

II-134 – ESTABELECIMENTO DE ROTINA OPERACIONAL PARA REMOÇÃO DE ESCUMA NOS REATORES UABS DA ETE *LABOREAUX* – ITABIRA/MG

André Pereira Rosa⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental. Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Diogo Carneiro Ribeiro Bueno Martins

Graduando em Engenharia Civil.

Paulo Gustavo Sertório de Almeida

Engenheiro Civil. Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Helder Clemente Ventura

Operador da ETE Laboreaux. 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⁾: Av. Antônio Carlos, 6627 - UFMG/EE/DESA Bloco 2, sala 4541 - Pampulha - Belo Horizonte - MG - CEP: 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 3409-1025 - e-mail: andrerosa@ufmg.br

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar o impacto da implementação de rotinas de descarte de espuma em reatores UASB, em escala plena, sobre o controle operacional do sistema e a melhoria da qualidade do efluente final. Os trabalhos foram desenvolvidos na ETE *Laboreaux* (População equivalente de 70.000 habitantes), localizada na cidade de Itabira/MG – Brasil. Foram testadas duas condições operacionais para a remoção hidrostática da espuma, variando-se a pressão na linha de gases e a altura da lâmina de espuma no interior do separador trifásico. A primeira configuração relaciona-se a uma lâmina de espuma no interior dos separadores trifásicos 2 cm acima da calha coletora de espuma, em um segundo momento, comparou e avaliou-se o efeito na melhoria da rotina de descarte com o rebaixamento da lâmina a uma condição abaixo do vertedor (3 cm abaixo). A remoção de espuma foi observada para a configuração 2, devido à observância da perda de traçadores no efluente em descarte. A efetiva remoção de espuma só foi conseguida nos separadores trifásicos localizados mais próximos à linha de esgotamento, indicando a necessidade de aprimoramentos no sistema de descarte.

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

INTRODUÇÃO

Dadas às condições climáticas, o Brasil assume uma posição de vanguarda no cenário mundial em relação à aceitação e disseminação de processos anaeróbios de tratamento de esgoto, especialmente os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo - reatores UASB. No que tange a ampla utilização dos mesmos, ainda existem limitações, não completamente solucionadas até o presente, a se destacar a remoção periódica e o uso de rotinas operacionais para a remoção de espuma.

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).

O acúmulo da espuma em reatores UASB pode ocorrer tanto no interior do separador trifásico quanto na superfície do decantador. Em Itabira, os reatores foram projetados sem a utilização de retentores de espuma, desta forma não ocorre acumulação de espuma nos decantadores, sendo o material flotante descarregado juntamente com o efluente. Portanto, a preocupação com a espuma na ETE *Laboreaux* se restringe ao interior dos separadores trifásicos.

A taxa de acumulação de espuma nos separadores trifásicos depende fortemente das características do esgoto bruto e das condições hidráulicas do reator (CHERNICHARO, 2007). Adicionalmente, o protocolo de remoção de espuma, a qual se acumula no interior do separador trifásico ainda não está completamente estabelecido, constituindo-se, possivelmente, no principal problema no controle operacional nas estações de tratamento que empregam reatores UASB (HALALSHEH *et al.*, 2005; CHERNICHARO *et al.*, 2009).

A espuma, camada de material orgânico flutuante de baixa degradabilidade formada na superfície de bioreatores (SOUZA *et al.*, 2006), é um material 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).

Dado o conhecimento do acúmulo de espuma no interior do separador trifásico, são previstos meios de retirada desse material na concepção de projetos de reatores UASB. Como não se sabe se a espuma apresentará características fluidas, que permitam remoção hidrostática por meio de canaletas, é recomendada incorporação de uma alternativa que possibilite a remoção de espuma mais concentrada, como escotilhas de inspeção localizadas acima do separador trifásico. A presença dessas escotilhas de fechamento hermético possibilita a identificação da necessidade de remoção do material, e também a medição da espessura da camada acumulada.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo investigar um protocolo mais efetivo para a remoção de espuma no interior do separador trifásico nos reatores UASB monitorados na ETE *Laboreaux* (Itabira-MG). Para este estudo, foi feita a comparação da influência e efetividade na remoção hidrostática de espuma para diferentes pressões e lâminas d'água no interior do separador trifásico, acima e abaixo da canaleta de coleta de espuma.

MATERIAL E MÉTODOS

Esse trabalho foi realizado na ETE *Laboreaux*, localizada na cidade de Itabira/MG, dimensionada para atendimento de uma população de 123.000 habitantes, com a primeira etapa, atualmente implantada, dimensionada para a população de 70.000 habitantes. 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 Figura 1 apresenta o *layout* das unidades da ETE *Laboreaux*.



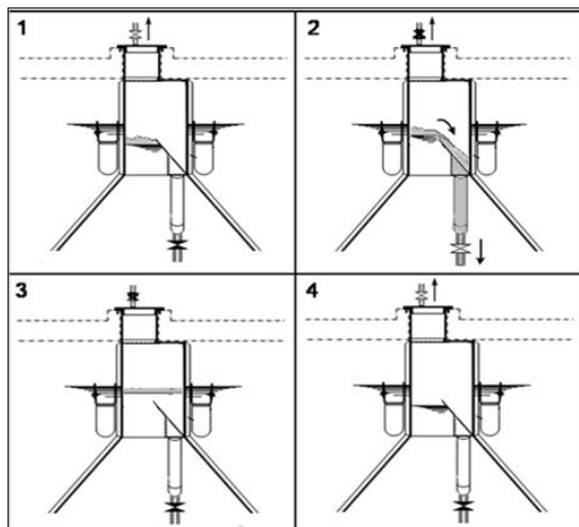
Figura 1: Vista geral das unidades da ETE *Laboreaux*

Estabelecimento de rotina operacional para remoção de espuma

Embora os reatores UASB da ETE *Laboreaux* tenham sido projetados com um sistema hidrostático de remoção de espuma, as operações de rotina não vinham conduzindo a uma efetiva remoção desse material, o que resultava na retenção de uma espessa camada de espuma no interior dos separadores trifásicos. A efetiva remoção da espuma só era conseguida com a abertura das escotilhas de inspeção e sucção do material com o

apoio de caminhões limpa-fossa. Desnecessário enfatizar a complexidade e o tempo despendido nesta operação, tendo em vista a necessidade de realizá-la em 56 separadores trifásicos (8 reatores x 7 separadores por reator).

O sistema hidrostático de remoção de espuma baseia-se na alteração do nível d'água no interior do separador trifásico, 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 2 ilustra o sistema hidrostático de remoção de espuma da ETE *Laboreaux*, apresentando a seqüência de procedimentos para a remoção de espuma pelo alívio da pressão no interior dos separadores trifásicos.



Seqüência 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.

Figura 2: Representação esquemática do sistema hidrostático de remoção de espuma por alívio da pressão no selo hídrico

No caso particular dos reatores UASB da ETE *Laboreaux*, o nível da lâmina de espuma no interior dos separadores trifásicos é estabelecido a partir da pressão na linha de gases (oito selos hídricos, um para cada reator, e um tanque corta-chama, para o conjunto de 8 reatores). Um sistema eletrônico de controle do nível de água dentro do tanque corta-chama garante a pressão na linha de gases, no trecho entre o selo hídrico e o tanque corta-chama, em aproximadamente 100 mm.c.a. O desnível entre a canaleta de recolhimento do efluente tratado e a canaleta de remoção de espuma é igual a 170 mm. A configuração do sistema de gases é mostrada de forma esquemática na Figura 3. A Figura 4 apresenta o selo hídrico, suas unidades constituintes e do queimador do biogás.

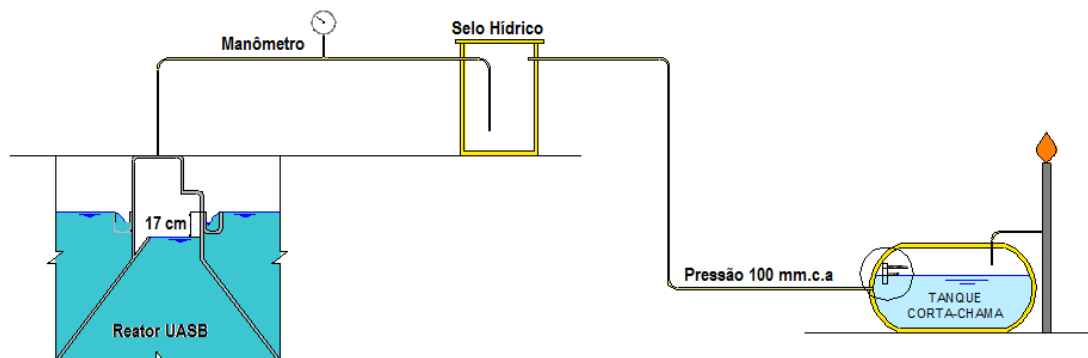


Figura 3: Representação esquemática das unidades envolvidas no gerenciamento de espuma nos reatores UASB

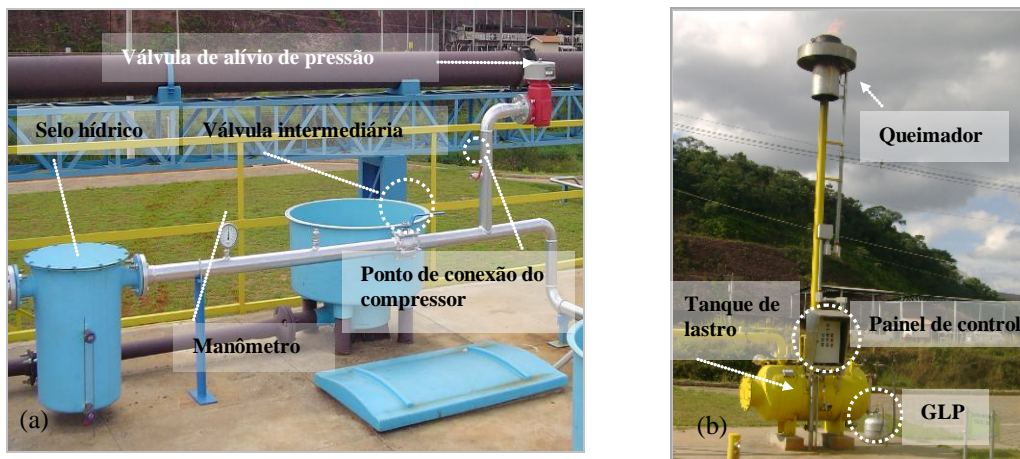


Figura 4: (a) Selo hídrico e unidades constituintes; (b) Queimador de biogás.

Estabelecimento de protocolo para a remoção de espuma

Para a correta operacionalização do sistema hidrostático de remoção de espuma foram testadas duas condições operacionais, variando-se o nível da lâmina de espuma no interior do separador trifásico, de acordo a Equação 1.

$$H_{esc} = H - H_{lg} - H_{sh} \quad (\text{Eq. 1})$$

Na qual: H_{esc} = profundidade da lâmina de espuma no interior do separador trifásico (mm.c.a); H = diferença de nível da canaleta de recolhimento do efluente tratado e da canaleta de remoção de espuma ($H = 170$ mm.c.a); H_{lg} = pressão na linha de gás no trecho entre o selo hídrico e o tanque corta-chama ($H_{lg} = 100$ mm.c.a); H_{sh} = pressão no selo hídrico (mm.c.a).

Para a primeira condição operacional testada foi estabelecida uma pressão no selo hídrico (H_{sl}) de 50 mm.c.a, resultando em um nível de espuma 20 mm acima da canaleta coletora. Esta condição apresentou dificuldades operacionais para a remoção da espuma, partindo-se em seguida para a segunda condição operacional de teste, com a lâmina de espuma localizada abaixo do nível da canaleta. A Tabela 1 apresenta as condições de pressão e nível de espuma no interior do separador trifásico para as duas condições operacionais testadas, todavia apenas a condição 2 levou a bons resultados, conforme tratado adiante. A figura 5 apresenta um esquema do interior do reator para as duas configurações testadas e propostas.

Tabela 1: Pressões e alturas de lâmina de água no selo hídrico e de espuma no separador trifásico

Parâmetro	Condição operacional 1	Condição operacional 2
Pressão na linha de gás (H_{lg})	100 mm.c.a	100 mm.c.a
Pressão no selo hídrico (H_{sg})	50 mm.c.a	80 mm.c.a
Nível da espuma	20 mm acima da canaleta	30 mm abaixo da canaleta

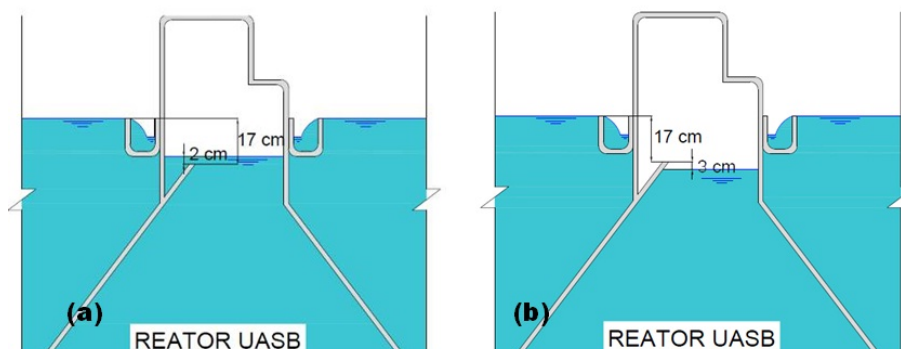


Figura 5: Condicionamento de lâminas para a remoção de espuma no estabelecimento da rotina operacional. (a) lâmina de 2 cm acima do coletor de espuma – teste 1; (b) lâmina de 3 cm abaixo do coletor de espuma – teste 2.

Testes de remoção da espuma

Uma vez definida a condição operacional do sistema de gases (pressão no selo hídrico), de acordo com a Tabela 1, foram então realizados testes para se avaliar a eficácia do sistema de remoção da espuma. Foram utilizados traçadores no interior dos separadores trifásicos, de modo a se poder constatar, na linha externa de drenagem da espuma, se a camada superior de espuma era removida, conjuntamente com o traçador. Para tal, foram usadas esferas de isopor de 20 mm de diâmetro (Figura 6a) e cal (Figura 6b). Os traçadores foram aplicados em cada um dos sete separadores trifásicos do reator 1.



Figura 6: Introdução dos materiais traçadores nas escotilhas (a) esferas de isopor e (b) cal.

Teste 1

O teste 1 seguiu o seguinte protocolo: (i) condicionamento da lâmina seguindo a relação apresentada na equação 1; (ii) abertura da escotilha e introdução das esferas de isopor nas escotilhas número 1 e 7, seguida da adição de 20 kg de cal na escotilha central; (iii) fechamento das escotilhas e pressurização da rede; (iv) descarte da espuma por um período determinado, a fim de esgotar o volume correspondente à lâmina condicionada no teste; (v) avaliação da presença dos materiais traçadores no tanque; (vi) abertura das escotilhas e observação das condições do material sobrenadante no separador trifásico.

Após o descarte da espuma no reator, o líquido foi coletado em um tanque de 500 L inserido dentro do leito de secagem, a fim de se observar a presença de unidades de isopor e de cal.

Teste 2

Para se obter a condição operacional desejada (condição 2 – Tabela 1), de forma a se estabelecer a pressão no selo hídrico e o nível da lâmina de espuma em relação ao nível da calha coletora, no interior de cada separador trifásico, foi estabelecido o seguinte protocolo: (i) abertura das escotilhas dos sete separadores trifásicos do reator 1, para documentação fotográfica da camada de espuma em cada separador; (ii) amostragem e quantificação da camada superior de espuma sob a área de influência da escotilha do separador número 4, localizado no meio do reator; (iii) fechamento das escotilhas e pressurização da linha de gás; (iv) verificação do restabelecimento da pressão desejada no interior do selo hídrico; (v) abertura do registro de descarte de espuma e verificação visual da presença do material traçador (esferas de isopor) na linha de drenagem de espuma; (vi) abertura das escotilhas 2, 3, 4 e 5 para a verificação visual e quantificação do material remanescente sob a área de influência de cada escotilha.

A quantificação de espuma a que se refere os itens (ii) e (vi) foi feita com o auxílio de um coletor vertical de 1,0 L, um balde graduado de 10 L e uma peneira com abertura de 2 mm. Procedeu-se a remoção da espuma sob a área de influência da escotilha (aproximadamente $0,25 \text{ m}^2$), seguida de transferência para balde graduado e posterior quantificação do material que ficava retido na peneira. Dessa forma, foi possível calcular o volume específico de espuma, expresso em mL.m^2 .

RESULTADOS

Teste 1

A Figura 7 apresenta as condições da camada superior de espuma em duas diferentes escotilhas após a introdução das esferas de isopor e da cal. Após o desenvolvimento da rotina proposta pelo teste 1, não se observou nenhuma alteração visual após a abertura das escotilhas, fato comprovado pela manutenção da coloração na espuma descartada e pela ausência de unidades de isopor no material coletado no tanque. Para este teste, o volume descartado retirado do interior do separado trifásico superou o estimado (434 L), não havendo o esgotamento do volume calculado para uma lâmina de 2 cm, fato este relacionado ao não isolamento do reator e por se considerar que a vazão de descarte de espuma é muito inferior à do afluente ao reator. O teste foi encerrado após o transbordo do reservatório.



Figura 7: Características visuais das escotilhas após a introdução de (a) isopor e (b) cal, antes da aplicação da rotina operacional

Teste 2

Como resultado do teste 1 foi verificado a ausência na remoção dos materiais traçadores no leito de secagem e no reservatório que recebeu o descarte de espuma. Fato comprovado após a abertura de todas as escotilhas e verificação de inalteração visual do topo dos separadores trifásicos inspecionados. Esta situação comprova a dificuldade de remoção total de espuma com a configuração da lâmina de espuma posicionada acima do coletor, visto que no processo de descarte, verte-se apenas o efluente líquido, devido ao fato da camada de espuma se encontrar em um nível superior. O comprometimento da remoção da espuma para este caso também pode estar vinculado à ausência de uma remoção prévia para a espuma acumulada no reator, já que no momento do teste esta se encontrava já com pouca fluidez e, portanto, difícil de remover por meio das canaletas de esgotamento.

O protocolo operacional adotado durante o teste 2 se mostrou bastante adequado, todavia não igualmente eficiente para todos os separadores trifásicos. Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam que espuma foi efetivamente removida nos separadores 3 e 4, com apenas 5 a 10% da espuma remanescendo após a operação de remoção. Acredita-se que as tubulações de saída de espuma dos separadores trifásicos 2 e 5 estivessem parcial ou totalmente entupidas, uma vez que elevados percentuais de espuma (35 e 100%, respectivamente) foram observados após a operação de remoção de espuma.

Adicionalmente, como os separadores 2 e 5 encontram-se mais próximos das extremidades do reator e a válvula de descarte localiza-se exatamente no centro do reator, em frente ao separador 4, também a perda de carga hidráulica, no momento de abertura da válvula, pode ter sido desigual e favorecido a saída de espuma dos separadores localizados mais próximos da válvula de descarte. Para sanar estes dois possíveis problemas (entupimento e perda de carga desigual), serão implantados pontos de inspeção e registros nas tubulações de saída de espuma de cada separador trifásico.

Tabela 2: Volumes específicos de espuma nos separadores trifásicos (2, 3, 4 e 5), antes e após o teste 2

Separador trifásico	Volume de específico de espuma (mL.cm ⁻²) [*]		% de espuma remanescente
	antes do teste	após o teste	
2	4,0	1,4	35
3		0,4	10
4		0,2	5
5		4,0	100

(*) refere-se ao volume de espuma amostrado sob a área da escotilha e que ficou retido em peneira de 2 mm de abertura

A eficácia do procedimento operacional de remoção de espuma foi também visualmente constatada, conforme mostrado na Figura 8, na qual se pode observar as condições de acúmulo de espuma antes e após o teste de remoção. A presença do material traçador (esferas de isopor) na linha de drenagem comprova que a canaleta de espuma, localizada no interior do separador trifásico, possibilitou que a camada superior e mais leve da espuma fosse removida, tendo sido necessário apenas o correto ajuste da pressão de gás no selo hidráulico e no interior do separador trifásico. A ausência das esferas de isopor no interior do separador trifásico, após o teste (Fig. 8-b), também confirma a eficácia do procedimento operacional.

Observou-se que o uso das esferas de isopor foi um bom indicador para o teste, devido à facilidade de identificação visual e densidade, que permitiam a flotação do material em dos poços de visita da linha de drenagem de espuma (Fig. 8-c).



Figura 8: Visualização do acúmulo de espuma sob a escotilha do separador trifásico 3 antes (a) e após (b) o teste de remoção; (c) Verificação da remoção do material traçador (esferas de isopor) no poço de visita da linha de drenagem de espuma.

Avalia-se que o uso das esferas de isopor foi um bom indicador para o teste, devido à facilidade de identificação visual e densidade que permitiam a flotação do material no poço de visita (PV), em contrapartida, a cal não é indicada, por não ser identificada no PV, mesmo quando removida no processo de descarte.

CONCLUSÕES

Como produto dos testes realizados para a determinação de um protocolo de remoção de espuma no reator UASB, conclui-se que:

- O correto ajuste da pressão na linha de gás e do nível de espuma no interior dos separadores trifásicos possibilitou a efetiva remoção de espuma dos separadores localizados na parte mais central do reator. O residual de espuma nestes separadores, após a operação de descarte, foi de apenas 5 a 10%. A inspeção visual também confirmou a efetividade do procedimento adotado, dada a completa ausência das esferas de isopor utilizadas como traçadores, que foram removidas do interior dos separadores trifásicos juntamente com a espuma.
- Problemas de entupimento e de perda de carga desigual na tubulação de saída de espuma devem ter contribuído para a baixa remoção desse material nos separadores trifásicos localizados nas extremidades do reator, tendo em vista a existência de apenas uma válvula de descarte de espuma para o conjunto de sete separadores, sendo esta localizada no centro do reator. Tal constatação indica a necessidade de melhorias no projeto dos sistemas hidrostáticos de remoção de espuma, possivelmente com a implantação de inspeções individuais em cada tubulação de saída e maior quantidade de válvulas de descarte, de modo a melhor equilibrar as perdas de carga durante a operação de retirada da espuma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHERNICHARO, C. A. L. (2007). *Reatores anaeróbios*. 2. Ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 380 p. (Princípio do tratamento biológico de águas residuárias, v.5).
2. CHERNICHARO, C. A. L., ALMEIDA, P.G.S., LOBATO, L. C. S., COUTO, T. C. COUTO AND 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.

3. 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.
4. LETTINGA, G., HULSHOFF POL, L.W. (1991) UASB - Process design for various types of wastewaters. *Water Science Technology*, 24, (8), 87-107
5. 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.
6. 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. Environ. Manage.* 80, 198-207.
7. SILVA, S. Q., ZERBINI, A. M., GODINHO, V. M. E CHERNICHARO, C. A. L. (2005). "Caracterização morfológica de microrganismos presentes em espuma de reatores UASB tratando esgotos domésticos." *Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. II-206, Campo Grande, Brasil.
8. SOUZA, C.L. (2006). Estudo quantitativo e qualitativo de espuma acumulada por reatores UASB em escala de demonstração tratando esgotos domésticos. *Dissertação de mestrado*. Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.
9. 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. In: *Proc. of the 4th World Water Congress. IWA, Beijing, China*.