AVALIAÇÃO DO DESAGUAMENTO DE ESCUMA E LODO DE ESGOTO EM LEITOS DE SECAGEM COM CAL E BOLSAS DRENANTES

David Garcia[1]
Engenheiro Civil pela Universidade UNICESUMAR. Mestrando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG. Especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Faculdade de Minas Gerais ´FACUMINAS. Especialista em Calculo Estrutural e Fundações pela Faculdade de Minas Gerais - FACUMINAS Especialização em Formação para Tradutor e Intérprete de Libras pela Faculdade Metropolitana do Estado de São Paulo - FAMEESP. Técnico em Química pelo Colégio Estadual João Ricardo Von Borel Du Vernay. Técnico em Meio Ambiente pelo Colégio Estadual Polivalente.

Endereço [1]: Rua Terézio Ribas Teixeira, 478 – Tibagi – Paraná CEP: 84300-000 - Brasil - Tel: (42) 99936-3220 e-mail: davidg@sanepar.com.br

RESUMO

O Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado (RALF), conhecido internacionalmente como reator UASB, é amplamente empregado no tratamento de esgotos domésticos devido à simplicidade operacional e ao baixo consumo de energia. Entretanto, a formação e o acúmulo de escuma e lodo podem comprometer o desempenho dos reatores, intensificar odores e dificultar o manejo e a destinação dos resíduos. Este trabalho avalia, em escala real, uma alternativa operacional para o desaguamento da escuma em leitos de secagem da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Tibagi, com capacidade de 45 L/s, combinando a adição de cal virgem com o uso de bolsas drenantes (big bags) posicionadas sobre os leitos. As remoções de escuma foram acompanhadas quanto à redução de volume, ao tempo de secagem e às condições de operação dos leitos, integrando-se às rotinas de gerenciamento de resíduos sólidos definidas pela SANEPAR. A solução proposta permitiu reduzir o volume inicial de escuma de 20,4 m³ para 6,8 m³ em aproximadamente 1,5 dia, sem registro de colmatação perceptível da camada de areia sob as bolsas drenantes ao longo de 12 meses de acompanhamento. Os resultados indicam que a combinação entre cal virgem e bolsas drenantes é tecnicamente viável, simples de aplicar e replicável em ETEs com reatores anaeróbios, otimizando a infraestrutura existente.

Palavras-chave: Escuma de esgoto; desaguamento; leitos de secagem; bolsas drenantes; cal virgem.

DESTAQUES

- Bolsas drenantes instaladas sobre leitos de secagem aceleram o desaguamento da escuma de reatores anaeróbios.
- O volume de escuma foi reduzido de 20,4 m³ para 6,8 m³ em cerca de 1,5 dia de operação.
- Não houve colmatação perceptível dos leitos de escuma ao longo de 12 meses de acompanhamento.
- Método simples, replicável e alinhado à gestão sustentável de resíduos em ETEs com reatores anaeróbios.

1 INTRODUÇÃO

A gestão adequada dos resíduos gerados nos sistemas de coleta e tratamento de esgotos sanitários é essencial para garantir continuidade operacional, eficiência dos processos e mitigação de impactos ambientais (SANEPAR, 2018). Entre esses resíduos, destacam-se sólidos grosseiros,

sólidos sedimentáveis, escuma e lodo de esgoto, cuja remoção, tratamento e destinação final são indispensáveis para o bom desempenho de Estações Elevatórias de Esgoto (EEE) e Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Quando manejados de forma inadequada, esses materiais podem comprometer o funcionamento de bombas, tubulações e unidades de tratamento, ocasionando entupimentos, assoreamento, formação de odores e redução da eficiência global dos sistemas (LEITE, 2015; LOBATO et al., 2018). Em particular, a escuma acumulada em reatores anaeróbios pode reduzir a área útil de sedimentação, interferir na liberação e captura de biogás e provocar danos estruturais em componentes como o separador trifásico (LEITE, 2015; ROSS et al., 2011).

No contexto brasileiro, destaca-se o uso disseminado de reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente, amplamente conhecidos como Reator UASB, e, no estado do Paraná, como Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF) (RIETOW, 2023; LOBATO et al., 2018). Essa tecnologia apresenta vantagens como baixo consumo de energia, compacidade e simplicidade operacional, mas enfrenta limitações quanto ao atendimento de padrões de lançamento e à formação de escuma em escala real (LEITE, 2015). A escuma formada nesses reatores constitui uma camada de materiais flutuantes na superfície, contendo gorduras, óleos, sabões, restos de alimentos, lodo flotado e outros detritos, com forte tendência ao acúmulo ao longo do tempo (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006; LEITE, 2015). Estudos em escala de demonstração e em escala plena indicam que sua composição é semelhante à do lodo de esgoto para sólidos totais, sólidos voláteis, DBO, DQO e fração biodegradável, com teores relevantes de óleos, graxas e nutrientes (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006; LEITE, 2015).

A taxa de acúmulo de escuma e suas características físico-químicas dependem fortemente de fatores como tempo de detenção hidráulica, velocidade ascensional, remoção de lodo excedente, presença de pré-tratamento (peneiramento, desarenadores) e composição do esgoto afluente (ROSS et al., 2011; LEITE, 2015). Ross et al. (2011) demonstraram que a redução da frequência de retirada de lodo pode aumentar significativamente a produção de escuma, enquanto práticas de manejo mais frequentes tendem a diminuir sua formação. Souza; Aquino; Chernicharo (2006) observaram que mudanças no tempo de detenção hidráulica e na velocidade ascensional podem elevar o acúmulo de escuma, a concentração de sólidos totais e DQO, além de reduzir a relação STV/ST ao longo das fases operacionais. Resultados de biodegradabilidade indicam ainda que a escuma acumulada em decantadores de reatores UASB tende a ser mais bem degradada em condições anaeróbias do que aeróbias, especialmente em ensaios de longa duração (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006).

O manejo da escuma em sistemas com reatores UASB e RALF envolve dispositivos de retenção, rotinas de remoção manual ou mecanizada e encaminhamento para unidades de espessamento e desaguamento, frequentemente leitos de secagem (LEITE, 2015; LOBATO et al., 2018). Quando a escuma é encaminhada diretamente para leitos, as taxas de aplicação de sólidos devem ser cuidadosamente controladas, pois valores elevados favorecem colmatação da camada de areia, dificultam a drenagem e aumentam a necessidade de renovação do material filtrante (LEITE, 2015). Além disso, o acúmulo de escuma em leitos de secagem está associado a problemas de odores, atração de vetores e geração de lixiviados com elevada carga orgânica, exigindo cuidados adicionais de operação e proteção ambiental (LEITE, 2015; WEI et al., 2018). Nesse cenário, soluções simples e robustas que otimizem o desaguamento da escuma, reduzam a colmatação dos leitos e facilitem o manejo e a destinação final do resíduo são particularmente relevantes para companhias de saneamento que operam grandes parques de reatores anaeróbios, como a SANEPAR (SANEPAR, 2018; RIETOW, 2023).

Formação e características da escuma em reatores anaeróbios

A formação de escuma em reatores anaeróbios está associada à presença simultânea de bolhas de gás, surfactantes e partículas hidrofóbicas, que favorecem a adesão e o arraste de materiais para a superfície dos reatores (SILVA, 2008). Em reatores UASB tratando esgotos domésticos, a escuma se apresenta como uma camada espessa, gelatinosa, pegajosa e oleosa, contendo detritos, lodo granular morto e partículas finas, com forte tendência à acumulação ao longo do tempo (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006).

Estudos em escala de demonstração mostram que a composição da escuma é semelhante à do lodo de esgoto quanto a sólidos totais, sólidos voláteis, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e fração biodegradável, com teores relevantes de óleos, graxas e nutrientes (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006). Em escala real, investigações realizadas em ETEs do Paraná reforçam essa semelhança de composição e indicam que a escuma acumulada em reatores

UASB e RALF apresenta potencial energético e conteúdo de matéria orgânica comparáveis ao lodo excedente (LEITE, 2015).
Leite (2015) determinou taxas de produção de escuma entre 4,82 e 105,33 g ST/kg DQO aplicada em diferentes configurações de reatores, evidenciando grande amplitude de valores atribuída às condições de projeto e operação. Souza; Aquino; Chernicharo (2006) observaram que alterações no tempo de detenção hidráulica e na velocidade ascensional podem aumentar a acumulação de escuma, elevar concentrações de sólidos totais e DQO e reduzir a relação STV/ST ao longo das fases operacionais. Resultados de biodegradabilidade indicam que a escuma acumulada em decantadores tende a ser melhor degradada em condições anaeróbias, em comparação a condições aeróbias, especialmente em ensaios de longa duração (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006).
A taxa de acúmulo de escuma e suas características físico-químicas dependem fortemente de fatores como tempo de detenção hidráulica, velocidade ascensional, remoção de lodo excedente, presença de pré-tratamento (peneiramento, desarenadores) e composição do esgoto afluente (ROSS et al., 2011; LEITE, 2015). Ross et al. (2011) demonstraram que a redução da frequência de retirada de lodo pode aumentar significativamente a produção de escuma, enquanto rotinas mais frequentes de manejo tendem a reduzir sua formação e acúmulo nas unidades de decantação e no separador trifásico. Em conjunto, esses estudos reforçam que a escuma é um resíduo de composição complexa, sensível a condições operacionais e diretamente associado ao desempenho dos sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos.

Manejo da escuma e desaguamento em leitos de secagem
O manejo da escuma em ETEs com reatores UASB e RALF envolve dispositivos de retenção, rotinas de remoção manual ou mecanizada e encaminhamento para unidades de espessamento e desaguamento, tradicionalmente leitos de secagem (LOBATO et al., 2018; LEITE, 2015). Em muitos sistemas, a escuma é descarregada para instalações de espessamento, integrando a linha de processamento de lodo de esgoto, embora sua natureza mais oleosa e pegajosa represente desafios adicionais de operação (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006; LEITE, 2015).
Quando a escuma é encaminhada diretamente para leitos de secagem, as taxas de aplicação de sólidos devem ser cuidadosamente controladas. Em estudos de campo, Leite (2015) reportou faixas de aproximadamente 5,63 a 27,18 kg ST/m², recomendando evitar valores superiores a cerca de 7,8 kg ST/m² devido ao risco de colmatação e à dificuldade de drenagem. Em comparação ao lodo de esgoto, a escuma tende a acelerar o entupimento da camada de areia, demandar maior renovação do material filtrante e aumentar o volume de resíduos finais, com reflexos em custos de operação e manutenção dos leitos (LEITE, 2015).
Além disso, o acúmulo de escuma em leitos de secagem está associado a potenciais problemas de odores, atração de vetores e geração de lixiviados com elevada carga orgânica, exigindo cuidados adicionais de operação e proteção ambiental (LEITE, 2015; WEI et al., 2018). Por essa razão, diferentes autores discutem alternativas operacionais e tecnológicas para reduzir a formação de escuma nos reatores, aprimorar sua remoção e otimizar o desaguamento e a destinação final, incluindo ajustes de projeto, rotinas de descarte de lodo excedente, tratamentos enzimáticos e combinações com outros processos (ROSS et al., 2011; LOBATO et al., 2018).
No contexto de ETEs em escala real, destaca-se a necessidade de soluções simples e robustas que aproveitem a infraestrutura existente e minimizem o risco de colmatação dos leitos, especialmente em companhias de saneamento que operam múltiplas unidades com tecnologia UASB, como a SANEPAR (SANEPAR, 2018; RIETOW, 2023). A utilização de bolsas drenantes (big bags) posicionadas sobre leitos de secagem surge, nesse cenário, como alternativa promissora para conter a escuma, promover drenagem mais eficiente e facilitar o carregamento, transporte e destinação final do resíduo, em consonância com recomendações de manejo integrado de lodo e escuma (LEITE, 2015; ROSS et al., 2011).

Justificativa e objetivos do estudo
A Estação de Tratamento de Esgoto de Tibagi, no estado do Paraná, opera três reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (RALF), com capacidade nominal de 45 L/s, além de sete leitos de secagem destinados ao desaguamento de lodo de esgoto e de escuma removida dos reatores (SANEPAR, 2018). A escuma proveniente, em especial, do Reator 3 vinha sendo manejada em leitos convencionais, com relatos de colmatação, dificuldades de drenagem e desafios no carregamento e transporte do material.

Estudos anteriores sobre escuma em reatores UASB e RALF no Paraná evidenciam taxas significativas de produção de escuma, composição semelhante à do lodo de esgoto e limitações operacionais quando o resíduo é encaminhado diretamente aos leitos de secagem (LEITE, 2015). Recomendações de projeto e operação destacam a necessidade de rotinas adequadas de remoção de escuma e de controle das taxas de aplicação de sólidos para evitar colmatação, problemas de odores e impactos ambientais (LOBATO et al., 2018; ROSS et al., 2011). Nesse contexto, torna-se relevante avaliar alternativas que integrem o manejo da escuma às práticas correntes de desaguamento, otimizando infraestrutura existente e reduzindo custos operacionais.

Diante da experiência da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) com sistemas anaeróbios em múltiplas ETEs, justificou-se a avaliação, em escala real, de uma solução baseada na combinação entre cal virgem e bolsas drenantes (big bags) instaladas sobre os leitos de secagem da ETE Tibagi. Espera-se que essa configuração contribua para reduzir o tempo de secagem, diminuir a área efetivamente comprometida com o desaguamento da escuma, minimizar colmatação dos leitos e simplificar as etapas de transporte e destinação final (LEITE, 2015; WEI et al., 2018).

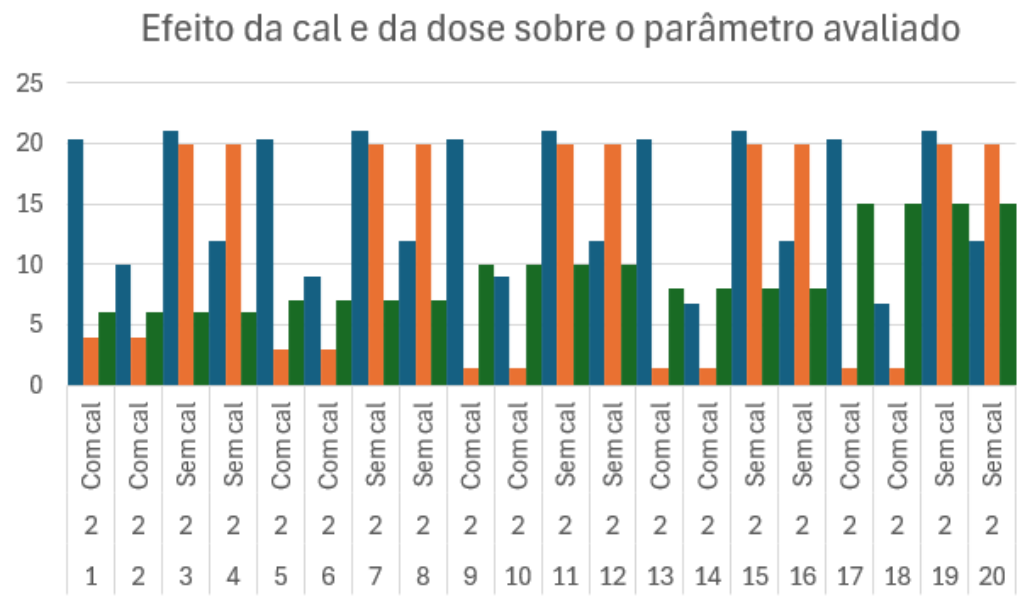
O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho operacional do desaguamento da escuma de reatores anaeróbios em leitos de secagem utilizando bolsas drenantes e cal virgem, em ETE em escala real, propondo parâmetros operacionais e discutindo os resultados à luz da literatura sobre formação, caracterização e manejo da escuma em reatores UASB e RALF (LEITE, 2015; SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006; ROSS et al., 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Desempenho do desaguamento em bolsas drenantes

Ao longo dos ciclos analisados, observou-se redução do volume de escuma de 20,4 m³ para 6,8 m³ em aproximadamente 1,5 dia de operação, valor compatível com tempos de secagem reportados para leitos convencionais de escuma e lodo de esgoto (LEITE, 2015). A concentração de material dentro dos big bags favoreceu a drenagem vertical e a rápida perda de água livre, resultando em massa de escuma mais adensada e com menor teor de umidade, adequada para carregamento e transporte.

Figura 1 – Gráfico da dosagem proporção cal e tempo de desaguamento



A comparação com dados de Leite (2015), que indica faixas de 5,63 a 27,18 kg ST/m² para aplicação direta de escuma em leitos de secagem, sugere que o uso de bolsas drenantes permite concentrar o material em área reduzida, mitigando o risco de colmatação da camada de areia e preservando a capacidade dos leitos para o desaguamento de lodo de esgoto. Além disso, o

confinamento da escuma nas bolsas contribui para organização do fluxo de trabalho, redução do contato direto dos operadores com o resíduo e simplificação das etapas de remoção e carregamento para transporte (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006; SANEPAR, 2018).

3.2 Ocorrência de colmatação e condições dos leitos

Durante aproximadamente 12 meses de acompanhamento operacional, não foram observados episódios significativos de colmatação dos leitos de secagem utilizados para instalação das bolsas drenantes, tampouco necessidade de renovação acelerada da camada de areia sob as estruturas (LEITE, 2015). A drenagem se manteve estável, com ausência de acúmulo persistente de água livre e manutenção da capacidade de infiltração da superfície filtrante.

Esses resultados contrastam com relatos de operação de leitos submetidos diretamente à escuma, nos quais a natureza mais oleosa e pegajosa do material tende a acelerar o entupimento e a elevar custos de manutenção (LEITE, 2015; WEI et al., 2018). A disposição da escuma em big bags sobre os leitos parece atuar como barreira física que distribui o fluxo de drenagem e protege parcialmente a camada de areia, ao mesmo tempo em que facilita a remoção do resíduo desaguado sem necessidade de escavação ou revolvimento intenso do meio filtrante.

3.3 Aspectos operacionais e de segurança

Do ponto de vista operacional, a combinação entre cal virgem e bolsas drenantes mostrou-se compatível com as rotinas da ETE Tibagi, exigindo ajustes limitados de infraestrutura e treinamento de operadores. A aplicação de cal virgem contribuiu para estabilização da escuma e controle de odores, alinhando-se a práticas de condicionamento químico adotadas em sistemas de manejo de lodo e escuma (LEITE, 2015; WEI et al., 2018). O confinamento do material em big bags reduziu o contato direto dos trabalhadores com a escuma, em consonância com diretrizes de segurança ocupacional para unidades de tratamento anaeróbio (SANEPAR, 2018).

Do ponto de vista de replicabilidade, os resultados obtidos sugerem que a solução pode ser aplicada em outras ETEs com reatores UASB ou RALF, desde que haja disponibilidade de área de leitos de secagem e condições de instalação de suportes para bolsas drenantes, em linha com recomendações de manejo integrado de lodo e escuma em sistemas anaeróbios (ROSS et al., 2011; LOBATO et al., 2018). A simplicidade construtiva das estruturas e o uso de big bags amplamente disponíveis no mercado reforçam o potencial de implementação em contextos similares ao da SANEPAR.

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na ETE Tibagi indicam que a combinação entre cal virgem e bolsas drenantes (big bags) instaladas sobre leitos de secagem constitui uma alternativa operacional eficaz para o desaguamento de escuma de reatores anaeróbios do tipo RALF/UASB. Observou-se redução do volume de escuma de 20,4 m³ para 6,8 m³ em aproximadamente 1,5 dia, sem registro de colmatação significativa da camada de areia ao longo de 12 meses de acompanhamento, em consonância com parâmetros de desaguamento de escuma em leitos de secagem discutidos por Leite (2015).

4.1 ANOVA

Os dados foram avaliados por análise de variância (ANOVA) considerando o efeito do tratamento com cal e das diferentes doses aplicadas. A partir dos resultados obtidos e da comparação das médias entre as concentrações testadas, verificou-se que a dose de 8 g/L de cal apresenta o desempenho mais adequado nas condições avaliadas, sendo adotada como a quantidade ideal para este estudo.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) bifatorial, considerando o efeito do tratamento com cal, das diferentes doses de cal e da interação entre esses fatores sobre o parâmetro avaliado. A seguir, apresentam-se os resultados da ANOVA para o conjunto de dados obtidos neste estudo

Tabela 1 – Análise de variância (ANOVA) para o efeito do tratamento com cal e das doses de cal sobre o parâmetro avaliado

Fonte de variação	Df	SQ	QM	F	p-valor
Tratamento	1	42,1	42,05	0,632	0,445
Cal g/L	4	0,0	0,00	0,000	1,000
Tratamento × Cal g/L	4	0,0	0,00	0,000	1,000
Resíduos	10	664,9	66,49	–	–

A comparação qualitativa com faixas de aplicação de sólidos em leitos de escuma e lodo, propostas para ETEs operadas pela SANEPAR, sugere que o uso de big bags concentra o material em área reduzida e protege parcialmente o meio filtrante, reduzindo a necessidade de renovação da areia e os custos de manutenção (LEITE, 2015; ROSS et al., 2011). Além disso, o confinamento da escuma em bolsas drenantes facilita o carregamento, transporte e destinação final do resíduo, ao mesmo tempo em que diminui o contato direto dos operadores com a escuma e contribui para melhores condições de segurança ocupacional (SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2006; SANEPAR, 2018).

Do ponto de vista ambiental e sanitário, a aplicação de cal virgem associada ao desaguamento em big bags mostrou-se compatível com práticas de condicionamento químico de lodo e escuma, favorecendo a estabilização do resíduo e o controle de odores (LEITE, 2015; WEI et al., 2018). Os resultados obtidos indicam que a tecnologia é simples, replicável e alinhada às recomendações de manejo integrado de escuma e lodo em sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos (LOBATO et al., 2018; VAN LIER et al., 2015).

Considerando a ampla utilização de reatores UASB/RALF para tratamento de esgotos domésticos no Paraná e em outras regiões do Brasil, a solução estudada apresenta potencial para ser adotada em diferentes ETEs, especialmente naquelas que já dispõem de leitos de secagem e enfrentam limitações operacionais relacionadas à formação e ao manejo de escuma (LEITE, 2015; ROSS et al., 2011; SANEPAR, 2018). Recomenda-se a realização de estudos adicionais em outras unidades em escala real, contemplando monitoramento de parâmetros físico-químicos, balanço de massa e avaliação econômica comparativa, de modo a consolidar diretrizes de projeto e operação para o uso de cal virgem e bolsas drenantes no desaguamento de escuma de reatores anaeróbios.

REFERÊNCIAS

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2011.

LEITE, B. Z. Escuma de reatores anaeróbios tratando esgotos domésticos em escala real: produção, caracterização e proposição de parâmetros para seu gerenciamento. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LOBATO, A. O. et al. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB tratando esgotos domésticos. Revista DAE, São Paulo, n. 214, p. 24–40, 2018.

ROSS, B. Z. L. et al. Avaliação da frequência de retirada de lodo na geração de escuma em reatores UASB operando em escala plena. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXVI, 2011, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ABES/AESabesp, 2011.
SOUZA, C. L. Estudo quantitativo e qualitativo de escuma acumulada em reatores UASB tratando esgotos domésticos. 2006. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
SOUZA, C. L.; AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Production and characterization of scum and its role in odour control in UASB reactors treating domestic wastewater. Water Science and Technology, v. 54, n. 5, p. 211–218, 2006.
VAN LIER, J. B. et al. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, v. 14, p. 649–699, 2015.
WEI, W. et al. Review of sludge treatment and disposal. Water Research, v. 143, p. 608–631, 2018.
SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná. Procedimentos operacionais para gerenciamento de lodo e escuma em ETEs com reatores anaeróbios. Curitiba, 2018.
RIETOW, R. J. Aplicação de reatores anaeróbios de manta de lodo (RALF/UASB) em sistemas de esgotamento sanitário no Paraná. 2023. Relatório técnico – Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), Curitiba.
SILVA, L. D. R. Desenvolvimento de reator UASB com duplo estágio de coleta de escuma tratando esgotos domésticos. 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília.