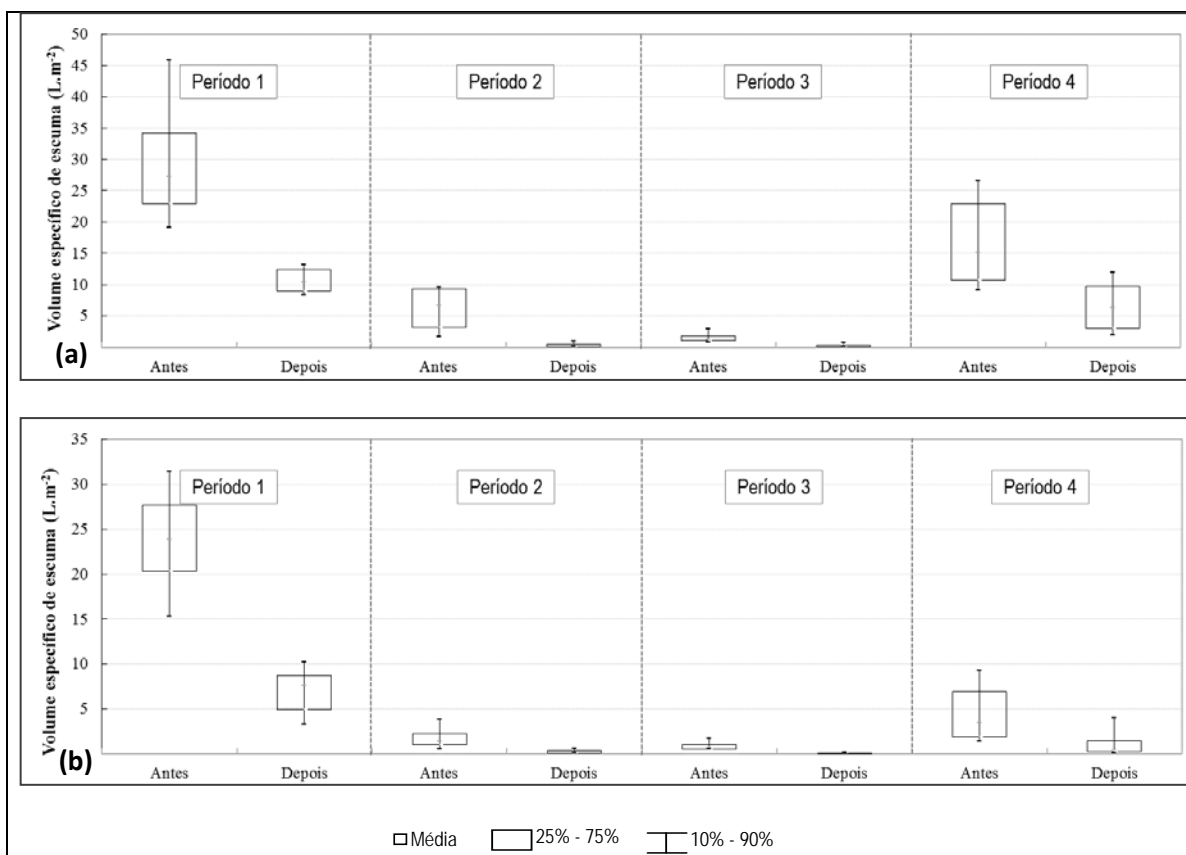


Figura 5: Variação dos volumes específicos de espuma no interior dos separadores trifásicos, ao longo dos períodos operacionais avaliados, antes e depois da operação de descarte: a) STF 1; b) STF 4.

Pelos resultados mostrados na Figura 6, pode-se observar que os descartes realizados com as frequências de duas vezes por semana e em dias alternados (períodos 2 e 3, respectivamente) resultaram nas maiores eficiências de remoção de espuma, da ordem de 90% (resultados medianos). As menores eficiências medianas de remoção, da ordem de 65%, foram observadas no período 1, quando foi testada a frequência semanal de descarte, e no período 4, em que se repetiu a mesma frequência de descarte do período 2, de duas vezes por semana. As eficiências mais baixas encontradas para o período 4 devem-se, possivelmente, às condições operacionais verificadas neste período, em que houve aumento significativo das vazões e concentrações de matéria orgânica afluentes aos reatores UASB da ETE *Laboreaux*, conforme mostrado na Tabela 1. Estas condições operacionais resultaram em maiores velocidades ascensionais e maior produção de biogás, aspectos estes que podem impactar, diretamente, na acumulação de espuma e na redução da eficiência da limpeza dos separadores trifásicos.

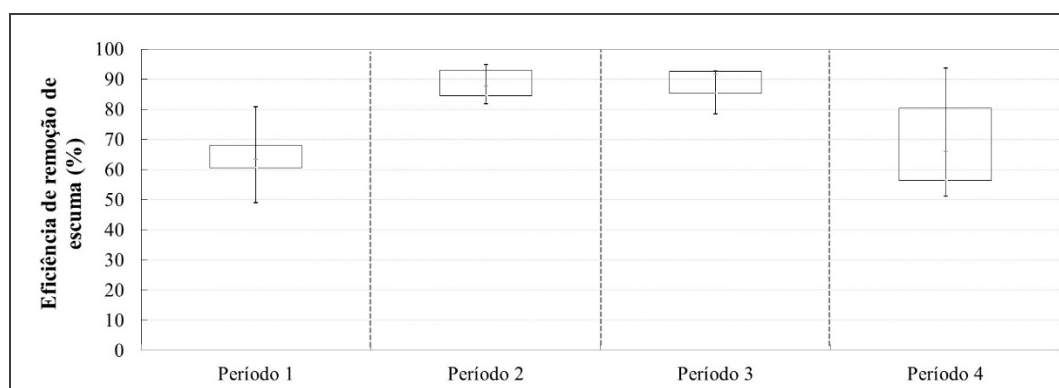


Figura 6: Eficiência de remoção de espuma do interior dos STF 1 e 4, ao longo dos quatro períodos operacionais avaliados.

Determinação da produção de espuma

Como mencionado anteriormente, a determinação da produção de espuma foi realizada nos STF 5 e 7, durante os períodos 2 e 4. Para estes STF não houve o descarte de espuma durante o período monitorado. A Figura 7 apresenta a evolução do acúmulo de espuma no interior dos dois STF ao longo dos períodos 2 (20 dias) e 4 (30 dias), assim como o ajuste da regressão linear e os coeficientes R^2 . Embora o volume específico de espuma ($L.m^{-2}$) tenha sido muito inferior dentro do STF 5 – período 1, em comparação com o outro STF e o outro período de teste foi possível avaliar que o acréscimo de espuma ao longo das semanas ocorreu em taxas similares (virtualmente linhas paralelas).

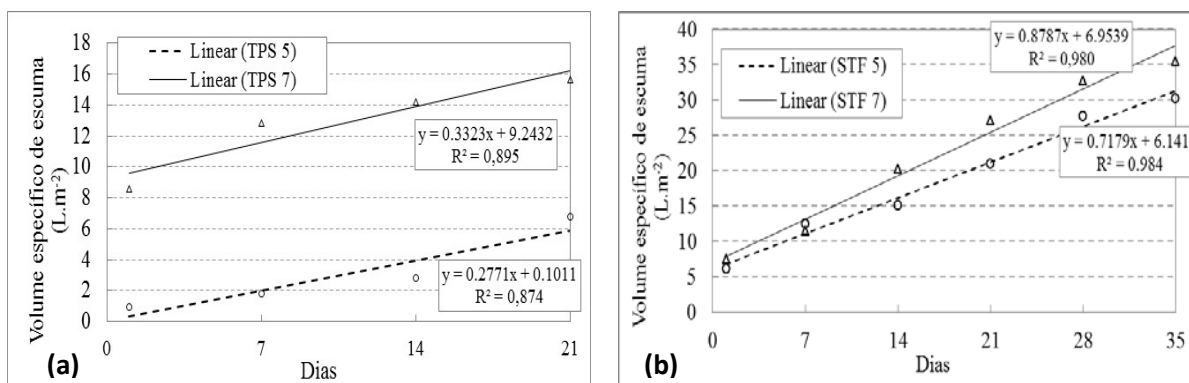


Figura 7: Evolução da acumulação de espuma a partir da determinação dos volumes específicos de espuma nos STF 5 e 7: a) Período 1; b) Período 4.

Tendo-se como base os resultados apresentados na Figura 7 e nas condições operacionais do reator indicados na Tabela 1 foi possível o cálculo do volume acumulado e do coeficiente de produção de espuma, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Condições operacionais e aspectos relativos ao crescimento de espuma para o reator UASB nos separadores trifásicos (STF 5 e 7).

Período	STF	Vazão ($L.s^{-1}$)	Tempo de detenção hidráulica (h)	Velocidade ascensional no reator UASB ($m.h^{-1}$)	Taxa de acúmulo de espuma ($L.m^{-2}.d^{-1}$)	Volume de espuma acumulado ($L.d^{-1}$)*	Carga orgânica afluente média ($kgDQO.d^{-1}$)	Coeficiente de produção de espuma ($mL.kgDQO^{-1}$)
2	5	4,9	34,3	0,13	0,28	1,76	146,3	12,03
	7				0,34	2,14		14,63
4	5	11,5	14,6	0,31	0,69	4,35	640,3	6,79
	7				0,80	5,04		7,87

(*) considerou-se a área superficial da interface espuma/gás de cada STF igual a $0,9 m^2$ ($6,3 m^2$ para o conjunto de sete STF em cada reator)

Observa-se para as diferentes condições operacionais que o período 2 foi caracterizado por um maior tempo de detenção hidráulica (34,3 h) e menor carga orgânica média afluente ao reator ($146,3 kgDQO.d^{-1}$) em comparação ao período 4. No período 4 nota-se um maior volume de espuma acumulado, em virtude do maior fluxo e condução da espuma ao interior dos separadores trifásicos, em consonância com os resultados reportados por Souza (2006). Todavia, os coeficientes médios de produção de espuma, considerando os dois STF, foram para os dois períodos operacionais, respectivamente $13,3e7,3 mL.kgDQO^{-1}$, nos períodos 2 e 4. São poucos os estudos que apresentam dados de acúmulo volumétrico de espuma por DQO aplicada, dentre estes, destaca-se o de Santos (2003) com produção de $160 mL.kgDQO^{-1}$ ao monitorar um reator UASB com baixa carga orgânica e elevada taxa de acumulação específica de espuma.

Os resultados apresentados na Tabela 2 fornecem uma informação relevante a ser considerada na elaboração de projetos de reatores UASB e na tomada de decisão referente à adoção de medidas preventivas de controle da espuma em estações de tratamento de esgotos. No entanto, deve-se levar em consideração que a taxa de acumulação da espuma possui relação direta com as características do esgoto bruto afluente e com as condições hidrodinâmicas do reator UASB, conforme já relatado nos estudos realizados por Souza (2006).

Adequação do uso do leito de secagem para o descarte de espuma

Outro importante aspecto do processo de remoção de espuma foi que o uso da peneira estática permitiu a separação do material grosseiro presente na espuma com êxito (Fig. 8-a), por sua vez garantindo boas condições de drenagem da fração líquida da espuma no leito de secagem (Fig. 8-b). Ao final de um período de 60 horas de drenagem do material no leito identificou-se uma quase completa desidratação e substancial redução do volume de espuma para um nível inferior a 25% do volume original (Figura 9). O curto período de desidratação é um importante parâmetro de projeto do sistema, uma vez que grandes volumes de líquido são removidos em conjunto com uma pequena fração grosseira da espuma. Em adição, a espuma retida no leito de secagem apresentou elevada concentração de óleos e graxas, e isto pode ser importante caso seja de interesse o aproveitamento energético deste resíduo. Ao contrário, o líquido drenado apresentou uma concentração muito baixa de óleos e graxas (e também de DQO), indicando que a fase líquida pode ser retornada ao sistema de tratamento.

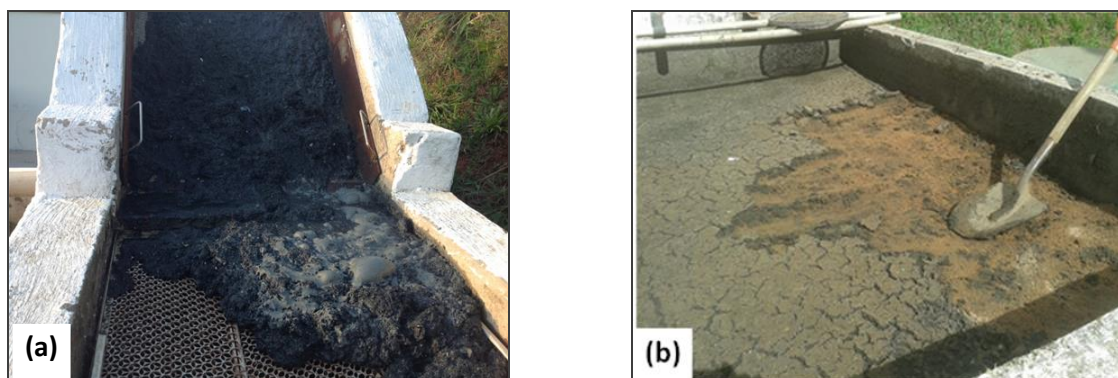


Figura 8: Vista geral da separação de espuma e do sistema piloto de desidratação na ETE *Laboreaux*: (a) material grosseiro removido na peneira; e (b) camada de espuma formada no leito de secagem.

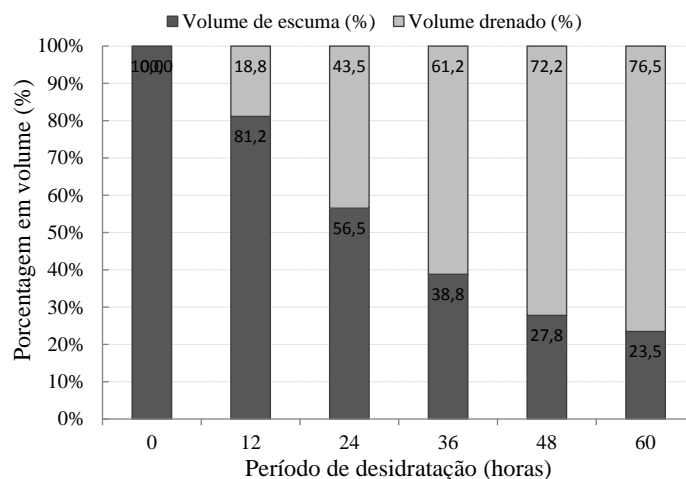


Figura 9: Evolução das porcentagens dos volumes de espuma e drenado ao longo de um período de 60 horas.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à Empresa Prominas por ceder a peneira estática para fins de pesquisa e o apoio da FAPEMIG.

CONCLUSÕES

Como resultado dos testes visando a avaliação do sistema hidrostático para remoção de espuma do interior de separadores trifásicos de reatores UASB na ETE *Laboreaux*, conclui-se que:

- A espuma que acumula no interior do separador trifásico (STF) de reatores UASB pode ser removida de forma adequada através de canaletas internas, considerando o controle interno do nível de espuma dentro do STF a partir da pressão do biogás na linha de gás. A eficácia do dispositivo de remoção hidrostática de

escuma foi demonstrada para diferentes frequências de descarte e condições operacionais do reator. Com uma menor frequência de descarte (uma vez por semana) a eficácia da remoção de escuma foi da ordem de 65%. Para descartes mais frequentes (dias alternados e duas vezes por semana) a eficiência média foi em torno de 90%. Elevadas eficiências de remoção são esperadas independentemente das condições operacionais do reator, desde que a escuma seja mantida no estado fluido e que as frequências de extração sejam compatíveis com as taxas de acumulação.

- Os resultados do estudo representam uma contribuição importante para a solução de um recorrente problema a partir da melhoria da concepção e operação de reatores UASB.
- Leitões de secagem podem ser avaliados como unidades que contribuem com a desidratação da escuma. Mais estudos são necessários para a busca de parâmetros de projeto a fim de se conceber tais unidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHERNICHARO, C.A. L.; ALMEIDA, P.G.S.; LOBATO, L.C.S.; COUTO, T.C.; BORGES, J.M. (2009). Experience with the design and start up of two full-scale UASB plants in Brazil: enhancements and drawbacks. *Water Science and Technology*, 60 (2), 507-515.
2. GARCIA, G.P.; SOUZA, C.L.; GLORIA, R.M.; CHERNICHARO, C.A.L.; SILVA, S.Q. (2012). Biological oxidation of sulphides by microorganisms present in the scum layer of UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, 66 (9), 1871-1878.
3. GONÇALVES, R.F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. – Capítulo 5: Remoção de umidade de lodos de esgotos - In: Andreoli, C. V. (Coord) – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Vol. 6: Lodo de esgoto: tratamento e disposição final – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484p.
4. HALALSHEH, M.; KOPPEL, J.; DEN ELZEN, J.; ZEEMAN, G.; FAYYAD, M.; LETTINGA, G. (2005) Effect of SRT and temperature on biological conversions and the related scum-forming potential. *Water Research*, 39, 2475-2482.
5. LETTINGA, G.; HULSHOFF POL, L.W. (1991) UASB - Process design for various types of wastewaters. *Water Science Technology*, 24, (8), 87-107.
6. PEREIRA, J.O.; CELANI, J.S.S.; CHERNICHARO, C.A.L. (2009). Control of scum accumulation in a double stage biogas collection (DSBC) UASB reactor treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, 59 (6), 1077- 1083.
7. ROSA, A.P.; LOBATO, L.C.S.; CHERNICHARO, C.A.L.; MARTINS, D.C.R.B.; MACIEL, F.M; BORGES, J.M. (2012). Improving performance and operational control of UASB reactors via proper sludge and scum discharge routines. *Water Practice Technology*, 7 (3), 11 p.
8. ROSA, A. P.; MARTINS, D. C. R. B.; ALMEIDA, P. G. S.; VENTURA, H. C.; CHERNICHARO, C. A. L. (2011). Estabelecimento de rotina operacional para remoção de escuma nos reatores UASB da ETE Laboreaux Itabira/MG. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, Porto Alegre. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
9. SANTOS, S. E. Avaliação do desempenho operacional de um sistema reator UASB – Lagoa de polimento, Estudo de caso da ETE Juramento-MG. 133f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas gerais, Belo Horizonte, 2003.
10. SATO, N.; OKUBO, T.; OHASHI, A.; HARADA, H. (2006). Prospects for a self-sustainable sewage treatment system: case study on full-scale UASB system in India's Yamuna River Basin. *J. Enviro. Manage.* 80, 198-207.
11. SILVA, S. Q.; ZERBINI, A. M.; GODINHO, V. M.; CHERNICHARO, C. A. L. (2005). "Caracterização morfológica de microrganismos presentes em escuma de reatores UASB tratando esgotos domésticos." Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. II-206, Campo Grande, Brasil.
12. SOUZA, C. L.; SILVA, S.Q.; AQUINO, S.F.; CHERNICHARO, C.A.L. (2006) Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. *Water Science and Technology*, 54 (9), 201-208.
13. VAN LIER, J.B.; VASHI, A.; VAN DER LUBBE, J.; HEFFERNAN, B. (2011). Anaerobic sewage treatment using UASB reactors: Engineering and operational aspects. In: Fang, H.H.P. (Editor) *Environmental anaerobic technology: applications and new developments*; Imperial College Press -London-UK. p 59-87.