150 - DESENVOLVIMENTO DE SEPARADORES TRIFÁSICOS MODULARES PARA REATORES UASB TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO

Thiago Bressani Ribeiro [(1)]
Técnico em Agropecuária pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Engenheiro Ambiental pela Universidade Fumec e Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutorando em Engenharia Sanitária por Ghent University e UFMG (cotutela). Atua principalmente na linha de pesquisa em digestão anaeróbia e técnicas de pós-tratamento de efluentes de reatores UASB.
Ayana Lemos Emrich [(2)]
Engenheira Ambiental e mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.
Juliana Mattos Bohrer Santos [(3)]
Engenheira Ambiental e doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.
Kasandra Isabella Helouise Mingoti Poague [(4)]
Engenheira Ambiental e mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG.
Carlos Augusto de Lemos Chernicharo [(5)]
Professor titular da UFMG e pesquisador nível 1A do CNPq.

Endereço [(1)]**:** Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha, Belo Horizonte – MG – CEP – 31270-901 – Escola de Engenharia – 4ºandar – Sl 4400 – Brasil - Tel: +55 (31) 3409-1946 - e-mail: thiago.bressani@hotmail.com

RESUMO

O desempenho de reatores UASB tratando esgoto sanitário está intimamente relacionado ao adequado dimensionamento da estrutura de separação trifásica. Os separadores trifásicos (STF) têm a função de separar as fases gasosa, sólida e líquida, de forma a garantir condições para: *i)* a sedimentação das partículas que se desprendem da manta de lodo; *ii)* a coleta dos gases formados durante a digestão anaeróbia da matéria orgânica; e *iii)* a coleta do efluente líquido tratado. No entanto, devido a ausência ou ineficiência de dispositivos de remoção de escuma no interior dos STF, pode ocorrer o espessamento e solidificação desse material. Nesse contexto, a camada de escuma pode bloquear a passagem de biogás, resultando na perda de potencial energético e, eventualmente, ocasionando a ruptura do STF e colapso do sistema. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um STF que contribui para a solução de vários problemas operacionais de reatores UASB no Brasil, notadamente: *i)* o adequado gerenciamento da formação e remoção de escuma; *ii)* a coleta eficiente do biogás; *iii)* a adequada coleta do efluente líquido tratado, evitando o desprendimento de gases residuais e a ocorrência de curtos-circuitos hidráulicos.

PALAVRAS-CHAVE: reator anaeróbio, coleta de biogás, remoção de escuma

INTRODUÇÃO

A tecnologia anaeróbia tem se consolidado como uma importante alternativa de tratamento de esgoto sanitário, sobretudo em países em desenvolvimento (CHERNICHARO *et al.*, 2015). Nesse sentido, destacam-se os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo - UASB, por sua simplicidade operacional associada ao bom desempenho para a remoção de matéria orgânica, baixa produção de lodo e possibilidade de aproveitamento energético do biogás formado durante o processo de tratamento.

Em projetos de reatores UASB, o adequado dimensionamento da estrutura de separação trifásica assume fundamental importância para o desempenho da estação de tratamento de esgoto (ETE). Este dispositivo é responsável pela separação de gases, sólidos e líquido, garantindo condições para: *i)* a sedimentação das partículas que se desprendem da manta de lodo, de forma que as mesmas retornem à câmara de digestão; *ii)* a coleta dos gases produzidos durante a digestão anaeróbia da matéria orgânica; e *iii)* a coleta do efluente líquido tratado.

As dimensões do separador trifásico (STF) devem permitir que o lodo que atinge o compartimento de decantação de reatores UASB possa retornar adequadamente para o compartimento de digestão. Tais

dimensões devem ainda garantir a formação de uma interface líquido-gás suficiente para permitir a adequada liberação do gás para o compartimento interno (câmara de gases). Esta taxa de liberação de biogás deve ser elevada o suficiente para desagregar e vencer a camada de escuma que tende a se acumular na interface líquido-gás localizada no interior do STF, todavia não deve promover o arraste e a consequente acumulação de partículas de lodo na tubulação de coleta de biogás.

Especificamente quanto à escuma, esta se trata de um material flotante composto por óleos, graxas e resíduos não removidos na etapa de tratamento preliminar (p. ex.: cabelo e fragmentos plásticos). Logo, a remoção periódica da escuma requer o projeto de dispositivos que promovam a sua saída de forma eficiente, articulado com a presença de pontos de inspeção (herméticos) para acompanhamento visual ou desobstruções esporádicas. O acúmulo de escuma no interior do STF de reatores UASB pode bloquear a passagem de biogás e resultar em diversos problemas operacionais, notadamente: *i)* a perda excessiva de sólidos com o efluente líquido, em decorrência do escape de biogás para o compartimento de decantação; *ii)* a emissão para a atmosfera de gases odorantes (sulfeto de hidrogênio) e de efeito estufa (metano); *iii)* a perda de potencial energético e, eventualmente, *iv)* a ruptura do STF e colapso do sistema.

Diante do exposto, o desenvolvimento de um STF modular que incorpore, simultaneamente, unidades de controle de pressões exercidas pela fase gasosa e de remoção hidrostática de escuma contribui para a solução de importantes problemas operacionais verificados em reatores UASB no Brasil, quais sejam: *i)* o adequado gerenciamento da formação e remoção de escuma; *ii)* a coleta eficiente do biogás; *iii)* a adequada coleta do efluente líquido tratado, evitando o desprendimento de gases residuais e a ocorrência de curtos-circuitos hidráulicos (p. ex.: via desnivelamento de calhas). Adicionalmente, o projeto de novos reatores UASB poderia ser desenvolvido a partir das dimensões padronizadas do STF modular (BRESSANI-RIBEIRO *et al.*, 2019). Atualmente, a ausência de padronização dimensional da estrutura de separação trifásica implica em dificuldades de espeficação para a aquisição de uma peça pré-fabricada ou para a execução in loco, culminando nos problemas operacionais anteriormente relatados. O STF modular desenvolvido, ora apresentado neste trabalho, denomina-se *Separador Trifásico Étsus 1000* (posteriormente caracterizado apenas como *Separador Étsus-1000*).

OBJETIVO GERAL

O presente trabalho objetiva apresentar o desenvolvimento de um protótipo modular e inovador de Separador Trifásico para reatores UASB (*Separador Étsus-1000*), confeccionado em fibra de vidro.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos associados ao desenvolvimento do *Separador Étsus 1000* são:

- Atender, simultaneamente, a todos os critérios e parâmetros inerentes ao projeto de STFs de reatores UASB.
- Garantir maior segurança para os projetistas de reatores UASB, que passariam a especificar os STFs como itens de catálogo.
- Disponibilizar, para projetistas e construtores, uma estrutura modular de separação trifásica que incorpore aspectos de leveza, resistência, estanqueidade e facilidade de transporte e instalação.
- Simplificar as atividades de remoção de escuma do interior de STFs em reatores UASB.
- Reduzir os custos de implantação de STFs em reatores UASB.
- Facilitar o nivelamento das canaletas de coleta de efluente de reatores UASB, com benefícios diretos de redução da acumulação de escuma na superfície do compartimento de decantação e de melhoria da qualidade do efluente.
- Eliminar as emissões fugitivas de gases odorantes e de metano na estrutura do STF, com benefícios diretos de redução de problemas de corrosão, de odores e de perda de potencial energético.

METODOLOGIA

O *Separador Étsus 1000* foi desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da UFMG, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em ETEs Sustentáveis (INCT ETEs

Sustentáveis), em cooperação com empresas especializadas em fibra de vidro, Biofibra e Fibrasa, e com as seguintes companhias estaduais de saneamento: Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP).

A concepção, prototipagem e validação do *Separador Étsus 1000* foi realizada ao longo de seis etapas: *1)* elaboração de projetos conceituais do STF para reatores UASB; *2)* elaboração de desenhos técnicos; *3)* validação conceitual; *4)* projeto de fabricação e especificações técnicas de instalação; *5)* validação das etapas de projeto de fabricação e instalação; e *6)* desenvolvimento de projeto do *Separador Étsus 1000* para uma ETE com equivalente populacional de 1000 habitantes.

1. Elaboração de projeto conceitual do *Separador Étsus 1000* para reatores UASB

A equipe do DESA/UFMG, através do INCT ETEs Sustentáveis, desenvolveu o projeto conceitual do *Separador Étsus 1000*, contemplando todas as funcionalidades previstas: *i)* canaleta interna para remoção de escuma; *ii)* canaletas de coleta de efluente tratado; *iii)* escotilhas de visualização e acesso à câmara de gás; *iv)* selo hídrico acoplado à linha de biogás; *v)* aferição de nível acoplado às canaletas de coleta de efluente.

2. Elaboração de desenhos técnicos (3D)

A partir do projeto conceitual elaborado pela equipe da UFMG, as empresas especializadas em fibra de vidro (Biofibra e Fibrasa) elaboraram os desenhos técnicos em 3D do *Separador Étsus-1000*, contemplando todos os detalhes necessários ao perfeito entendimento e visualização dos produtos.

3. Validação conceitual

Após a etapa anteriormente caracterizada, realizou-se uma análise crítica das peças gráficas pela equipe da UFMG em conjunto com as companhias estaduais de saneamento (COPASA, SANEPAR e SABESP), a fim de atestar o atendimento de todos os requisitos presentes no projeto conceitual.

4. Projeto de fabricação e especificações técnicas de instalação

As empresas especializadas em fibra de vidro elaborarão o projeto de fabricação e as especificações técnicas para a instalação do *Separador Étsus-1000*. Neste memorial deverão constar: *i)* as principais características do produto (espessura de chapas, peso específico, resistência a choques mecânicos etc.); *ii)* a forma de transporte e armazenamento (empilhamento máximo, proteções etc.); e *iii)* os procedimentos necessários para a montagem em campo (posicionamento, fixação, encaixes, resinas para solda, nivelamento etc.). O projeto de fabricação e as especificações técnicas para a instalação do *Separador Étsus 1000* levarão em conta tanto a possibilidade de instalação em reatores existentes, bem como a possibilidade de implantação em novos reatores, em que a inserção do módulo pode ser facilitada.

5. Validação das etapas de projeto de fabricação e instalação

As equipes da UFMG, COPASA, SANEPAR e SABESP providenciarão uma análise crítica do projeto de fabricação e das especificações técnicas de instalação do *Separador Étsus-1000*, a serem elaborados pelas empresas especializadas em fibra de vidro.

6. Desenvolvimento de projeto do *Separador Étsus 1000* para uma ETE com equivalente populacional de 1000 habitantes

A partir da consolidação das etapas anteriores, será desenvolvido um projeto de reator UASB em nível executivo, contemplando a implantação do *Separador Étsus-1000*. Por sua vez, este reator anaeróbio será implantado e testado na "ETE Sustentável", que se trata de uma estação de tratamento de esgoto em escala de demonstração atualmente em fase de projeto pelo INCT ETEs Sustentáveis.

7. Validação operacional

A validação operacional do *Separador Étsus 1000* contempla duas etapas, a saber: *i)* execução de testes preliminares em um primeiro protótipo implantado no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento UFMG/COPASA (CePTS), em Belo Horizonte – MG. Esta primeira etapa contempla o desenvolvimento das atividades previstas entre os tópicos 1 e 3 anteriormente caracterizados, de forma a verificar eventuais possibilidades de melhorias preliminarmente à consecução das etapas 4 a 6; e *ii)* monitoramento operacional do *Separador Étsus 1000* a ser implantado na "ETE Sustentável" (vide item 6).

A operação do primeiro protótipo do *Separador Étsus 1000* ocorreu em um reator UASB em escala de demonstração (volume útil:16,8 m³) implantado no CePTS. Especificamente em relação ao gerenciamento da formação e remoção de escuma, foram testadas diferentes condições operacionais associadas ao mecanismo de remoção hidrostática, a saber:
i) frequência de descarte;
ii) grau de abertura da válvula da tubulação de descarte;
iii) tempo de descarte; e
iv) nível da interface escuma/biogás em relação à borda da canaleta de descarte de escuma.

Complementarmente, avaliou-se a possibilidade de adensamento da escuma removida e retorno da fração clarificada ao reator UASB. Para tanto, avaliou-se os teores de Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Voláteis (STV), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Óleos e Graxas (O&G) da fração clarificada. Adicionalmente foi avaliada a biodegradabilidade anaeróbia da fração sobrenadante.

A qualidade do efluente tratado foi monitorada durante 160 dias, contemplando amostras efetuadas duas vezes por semana, de acordo com os seguintes parâmetros: DQO, Sólidos em Suspensão Total (SST) e Sólidos Sedimentáveis (SSed). As análises laboratoriais foram realizadas segundo APHA, 2012.

Os resultados e discussão a seguir apresentados contemplam o desenvolvimento das etapas 1, 2, 3, bem como a implantação e operação do primeiro protótipo do Separador Étsus 1000 (vide etapa 7).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O *Separador Étsus 1000* foi confeccionado em fibra de vidro a partir das seguites dimensões padronizadas:

- Altura adotada para a aba inclinada do *Separador Étsus 1000* (STF_H):
  STF_H = 1,3 m
- Altura adotada para a aba vertical do *Separador Étsus 1000* (STF_H):
  STF_V = 0,4 m
- Ângulo adotado para a aba inclinada do *Separador Étsus 1000* (STF_S):
  STF_S = 53,8°
- Largura da aba inclinada do *Separador Étsus 1000* (STF_W):
  $STF_W = STF_H$ /tan (STF_S) = 1,3 m/tan (53,8°) = 0,95 m
- Largura adotada da canaleta de remoção de escuma no interior do *Separador Étsus 1000* ($L_{canaleta}$):
  $L_{canaleta}$ = 0,15 m
- Largura livre adotada entre a canaleta de remoção de escuma e a aba vertical do *Separador Étsus 1000* (L_{livre}):
  L_{livre} = 0,25 m
- Largura da câmara de gás do *Separador Étsus 1000* ($L_{gás}$):
  $L_{gás} = L_{canaleta} + L_{livre}$ = 0,15 m + 0,25 m = 0,40 m
- Largura adotada para a abertura entre dois *Separadores Étsus 1000* contíguos ($STF_{abertura}$):
  $STF_{abertura}$ = 0,70 m

Dessa forma, a distância padronizada entre o eixo central de dois módulos contíguos de *Separadores Étsus 1000* seria equivalente a 3,0 m. Na Figura 1 é demonstrada uma representação esquemática do equipamento.

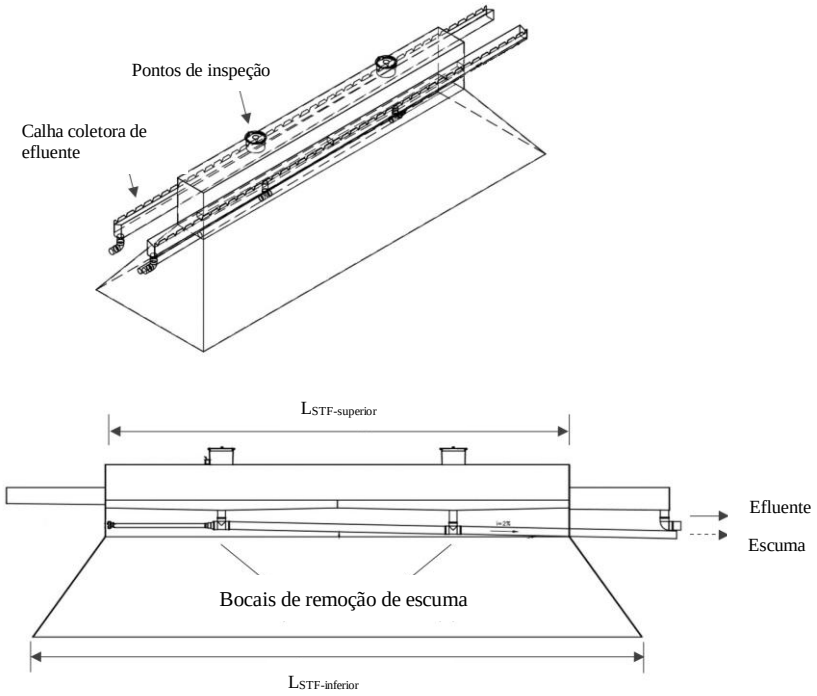


Figura 1: Representação esquematica do *Separador Étsus 1000*

A partir da definição das dimensões padronizadas do *Separador Étsus 1000*, diferentes modelos são propostos em função de seu comprimento ($L_{STF\text{-}superior}$ e $L_{STF\text{-}superior}$ identificados na Figura 1). Portanto, o reator UASB seria projetado considerando diferentes modelos do *Separador Étsus 1000*. Na Tabela 1 apresenta-se a proposta de modulação elaborada. Na prática, os três modelos propostos têm a capacidade de serem aplicados a reatores UASB projetados para qualquer equivalente populacional (ETEs de pequeno, médio e grande porte).

Tabela 1 – Modulação proposta para o *Separador Étsus 1000*

Modelo de *Separador Étsus 1000*	Número de bocais de remoção de escuma[a]	Comprimento do STF (parte superior)[b] $L_{STF\text{-}superior}$ (m)	Comprimento do STF (parte inferior)[b] $L_{STF\text{-}inferior}$ (m)
1	1	3	4.9
2	2	3 – 6	4,9 – 7,9
3	3	6 – 9	7,9 – 10,9

[a]O comprimento da canaleta de remoção de escuma deve ser o mesmo do $L_{STF\text{-}superior}$, todavia com divisões convergentes para os bocais de remoção de escuma (vide Figura 1).
[b] Os valores entre os limites da faixa podem ser incrementados a cada 0,5 m até o limite superior da faixa.

O dispositivo para remoção hidrostática de escuma incorporado ao *Separador Étsus 1000* demonstrou eficiências de remoção entre 75% e 90%. As melhores condições operacionais foram obtidas para a rotina de descarte com frequência de 5 dias e nível da interface escuma/biogás entre 2 e 5 cm abaixo da borda da canaleta de coleta do efluente tratado. Ressalta-se que tal frequência de descarte impede que a camada de escuma acumulada no interior do STF se adense e solidifique, impedindo a sua remoção no estado fluido.

Especificamente em relação à avaliação da etapa de adensamento da escuma removida, notou-se que a fração clarificada apresentou concentrações medianas de ST, STV, DQO, DBO e O&G nas faixas usuais associadas ao esgoto bruto, o que viabiliza o seu retorno para o reator UASB. A fração sobrenadante de escuma apresentou baixas taxas de produção de metano (aproximadamente 150 mL $CH_4.gSTV^{-1}$) (DÍAZ FLÓREZ, 2016). Devido ao reduzido volume da fração sobrenadante, aproximadamente 5% do volume de escuma

removido do reator UASB, esta poderia ter a mesma destinação final a ser dada ao lodo de excesso removido dos reatores anaeróbios.

Em relação ao monitoramento do efluente tratado, foram observadas eficiências medianas de remoção de DQO e SST de aproximadamente 76 e 84%, respectivamente, correspondentes a concentrações medianas efluentes de 139 e 56 mg/L de DQO e SST, respectivamente. A concentração de Ssed esteve sistematicamente abaixo de 1,0 ml/L ao longo do período operacional. Durante os testes do primeiro protótipo do *Separador Étsus 1000*, o reator UASB foi operado com uma massa de lodo 20% superior à massa mínima recomendada para a digestão da carga orgânica afluente. Estes resultados atestam a qualidade do primeiro protótipo do *Separador Étsus 1000*.

CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento do *Separador Étsus 1000* traz diversas vantagens para o setor de saneamento nacional, especificamente associadas ao projeto, construção e operação de reatores UASB, nomeadamente:

- Disponibilização, para projetistas e construtores, de estrutura modular de separação trifásica que incorpora aspectos de leveza, resistência, estanqueidade e facilidade de transporte e instalação.
- Garantia de uma eficiente retenção de sólidos gerados no processo de tratamento de esgoto, com impactos diretos sobre o aumento da idade do lodo e melhoria de desempenho e da qualidade do efluente final.
- Simplificação e redução de custos de toda a linha de coleta de gases, contribuindo diretamente com a melhoria dos aspectos de segurança, de pressurização interna do compartimento de gases, de recuperação do biogás produzido no processo, e de redução substancial das emissões odorantes e de gases de efeito estufa.
- Incorporação de sistema de remoção da escuma que se acumula no interior do STF, incluindo escotilha de visualização da escuma com janela de vidro, contribuindo diretamente para a melhoria de aspectos operacionais dos reatores UASB e de redução/eliminação de emissões odorantes e de perdas de biogás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods For de Examination of Water and Wastewater. 22 TH ed. Whashington: American Public Health Association, 2012.
2. BRESSANI-RIBEIRO, T., CHERNICHARO, C. A. L., LOBATO, L. C. S., NEVES, P. N. P. Design of UASB reactors for sewage treatment. In: Anaerobic reactors for sewage treatment: design, construction, and operation. Chernicharo, C.A.L., Bressani-Ribeiro, T. (Eds.). IWA Publishing, London, 2019.
3. CHERNICHARO, C. A. L., VAN LIER J. B., NOYOLA A., BRESSANI-RIBEIRO T.; Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. Environmental Science Biotechnology, 14(4), 649-679, 2015.
4. DÍAZ FLÓREZ, C. A.; *Avaliação de protocolos de descarte e desidratação da escuma acumulada no interior de separadores trifásicos de reatores UASB.* Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos. Belo Horizonte, 2016.
5. ROSA, A. P.; *Aproveitamento de biogás e lodo excedente de reatores UASB como fonte de energia renovável em Estações de Tratamento de Esgoto.* Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos. Belo Horizonte, 2013.
6. SANTOS, A. V.; *Remoção, tratamento e valoração de escuma proveniente de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto doméstico.* Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos. Belo Horizonte, 2014.