



## II-520 - CONTRIBUIÇÃO PARA A MELHORIA DO PROJETO E DA OPERAÇÃO DE REATORES UASB TRATANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS: GERENCIAMENTO DA ESCUMA

**Carlos Augusto de Lemos Chernicharo<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle upon Tyne – UK. Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

**Paulo Gustavo Sertório de Almeida**

Engenheira Civil e Sanitarista. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.

**Thaiza Clemente Couto**

Engenheira de Meio Ambiente pela Universidade Federal do Tocantins. Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Cláudio Leite de Souza**

Engenheiro Civil (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG).

**Jorge Martins Borges**

Engenheiro Mecânico. Especialista em Engenharia Sanitária pela UFMG. Diretor Técnico do SAAE de Itabira.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Av. do Contorno, nº. 842 - 7º. Andar – Centro – Belo Horizonte – MG - CEP: 30110-060 - Belo Horizonte – Minas Gerais – Brasil. Tel: (31) 3409-1020. E-mail: [calemos@desa.ufmg.br](mailto:calemos@desa.ufmg.br)

### RESUMO

Os reatores UASB têm sido amplamente reconhecidos como potencial alternativa em estudos de concepção de sistemas de tratamentos de esgotos no contexto do Brasil. Contudo algumas limitações em termos de projeto e operação ainda são observadas sob a perspectiva do gerenciamento da espuma produzidas em reatores UASB. Considerando tais limitações, o presente trabalho reuniu alguns importantes aprimoramentos no tocante ao gerenciamento da espuma com base em uma revisão da literatura e na experiência obtida a partir de vários reatores em operação no Brasil. Melhorias na etapa de pré-tratamento dos afluentes ao reator UASB e estratégias operacionais de retirada da espuma do interior dos separadores trifásicos, bem como as recomendações para o uso da remoção hidrostática da espuma, são discutidos no conteúdo do trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gerenciamento de espuma; reatores UASB; tratamento de esgoto

### INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

Em que pese as grandes vantagens e ampla utilização no Brasil, os reatores anaeróbios ainda apresentam algumas limitações, não completamente solucionadas até o presente. Se diretrizes adequadas para projeto, construção e operação não forem disponibilizadas em curto espaço de tempo, a tecnologia pode ser desacreditada e a sua aplicação reduzida.

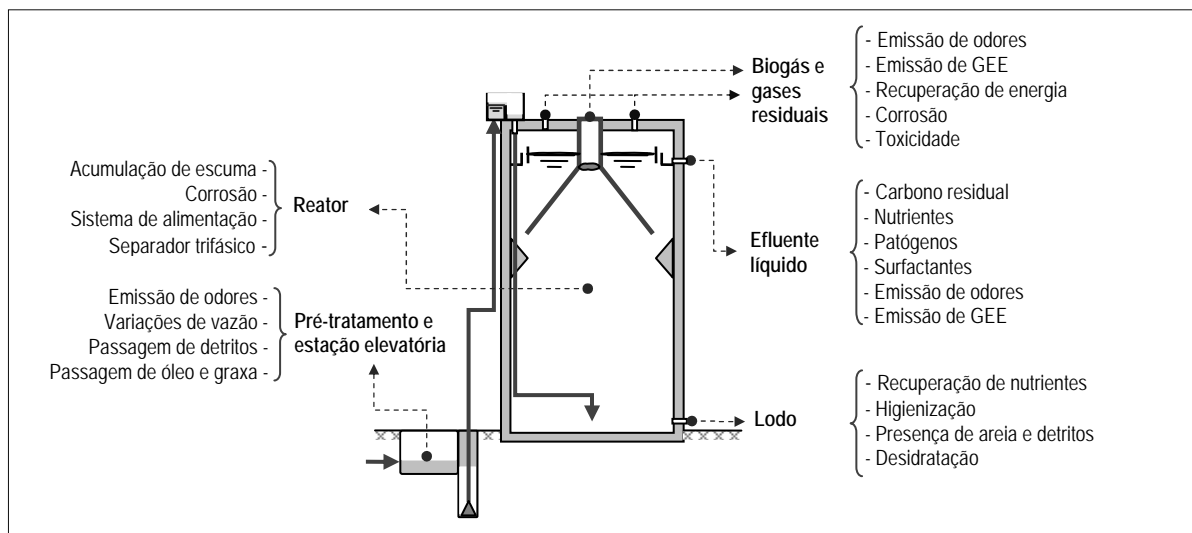
De acordo com a experiência brasileira (Chernicharo and Stuetz, 2008), as possíveis melhorias relacionadas a projeto, construção e operação de reatores UASB, aplicados ao tratamento de esgotos domésticos, podem ser agrupadas de acordo com os tópicos mostrados na Figura 1. Embora melhorias para todos os tópicos mostrados na referida figura estejam correntemente sendo investigadas, no presente trabalho são enfocadas apenas as melhorias relacionadas ao *gerenciamento da espuma*.

A espuma constitui-se em uma camada de materiais flutuantes que se desenvolve na superfície de reatores anaeróbios. Junto a essa matriz residual podem estar presente 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).

A espessura da camada de espuma acumulada em reatores UASB depende fundamentalmente da composição do substrato, notadamente do conteúdo de sólidos suspensos e de óleos e graxas. Nesse sentido, uma elevada carga de sólidos pode resultar em baixos tempos de retenção de sólidos, causando a acumulação de

substâncias flotáveis (lipídeos e proteínas) (Laubscher *et al.*, 2001; Mahmoud *et al.*, 2003). Assim, os materiais leves e de pequenas dimensões, não removidos nas unidades de tratamento preliminar, também passam a constituir a camada de espuma, que se acumula na superfície dos compartimentos de decantação e no interior dos separadores trifásicos (Pagliuso *et al.*, 2002).

**Figura 1:** Tópicos de interesse para possíveis melhorias em ETEs que empregam reatores UASB

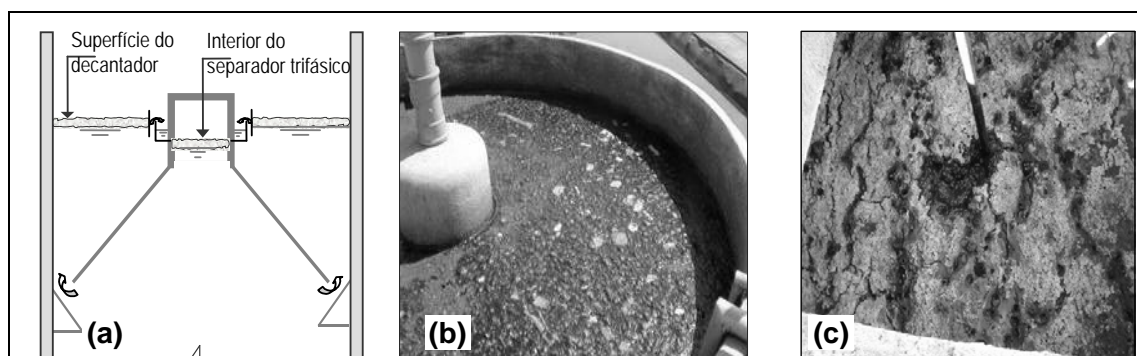


Outras razões para a formação e acumulação de espuma em reatores UASB são:

- Arraste de partículas de lodo biológico do compartimento de digestão para o compartimento de decantação, devido à imposição de elevadas velocidades ascensionais (Sousa, 2006);
- Adsorção de ácidos graxos de cadeia longa, resultantes da hidrólise de lipídeos, sobre lodo granular (Hwu *et al.*, 1998).

Ainda, a taxa de formação e acumulação de espuma nos decantadores dependerá fortemente do correto gerenciamento do lodo no interior dos reatores. Ou seja, a não retirada do lodo excedente com a frequência adequada certamente provocará uma maior perda de sólidos para o compartimento de decantação, ocasionando a elevação da taxa de produção de espuma e a possível deterioração da qualidade do efluente final.

Em reatores UASB, a formação de espuma pode ocorrer em dois locais distintos: i) no interior do separador trifásico, na interface de liberação dos gases formados durante a digestão anaeróbia; e ii) na superfície do decantador, conforme ilustrado na Figura 2. Independente do lugar aonde a espuma vier a se formar/acumular, a quantidade e as suas características vão depender, em grande parte, das características do esgoto afluente, em termos de presença de sólidos suspensos e da quantidade de óleos e graxas. Contudo, o aporte de materiais de maiores dimensões ao volume reacional pode contribuir sobre maneira para a formação de espuma nos reatores UASB. Adicionalmente, vale ressaltar que o recebimento de efluentes e resíduos provenientes de fossas-sépticas, banheiros químicos, caixas de gordura, entre outros materiais de origem pouco controlada, podem igualmente promover a intensificação do acúmulo de espuma nos reatores. Tal aspecto foi notadamente observado na prática em ETEs que recebiam materiais de similar natureza.



**Figura 2:** Locais de acumulação de espuma em reatores UASB: (a) representação esquemática; (b) superfície do decantador; (c) interior do separador trifásico

De acordo com Lettinga e Hulshoff Pol (1991), a acumulação de espuma no interior do separador trifásico pode bloquear a passagem natural do gás, o que ocasionaria, eventualmente, o desvio do biogás para o compartimento de decantação e, conseqüentemente, o comprometimento da retenção de sólidos e a deterioração da qualidade do efluente. A formação de uma camada de espuma na parte superior do compartimento de decantação poderia também reduzir a eficiência global do sistema, caso os sólidos flutuantes se desgarrarem da matriz de espuma e forem liberados com o efluente. Por outro lado, a manutenção de uma camada de espuma em compartimentos de decantação abertos poderá favorecer a mitigação de problemas de odores, pelo bloqueio e/ou tratamento de gases sulfurosos que, de outra forma, escapariam para a atmosfera (Souza, 2006). Em ambos os casos, as incertezas acerca da quantidade de espuma produzida e das melhores alternativas para a sua remoção, tratamento e disposição final são ainda recorrentes. Ademais, informações relacionadas ao papel da camada de espuma na remoção de sulfetos e controle de odores são ainda escassas.

Em um trabalho de caracterização de espuma acumulada em decantadores de reatores UASB tratando esgotos sanitários da cidade de Belo Horizonte, Souza (2006) reportou características físico-químicas para o resíduo de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1** - Características físico-químicas de espuma acumulada em decantadores de reatores UASB, tratando esgotos sanitários da cidade de Belo Horizonte

Parâmetro	Unidade	Faixa de valores*
DQO	g/L	77 a 156
DBO	g/L	36 a 42
ST	g/L	78 a 95
Coeficientes de acumulação de espuma	L/kgDQO <sub>aplicada</sub>	0,01 a 0,04
	L/kgSST <sub>aplicado</sub>	0,02 a 0,08
	gST/kgDQO <sub>aplicada</sub>	1,0 a 2,4
	gST/kgSST <sub>aplicado</sub>	1,5 a 5,4

(\*) os valores reportados foram obtidos em reatores UASB operando com velocidades ascensionais entre 0,5 e 0,7 m/h.

Para reatores operando com velocidades mais elevadas (1,1 m/h), foram obtidas concentrações e coeficientes de produção de espuma bem mais elevados, conforme consta de Souza (2006).

Fonte: adaptado de Souza (2006)

## METODOLOGIA

As contribuições desse trabalho no tocante ao gerenciamento da espuma acumulada em reatores UASB foram consolidadas com base em ampla revisão da literatura especializada e na experiência obtida a partir de vários reatores em operação no Brasil, particularmente os reatores em operação na ETE Laboreaux – Itabira/MG.

Com base nos levantamentos efetuados, as principais limitações e possíveis melhorias no projeto, na operação e na construção de reatores UASB para o tratamento de esgotos domésticos, com relação ao gerenciamento da espuma, podem ser resumidas de acordo com a Tabela 2.



**Tabela 2:** Limitações potenciais e possíveis melhorias no projeto, na operação e na construção de reatores UASB tratando esgotos domésticos com relação ao gerenciamento da espuma.

Tipo de espuma	Constituintes de interesse	Limitações potenciais	Possíveis melhorias
Escuma acumulada na superfície do decantador	<ul style="list-style-type: none"><li>• Orgânicos</li><li>• Detritos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Entupimento de tubulações</li><li>• Gerenciamento trabalhoso</li><li>• Disposição final</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Melhoria do pré-tratamento.</li><li>• Retirada retentor de espuma.</li><li>• Manutenção do retentor de espuma.</li></ul>
Escuma acumulada no interior do separador trifásico	<ul style="list-style-type: none"><li>• Orgânicos</li><li>• Detritos</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Entupimento de tubulações</li><li>• Gerenciamento trabalhoso</li><li>• Disposição final</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Melhoria do pré-tratamento.</li><li>• Remoção, tratamento, disposição.</li><li>• Aumentar degradação no reator<sup>(1)</sup></li><li>• Utilização de separador trifásico equipado com dispositivo pressurizado de remoção de espuma.</li><li>• Desenvolvimento de protocolo para detectar vazamentos de gás em separadores trifásicos.</li></ul>

(1) Possíveis alternativas para se aumentar a degradação da espuma no interior do reator ainda estão sendo investigadas (Pereira, et al., 2009).

## PROPOSIÇÃO DE MELHORIAS

### *Melhorias relacionadas à etapa de pré-tratamento*

Trabalhos de caracterização de espuma desenvolvidos por Souza (2006) identificaram a presença de diversos tipos de materiais sólidos, que supostamente deveriam ter sido removidos durante o pré-tratamento. Tal iniciativa não tem ocorrido em função de que a maioria das estações de tratamento de esgotos implantadas no Brasil ainda utiliza grades médias, com espaçamento entre barras usualmente da ordem ou superior a 20 mm. É sabido que espaçamentos dessa magnitude não são eficazes na retenção de boa parte dos sólidos contidos no esgoto, a exemplo de trapos, plásticos, cotonetes, guimbas de cigarro, insetos etc. Ao entrar no reator, esses materiais são responsáveis por boa parte dos entupimentos verificados nas tubulações de distribuição do esgoto e, uma vez dentro do reator, passam a incorporar a massa de lodo ou de espuma, ou são eventualmente liberados com o efluente.

Nesse sentido, a principal melhoria relacionada ao pré-tratamento dos esgotos tem sido a utilização de grades finas (aberturas entre 10 e 15 mm) ou peneiras (aberturas da ordem de 5 mm), instaladas a jusante das unidades de desarenação. Medições efetuadas na ETE Onça, em Belo Horizonte, demonstram a eficácia das peneiras na retenção de sólidos com dimensões entre 5 e 15 mm, que evitam o aporte de tais materiais em uma proporção aproximada de 3,0 kg de sólidos por 1.000 m<sup>3</sup> de esgoto afluente à estação.

### *Melhorias relacionadas a espuma acumulada na superfície do decantador*

A espuma que se forma na superfície dos decantadores de reatores UASB tende a ser relativamente pequena, no caso do tratamento de esgotos mais diluídos. Em trabalho de caracterização de espuma acumulada em decantadores de reatores UASB tratando esgotos sanitários da cidade de Belo Horizonte (Souza, 2006) reportou coeficientes de acumulação variando entre 0,01 a 0,04 L/kgDQO<sub>aplicada</sub> e de 0,02 a 0,08 L/kgSST<sub>aplicados</sub>, conforme mostrado na Tabela 1.

Com base nesses coeficientes, tem-se que a espuma acumulada em decantadores de reatores UASB é um resíduo muito concentrado, mas que apresenta coeficientes de acumulação muito baixos, considerando reatores que tratam esgotos tipicamente domésticos (DQO < 600 mg/L, DBO < 300 mg/L, SST < 300 mg/L e OG < 50 mg/L). Dessa forma, apreende-se que é possível projetar os decantadores de reatores UASB sem retentores de espuma, de forma a possibilitar que o material flotante seja descarregado juntamente com o efluente. O impacto da adoção de tal estratégia na deterioração da qualidade do efluente é muito reduzido, usualmente representando um incremento de DQO, DBO e SST da ordem de 1% (Souza et al., 2006; Chernicharo, 2007). Ademais, nos casos em que o efluente dos reatores anaeróbios é encaminhado a unidades de pós-tratamento, haverá a garantia de atenuação de eventuais problemas advindos da perda de sólidos nos reatores anaeróbios.





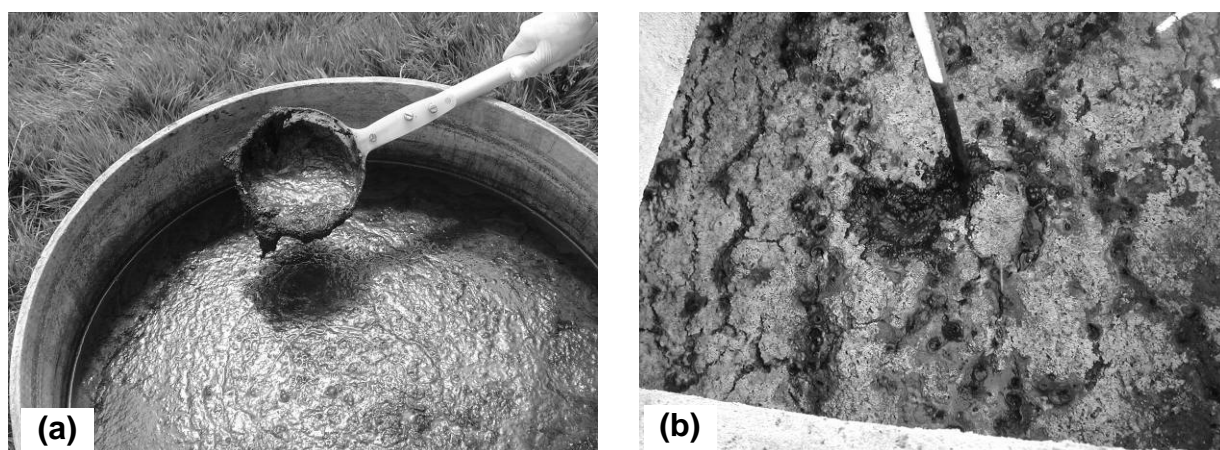
Apenas nos casos de esgotos mais concentrados e em sistemas de pós-tratamentos envolvendo mecanismos de filtração, como é o caso de biofiltros aerados submersos (que utilizam material de enchimento com diâmetro na faixa de 2 a 6 mm e não utilizam decantador secundário) é recomendável o uso de retentores de espuma nos decantadores dos reatores UASB. Nesses casos, o projeto deverá prever algum mecanismo que possibilite a remoção da espuma que se acumulará na superfície do compartimento de decantação. Uma possibilidade é a utilização de canaleta lateral (ou periférica, no caso de reatores circulares), que possibilita a remoção e o esgotamento da espuma por meio da elevação do NA operacional do reator, conforme apresentado em Chernicharo (2007).

### **Melhorias relacionadas a espuma acumulada no interior dos separadores trifásicos**

No caso particular de reatores tratando esgotos diluídos, como é o caso de esgotos domésticos típicos, a quantidade de espuma formada no interior dos separadores trifásicos tende a ser relativamente pequena, facultando sua remoção em intervalos de tempo próximos de 15 a 30 dias. Esta espuma normalmente apresenta características fluidas, possibilitando a sua remoção hidrostática (Figura 3-a).

Todavia, em determinados reatores, especialmente com remoção de pouco freqüente desse material, pode ocorrer a formação de espuma mais concentrada e mais solidificada (Figura 3-b), com elevado teor de sólidos, de difícil remoção por mecanismo hidrostático. Nesses casos, a remoção pode ser feita através das escotilhas de fechamento hermético do separador trifásico, que podem ser acessadas a partir da laje superior do reator. O procedimento de retirada da espuma poderá ser manual, com o auxílio de “escumadeira”, ou por meio de um mangote de sucção, acoplado a caminhão limpa-fossa. A opção de remoção manual só será possível caso as quantidades acumuladas sejam relativamente pequenas e passíveis de serem assimiladas dentro da rotina e do quadro operacional da ETE.

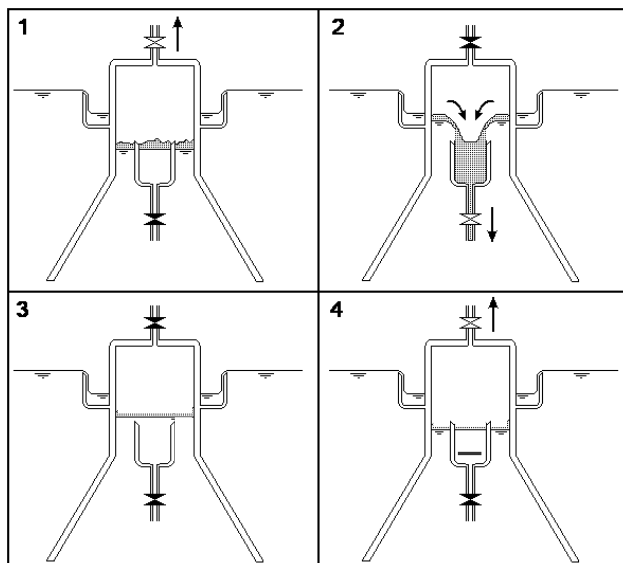
Dependendo da consistência e do grau de estabilização da espuma, está poderá ser transportada/bombeada para o leito de secagem ou para o poço de lodo que alimenta o equipamento de desidratação (espuma mais fluida), para o seu processamento juntamente com o lodo. Testes preliminares realizados na ETE Laboreaux (Itabira/MG) demonstraram a possibilidade de desaguamento conjunto da espuma e do lodo anaeróbico excedente por meio de filtro-prensa. Contudo, caso a espuma se apresente mais solidificada, esta poderá ser disposta diretamente em aterro sanitário.



**Figura 3:** Espuma acumulada no interior de separadores trifásicos de reatores UASB: (a) espuma mais diluída, (b) espuma mais concentrada.

A remoção hidrostática de espuma de característica mais fluida pode ser conseguida por meio da redução ou do incremento da pressão de biogás no interior do separador trifásico, de modo a possibilitar que a espuma escoe através de vertedores e canaletas instaladas no interior da câmara de gás, conforme mostrado nas Figuras 4 e 5.

Todavia, a adequada remoção de espuma só será alcançada quando a câmara de biogás for hermeticamente fechada, garantindo elevado nível de estanqueidade e, portanto, a manutenção da pressão de gás no interior da câmara no nível desejado. Isso possibilitará a manipulação do nível da interface espuma/biogás, em relação aos vertedores internos, durante o procedimento de remoção da espuma, conforme seqüências operacionais mostradas nas Figuras 4 e 5.

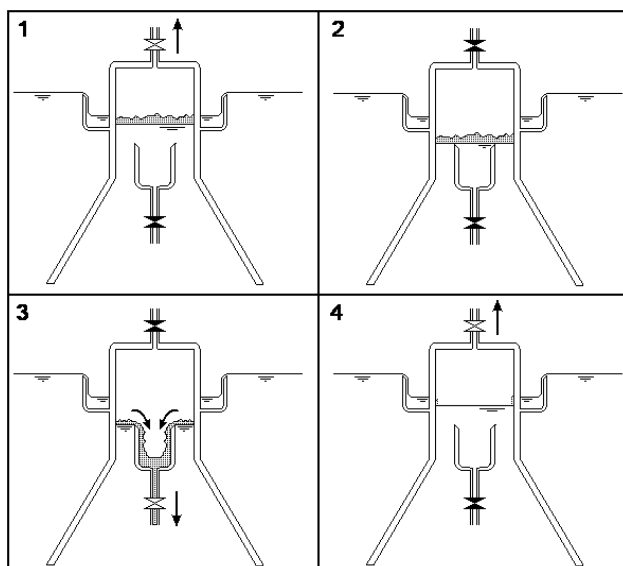


#### Seqüência de procedimentos

1. Níveis de NA e de espuma durante a operação normal do reator (linha de gás pressurizada, de modo a manter o nível de espuma cerca de 5 cm abaixo da borda superior da canaleta interna).
2. Elevação do nível de espuma, conseguido com o alívio da pressão da linha de gás, de forma a possibilitar a entrada de espuma na canaleta interna.
3. Fechamento do registro de esgotamento da canaleta interna.
4. Aumento da pressão da linha de gás, retornando à condição operacional mostrada em "1".

**Figura 4:** Representação esquemática de dispositivo para remoção hidrostática de espuma, pela redução da pressão de biogás.

Fonte: Chernicharo (2007).

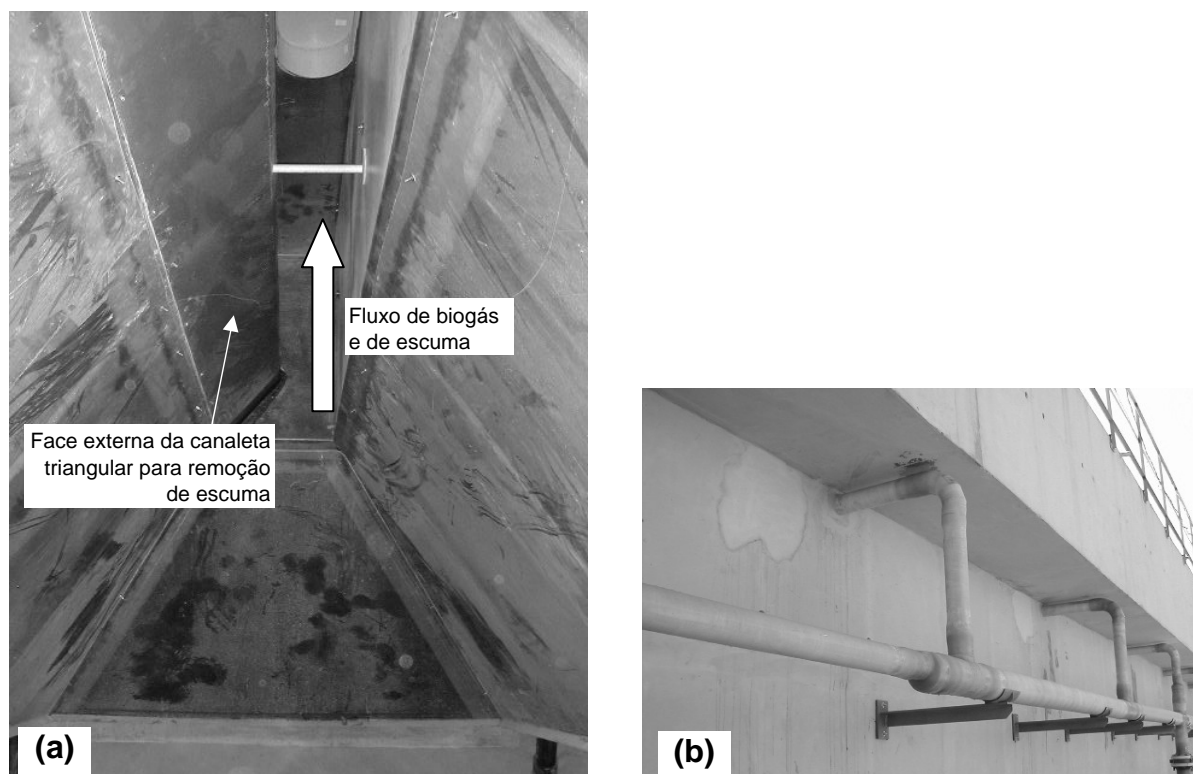


- 1 Níveis de NA e de espuma durante a operação normal do reator (linha de gás pressurizada, de modo a manter o nível de espuma cerca de 10 a 15 cm abaixo do NA no decantador, mas acima da borda superior da canaleta interna).
- 2 Abaixamento do nível de espuma, conseguido com o aumento da pressão na linha de gás, de forma a possibilitar a entrada de espuma na canaleta interna.
- 3 Abertura do registro de esgotamento da canaleta interna, possibilitando a saída da espuma.
- 4 Alívio da pressão da linha de gás, retornando à condição operacional mostrada em "1".

**Figura 5** – Representação esquemática de dispositivo para remoção hidrostática de espuma, pelo aumento da pressão de biogás.

Fonte: Chernicharo (2007).

A Figura 6-a mostra um exemplo de canaleta afixada na parte superior e longitudinal dos separadores trifásicos, de forma a possibilitar o escoamento da espuma para o exterior do reator (Figura 6-b).



**Figura 6** – (a) canaleta para remoção de espuma acumulada no interior de separador trifásico; (b) conjunto de tubulações que se interligam às canaletas de remoção de espuma localizadas no interior dos separadores trifásicos

Testes de longa duração (em reatores de pequena escala) e de caráter preliminar (na ETE Laboreaux – Itabira/MG) demonstraram a potencialidade do dispositivo de remoção pressurizada de espuma. Em ambos os casos, a espuma tem se mostrado fluida e com baixa viscosidade, escoando adequadamente pelos vertedores e canaletas internas dos separadores trifásicos. Outros aspectos importantes para se garantir a operação exitosa desse dispositivo são: i) existência de peneiras ou grades finas que garantam a efetividade do tratamento preliminar, uma vez que a entrada de materiais sólidos de maiores dimensões no interior do reator poderá alterar significativamente as características da espuma e dificultar sobremaneira a sua remoção; ii) existência de câmaras de biogás altamente estanques, de modo a permitir o adequado controle do nível desejado da interface espuma/biogás no interior do separador trifásico; iii) existência de válvulas ou selos hídricos na linha de gás, de modo a possibilitar o correto ajuste da pressão de gás no interior do separador trifásico; e iv) remoção de espuma em intervalos de tempo regulares, de modo a evitar o incremento da espessura e da viscosidade da camada de espuma.

#### Testes para identificar vazamentos de gases

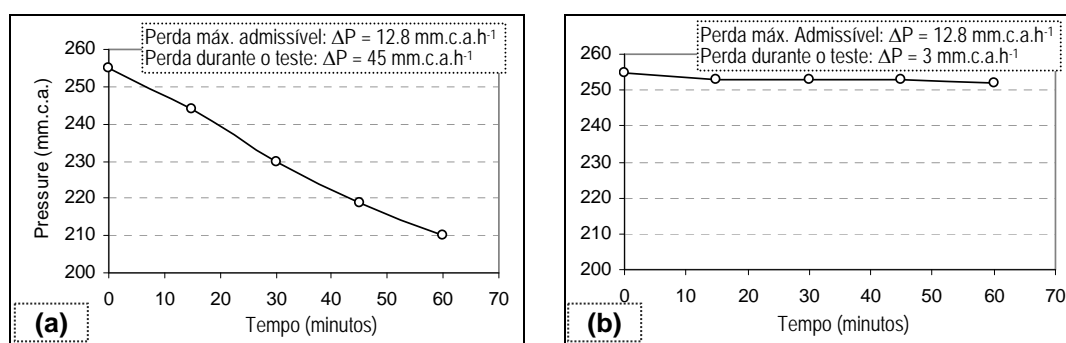
Dada a importância de se ter câmaras de biogás totalmente herméticas para possibilitar a utilização do dispositivo pressurizado de remoção de espuma, desenvolveu-se o seguinte protocolo para testar vazamentos de gases em separadores trifásicos, conforme experiência recente na ETE Laboreaux, em Itabira/MG: i) enchimento dos reatores com água; ii) pressurização dos separadores trifásicos; iii) monitoramento da queda de pressão no interior dos separadores trifásicos; e iv) verificação se as perdas de pressão estão de acordo com os critérios apresentados na Tabela 3.

Dois testes foram desenvolvidos para cada reator, o primeiro após a conclusão da obra e o segundo após a introdução de reparos. A duração de ambos os testes foi limitada em 1 hora, objetivando minimizar a influência da temperatura sobre a pressão no interior das câmaras de biogás. Na Figura 7 são apresentados os resultados dos dois testes, para um dos reatores que integram a ETE Laboreaux.

**Tabela 3:** Critérios para testes de vazamento de gases.

Variáveis do teste	Pressão
Pressão operacional máxima no interior da câmara de biogás	PO
Pressão de teste (PT)	1,5 x PO
Perda admissível de pressão em 60 minutos	5.0 % de PT

Como pode-se observar a partir dos resultados apresentados na Figura 7-a, o primeiro teste indicou grandes perdas de pressão durante todo o teste, ultrapassando a perda máxima admissível de 12.8 mm.c.a.h<sup>-1</sup> (5% da pressão de teste, de acordo com a Tabela 3). Durante o teste 1, foram observados vazamentos de gás nos seguintes pontos: i) em fendas e rachaduras na câmara de biogás; ii) na linha de biogás; iii) nas válvulas de alívio de pressão e vácuo. Após o reparo dos vazamentos identificados, um segundo teste foi desenvolvido, conforme resultados apresentados na Figura 7-b. Nestes, a perda de pressão foi muito inferior à máxima admissível, totalizando apenas 3 mm.c.a.h<sup>-1</sup>, tendo-se também observado uma tendência de estabilização da queda de pressão.


**Figura 7:** Perda de pressão no interior do separador trifásico e na linha de gás: (a) Teste 1 (após a conclusão da obra); e (b) Teste 2 (após a introdução de reparos)

Dessa forma, o uso de separadores trifásicos dotados de dispositivos pressurizados de remoção de espuma facilita sobremaneira a extração do respectivo material que se acumula no interior das câmaras de gás que compõe o separador trifásico. Todavia, a utilização de tal dispositivo só é possível em reatores que disponham de separadores trifásicos sem vazamentos de gás.

Vazamentos de biogás podem se constituir em um problema real em reatores em escala plena, de tal sorte que o desenvolvimento de testes para identificação e correção de vazamentos deve ser exigido pelos contratantes, antes do recebimento final da obra e de início da operação dos reatores. Os separadores trifásicos devem ser cuidadosamente projetados, de modo a evitar a ocorrência de vazamentos de gases. Atenção especial deve ser dispensada quando da combinação de diferentes tipos de materiais, a exemplo de estruturas de concreto para o separador e tubulações de aço para a linha de gases.

## CONCLUSÕES

- A falta de gerenciamento adequado da espuma constitui, atualmente, um dos principais problemas operacionais dos reatores UASB tratando esgotos domésticos. Nesse sentido, recomenda-se a previsão de frequências de descartes fortemente bem estabelecidas, principalmente se a adoção da remoção hidrostática da espuma for a principal alternativa adotada para retirada da matriz residual acumulada no interior de separadores trifásicos;
- O dispositivo pressurizado para a remoção de espuma do interior de separadores trifásicos mostrou-se uma alternativa bastante efetiva, visto os bons resultados obtidos tanto em reatores de pequena quanto de grande escala. Todavia, para a operação exitosa deste dispositivo, os separadores trifásicos e toda a linha de biogás devem ser herméticos, de modo a assegurar que perdas de pressão estejam abaixo dos valores máximos admissíveis;
- Vazamentos de biogás podem se constituir em um problema real em reatores em escala plena, de tal sorte que o desenvolvimento de testes para identificação e correção de vazamentos devem ser exigidos pelos contratantes, antes do recebimento final da obra e de início da operação dos reatores;





- Os separadores trifásicos devem ser cuidadosamente projetados, de modo a evitar a ocorrência de vazamentos de gases. Atenção especial deve ser dispensada quando da combinação de diferentes tipos de materiais, a exemplo de estruturas de concreto para o separador e tubulações de aço para a linha de gases.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHERNICHARO, C.A.L. and STUETZ, R.M., (2008). 'Improving the design and operation of UASB reactors for treating domestic wastewater: management of gaseous emissions'. *IX Latin American Workshop and Seminar on Anaerobic Digestion*. Eastern Island - Chile: IWA.
2. HWU, C.S., TSENG, S.K., YUAN, C.Y., KULIK, Z., LETTINGA G. (1998). Biosorption of long-chain fatty acids in UASB treatment process. *Water Research*, 32, 5, 1571–1579.
3. LAUBSCHER, A.C.J., WENTZEL, M.C., LE ROUX, J.M.W., EKAMA, G.A. (2001). Treatment of grain distillation wastewaters in an upflow anaerobic sludge bed (UASB) system. *Water SA*, 27, n. 4, 433–444.
4. LETTINGA, G., HULSHOFF POL, L.W. (1991) UASB - Process design for various types of wastewaters. *Water Science Technology*, 24, (8), 87-107
5. MAHMOUD, , N.; ZEEMAN, G.; GIJZEN, H.; LETTINGA, G. (2003) Solids removal in upflow anaerobic reactor, a review. *Bioresource Technology*. 90, 1–9.
6. PAGLIUSO, J.D., PASSING, F.H., VILLELA, L.C.H. (2002). Odour treatment and energy recovery in anaerobic sewage treatment plants. In: *VII oficina e simposio latino-americano de digestão anaeróbia*, Mérida, Yucatán - México. IWA/FEMISCA, 553–560.
7. PEREIRA, J.O., CELANI, J.S.S. and 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), 1431-1439.
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'. *Water Science and Technology*, 54, 201-208.