

Requisitos de segurança para o processo de extração ativa do biogás em estações de tratamento de esgoto com reatores anaeróbios

Estudio de caso



Julio Cezar Rietow^{1*} ; Gustavo Rafael Collere Possetti² ; Miguel Mansur Aisse¹ 

¹Universidade Federal do Paraná (UFPR); ²Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR)

*julio.rietow@gmail.com

Resumo

Visando reduzir problemas relacionados a emissão de gases de efeito estufa e de maus odores em estações de tratamento de esgoto, tem-se verificado no Brasil algumas iniciativas de captura forçada do biogás produzido em reatores anaeróbios. Essa técnica, chamada de extração ativa de biogás, tem sido adotada para promover o guiamento do biogás até queimadores e/ou equipamentos de aproveitamento energético. Se por um lado tal prática aprimora a eficiência de captura do biogás, melhorando sua condição de queima e de aproveitamento, por outro ela potencializa a ocorrência de eventuais acidentes, sobretudo o de explosões motivadas pela ignição de misturas contendo biogás e oxigênio. Sendo assim, a manipulação do biogás no processo de extração ativa deve ser realizada de forma criteriosa, priorizando-se a minimização de riscos. Isto posto, o presente estudo de caso teve por objetivo trazer orientações técnicas sobre os requisitos de segurança associados com a extração ativa do biogás.

Palavras-chave:

Atmosfera explosiva; Metano; Sulfeto de Hidrogênio; Zonas de riscos.

Safety requirements for the process of active extraction of biogas in sewage treatment plants with anaerobic reactors

Abstract

With the aim of reducing problems related to greenhouse gasses emission and bad odors in sewage treatment plants, there have been some initiatives in Brazil for the forced capture of biogas produced in anaerobic reactors. This technique, called active biogas extraction, has been adopted to promote the guidance of biogas to burners and/or energy recovery equipment. If, on the one hand, this practice improves the efficiency of capturing biogas, improving its burning and utilization conditions, on the other hand, it potentiates the occurrence of eventual accidents, especially explosions caused by the ignition of mixtures containing biogas and oxygen. Therefore, the handling of biogas in the active extraction process must be carried out judiciously, prioritizing the minimization of risks. Considering that, the present case study aimed to provide technical guidance on the safety requirements associated with the active extraction of biogas

Keywords:

Explosive atmosphere; Methane; Hydrogen Sulfide; Hazardous areas.

Forma de citar: Rietow, J. C., Collere Possetti, G. R., & Mansur Aisse, M. (2022). Requisitos de segurança para o processo de extração ativa do biogás em estações de tratamento de esgoto com reatores anaeróbios. *RedBioLAC*, 6(1), 10-15.

Introdução

O aproveitamento energético do biogás oriundo de estações de tratamento de esgoto (ETEs) tem se intensificado nos últimos anos em países da América Latina e Caribe. Produzido a partir do tratamento anaeróbico do esgoto sanitário, ou da biodigestão do lodo de esgoto, o biogás é caracterizado por ser um composto inflamável e dotado de grande potencial energético por conter metano em sua composição. Apesar do notório crescimento no número de plantas instaladas nesses países, sobretudo no Brasil, constata-se que pouco foi discutido de forma aprofundada as questões envolvendo os aspectos de segurança nessas ETEs (Possetti *et al.*, 2018).

Para aumentar a eficiência dos sistemas de aproveitamento energético, ou até mesmo para diminuir as concentrações de sulfeto de hidrogênio presente no biogás visando mitigar os maus odores dentro da ETE, processos eletromecânicos de guiamento forçado estão sendo empregados muitas vezes sem o conhecimento dos requisitos mínimos de segurança. Também chamado de processo de extração ativa, o guiamento forçado do biogás pode ocasionar ambientes de atmosferas explosivas devido à mistura do metano e do oxigênio. Para reduzir os riscos de uma possível explosão em uma planta de biogás com processo de extração ativa, uma série de requisitos técnicos e operacionais devem ser levantados, estudados e implantados na ETE (Rietow *et al.*, 2021).

Diante desse contexto, o presente estudo de caso teve por objetivo avaliar e levantar os requisitos mínimos de segurança a serem adotados durante o processo de extração ativa do biogás. As observações e constatações ocorreram durante o aproveitamento energético do biogás para a realização da secagem térmica de lodo em uma ETE de médio porte.

Descrição do estudo de caso

Para a avaliação e estudo do processo de extração ativa do biogás, um sistema de aproveitamento energético, visando a realização da secagem térmica de lodo de esgoto, foi instalado em uma ETE localizada no município de Curitiba-Paraná, Brasil, com capacidade para tratar uma vazão de até 420 L.s^{-1} de esgoto sanitário. A planta de tratamento é dotada de seis reatores anaeróbios do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Os gasômetros desses reatores foram interligados com tubos flexíveis de PVC, com diâmetros internos de 50 mm, sendo o guiamento forçado do biogás realizado por um compressor radial (modelo GF, marca Resun com capacidade de vazão de $90 \text{ Nm}^3.\text{h}^{-1}$), modulado por um inversor de frequência e instalado em série com os tubos condutores (Figura 1). Um tanque contendo limalha de ferro (marca ALBRECHT) foi incorporado ao sistema de guiamento do biogás visando a redução da concentração de sulfeto de hidrogênio e de condensados.

A vazão e a temperatura do biogás, durante os estudos do processo de extração ativa, foram mensuradas com o auxílio de um transmissor por dispersão térmica (modelo TA2, marca Magnetrol, com resoluções de $5,6 \text{ Nm}^3.\text{h}^{-1}$ e $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$, exatidão de $\pm 1,0 \text{ Nm}^3.\text{h}^{-1}$ e $\pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ e repetibilidades de $\pm 0,5\%$ da leitura). O teor de metano presente no biogás foi determinado com um transmissor óptico seletivo (modelo Guardian Plus, marca Edinburgh Sensors, com resolução de $0,1\%$ v, exatidão de $\pm 2,5\%$ v e repetibilidade de $\pm 2,0\%$ v, operando na faixa do infravermelho). Por fim, foi verificado, por meio do uso de um transmissor de pressão capacitivo (marca LD301, modelo Smar, com resolução de $0,01 \text{ mmca}$ e exatidão de $\pm 0,04 \text{ mmca}$), a pressão manométrica do biogás. Esses equipamentos foram configurados para fornecer sinais analógicos (padrão 4-20 mA), sendo monitorados em intervalos de 30 segundos e armazenados em um aquisitor de dados (marca FieldLogger, Novus).



Figura 1 | Extração ativa do biogás durante o processo de aproveitamento energético para a secagem térmica do lodo de esgoto.

O secador de lodos (modelo Bruthus, marca ALBRECHT) foi operado ao longo de 62 horas e foi responsável por processar cerca de 4500 kg de lodo anaeróbio úmido, contendo em média 20 % de teor de sólidos totais. Durante o processamento do lodo, foram levantados os requisitos mínimos a serem considerados no processo de extração ativa do biogás. Para tanto, esses requisitos foram incorporados em 5 níveis de controle de segurança, sendo eles: I) reatores anaeróbios, II) tubulação e acondicionamento do biogás, III) dispositivos eletromecânicos de guiamento forçado do biogás, IV) dispositivos de aproveitamento energético e/ou queima do biogás e V) classificação de atmosferas explosivas.

Resultados e lições aprendidas

O processo de secagem térmica do lodo, a partir do aproveitamento do biogás, foi responsável por reduzir em aproximadamente 80 % a massa de lodo introduzida no secador. A vazão média de biogás empregada durante a operação do secador foi de $15 \text{ Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, sendo o teor médio de metano presente em sua composição de 78 %v. Esse biogás entrou no secador térmico com uma temperatura média de 25 °C e com uma pressão manométrica de aproximadamente de 770 mmca. Desse modo, estima-se que o secador demandou cerca de 1320 kcal para remover 1 kg de água presente no lodo. Em paralelo com os estudos do processo de secagem térmica do lodo, foram realizados os levantamentos dos requisitos mínimos de segurança a serem tomados durante o processo de extração ativa do biogás.

Reatores anaeróbios

Para o nível de controle compreendendo os reatores UASB, observou-se que a estanqueidade e/ou enclausuramento dos mesmos é requisito imprescindível para a realização da extração ativa, evitando, dessa forma, possíveis riscos de vazamento de gases, explosão, perda do potencial energético de recuperação do biogás, emissões fugitivas de gases de efeito estufa (GEE) e de gases odoríferos. Uma forma de garantir a estanqueidade do reator anaeróbio é o emprego de um selo hidráulico (Figura 2a). Esse dispositivo é responsável por manter pressões positivas na tubulação

do biogás, impedindo eventuais retornos da chama para a linha de gás. Além do selo, é fundamental o uso de tampas que permitam uma boa vedação das estruturas dos reatores, sobretudo dos gasômetros. Os interiores dos gasômetros e da área de decantação desses reatores, caso estejam acima do nível de água, devem ser impermeabilizados e protegidos. Isso minimiza a fuga do biogás por meio de eventuais fissuras existentes nas camadas de concreto, evitando ainda a corrosão de suas estruturas.

Denotada a relevância do enclausuramento do reator anaeróbio, destaca-se a necessidade de um maior controle sobre a retirada de espuma. Caracterizada por ser uma camada de materiais flutuantes que se desenvolve na superfície de reatores anaeróbios, a espuma é composta principalmente por gorduras, óleos e lodo flotado (Lobato *et al.*, 2018). O acúmulo desse material prejudica a qualidade do esgoto sanitário tratado, reduz o volume útil de tratamento, impede a saída do biogás para o meio atmosférico e pode causar o rompimento das lonas do separador trifásico. Portanto, recomenda-se que a retirada de espuma não ocorra em períodos superiores a 15 dias para ETEs que realizam a queima e/ou aproveitamento energético do biogás.

A maior parte dos reatores anaeróbios instalados no Brasil não possuem dispositivo de retirada automática de espuma (separadores trifásicos equipados com mecanismo hidrostático). Geralmente, faz-se necessário abrir as tampas presentes nos topos dos reatores para realizar a retirada desse material (Figura 2b). Para que o aproveitamento energético do biogás não seja prejudicado, ou ainda que ocorram possibilidades de explosões no sistema devido à entrada de ar nos gasômetros e em tubulações, é de suma importância que durante a atividade de retirada de espuma a linha de transporte de biogás esteja fechada.

Informações adicionais sobre a importância da estanqueidade de reatores anaeróbios e o processo de retirada de espuma podem ser observadas em estudos realizados por Possetti *et al.* (2018).

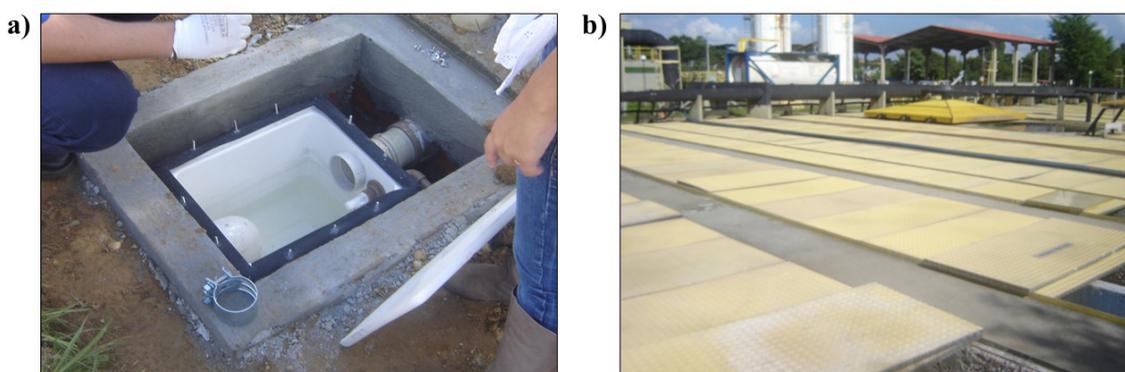


Figura 2 | Dispositivos acoplados aos reatores anaeróbios da ETE em estudo: a) selo hidráulico para controle de estanqueidade e b) tampas de acesso aos reatores para retirada de espuma.

Tubulação e acondicionamento do biogás

A tubulação de biogás deve garantir que as velocidades para guiamento do biogás suportem velocidades acima de 5 m.s^{-1} durante o processo de extração ativa. De acordo com a NBR 12.209/2011 (ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011), os tubos devem possuir o diâmetro mínimo de 50 mm e, preferencialmente, serem fabricados em aço inox AISI 316. Na linha de gás, dispositivos de controle de vazão, purgas, válvulas corta-chamas e medidores de teores de metano e oxigênio devem ser instalados.

Os dispositivos de controle de vazão devem ser instalados em locais que permitam o isolamento dos reatores anaeróbios, gasômetros, queimadores e equipamentos de aproveitamento de biogás. Esses dispositivos devem ser utilizados para reparos em componentes do sistema ou para a execução de atividades de operação e/ou manutenção.

Por sua vez, as válvulas corta-chamas devem ser empregadas com o objetivo de proteger as áreas de formação e/ou de armazenagem de biogás contra chamas que eventualmente se propagem pela linha a partir de dispositivos eletromecânicos de guiamento forçado e/ou de equipamentos de consumo de biogás (Figura 3a). A frequência mínima para limpeza das válvulas corta-chamas é mensal.

A medição dos teores de oxigênio e metano no biogás deve ser realizada de modo a identificar a presença de misturas explosivas formadas pela incorporação involuntária de ar. Os resultados dessas medições devem ser utilizados para acionar (ligar ou desligar) os dispositivos eletromecânicos de guiamento forçado. O processo de extração ativa do biogás deve ser automaticamente interrompido, caso sejam detectados teores de metano e de oxigênio que indiquem a presença de misturas explosivas (teores de metano entre 4,4 a 16,5 %, independente do teor de oxigênio presente).

Por fim, a remoção de sedimentos e de condensados presentes no biogás é recomendada para proteção dos equipamentos de medição que estão presentes na linha de gás e que tendem a sofrer avarias na presença desses compostos (principalmente o sulfeto de hidrogênio). Para a

remoção de partículas grosseiras presentes no biogás deve-se utilizar filtros de cascalho e para partículas finas deve-se empregar filtros de cerâmica. Além disso, recomenda-se a instalação de filtros e/ou purgas para a remoção de umidade presente no biogás (Figura 3b).

Informações adicionais sobre tubulação e dispositivos necessários na linha de gás podem ser observadas em estudos realizados por Silveira *et al.* (2015).

Dispositivos eletromecânicos de guiamento forçado do biogás

Os dispositivos eletromecânicos de guiamento forçado do biogás podem ser enquadrados como sopradores, ventiladores ou compressores. Esses equipamentos devem ser dimensionados de acordo com a taxa de produção de biogás inerente aos reatores anaeróbios onde se pretende instalá-los. Casos em que não seja possível realizar a medição, recomenda-se que seja realizada a estimativa de produção de biogás por meio do programa computacional ProBio 2.0 (Possetti *et al.*, 2021). Os dispositivos que realizam a extração ativa do biogás devem ser minimamente especificados para superar as perdas de carga impostas pela tubulação de gás e pelos componentes nela fixados.

Ressalta-se que os sopradores, ventiladores ou compressores devem possuir a certificação ATEX (*Atmospheres Explosives*). Desse modo, tais equipamentos devem ser à prova de explosão e apropriados para uso em áreas classificadas (ambientes sujeitos à explosão). Os sopradores, ventiladores ou compressores devem ainda ser dotados de componentes que permitam a variação e o controle automático de suas velocidades. Conversores de frequência podem ser utilizados para tais fins e devem ser acionados em tempo real, a partir das medições da vazão de biogás e dos teores de metano e de oxigênio.

Informações adicionais sobre os dispositivos de extração ativa do biogás podem ser observadas em estudos realizados por Rietow *et al.* (2021).

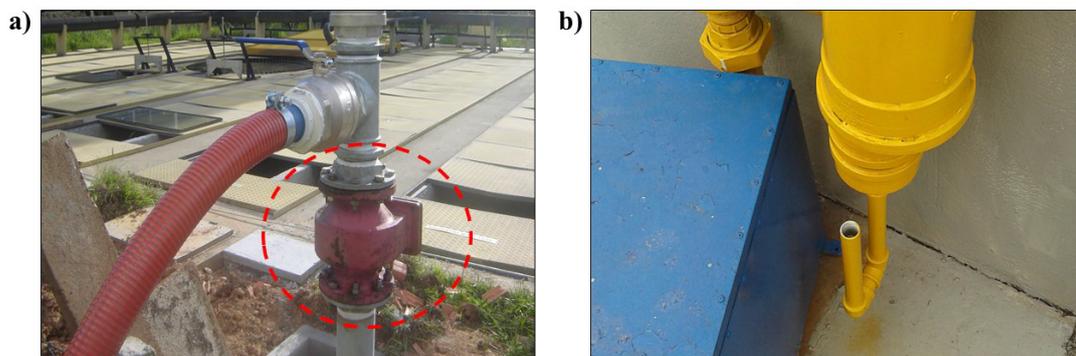


Figura 3 | Equipamentos empregados na linha de biogás: a) válvula corta-chamas (marca Flammer) utilizada na ETE em estudo e b) exemplo de purga de remoção de umidade.

Dispositivos de aproveitamento energético e/ou queima do biogás

Em caso de aproveitamento energético do biogás, como, por exemplo, o sistema de secagem térmica de lodo de esgoto empregada no presente estudo, um sistema de armazenamento é indispensável para garantir a eficiência do processo (Figura 4a). Apenas para fins de justificativa, o estudo de caso apresentando não empregou um gasômetro por se tratar de uma avaliação em escala piloto. Quando a planta tiver somente sistema de queima do biogás (sem aproveitamento), a instalação de um gasômetro pode ser desnecessária.

Os queimadores, também chamados de *flares*, são indispensáveis em todas as ETEs dotadas de reatores anaeróbios, pois promovem a destruição parcial das substâncias presentes no biogás (Figura 4b). Os queimadores podem ser classificados como abertos (atmosféricos) ou fechados (enclausurados). Os queimadores abertos têm sua chama aparente e demandam uma maior área de exclusão devido à radiação provocada por sua chama, bem como são caracterizados por possuírem baixas eficiências de destruição dos componentes do biogás (tipicamente inferiores a 50 %). Os queimadores abertos devem obrigatoriamente ser dotados de estruturas para proteção contra vento e chuva. Por sua vez, os queimadores fechados, possuem uma câmara de combustão isolada capaz de confinar a chama, assegurar elevados tempos de contato do biogás com a chama e manter temperaturas de conversão da ordem de 1000 °C (possui alta eficiência, tipicamente

maior que 99 %). Independentemente do tipo de queimador, a verificação dos sistemas ignitores dos queimadores (velas, baterias, placas, entre outros) deve ser diária.

Informações adicionais sobre queimadores de biogás podem ser observadas em estudos realizados por Kaminski *et al.* (2021).

Classificação de atmosferas explosivas

A classificação de atmosferas explosivas permite a escolha de equipamentos e dispositivos, elétricos ou não elétricos, que podem vir a ser empregados sem potenciais riscos de ignição em ambientes sujeitos a explosões. Para a realização dessa classificação, pode ser utilizada a NBR IEC 60079-10-1: Classificação de áreas– atmosferas explosivas (ABNT -Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2018), que ainda tem por objetivo o levantamento da adequação, seleção e instalação de equipamentos para utilização em áreas classificadas. Para a realização da classificação das áreas é necessário que se tenha, minimamente, a planta do local a ser classificado, contendo informações sobre tubulações, reatores, painel de instrumentação, equipamentos, entre outros dispositivos. Com o levantamento dessas informações, deve-se então identificar todas as fontes e graus de riscos na planta, bem como, a disponibilidade de ventilação nas fontes de riscos levantadas.

Informações adicionais sobre o processo de classificação de atmosferas explosivas podem ser observadas em estudos realizados por Rietow *et al.* (2021).

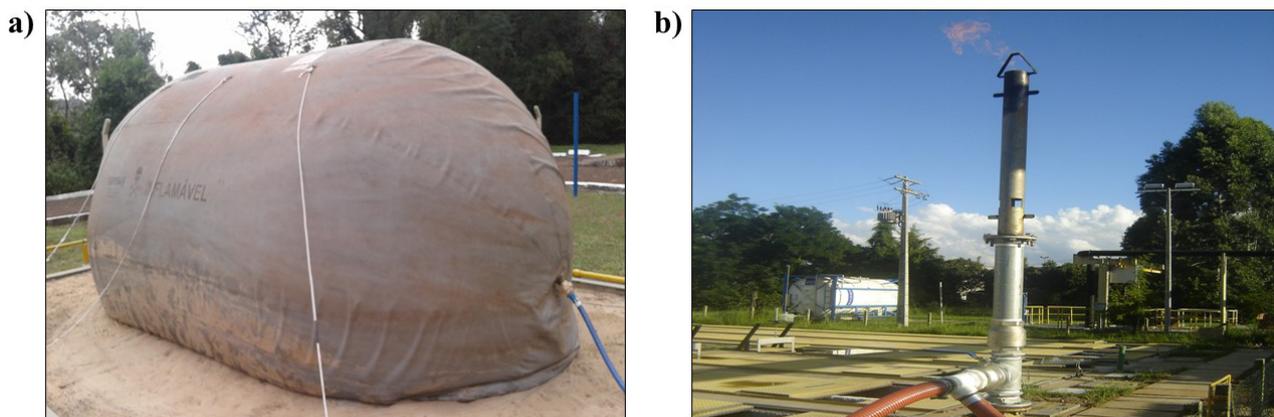


Figura 4 | Dispositivos empregados em uma planta de biogás: a) exemplo de gasômetro de lona simples (marca Sansuy) e b) queimador do tipo aberto (marca MWB Energy) empregado na ETE em estudo.

Conclusões e recomendações

Independente do aproveitamento ou não do biogás, ETEs que possuem reatores anaeróbios, por motivos de segurança, devem ser caracterizadas como plantas de biogás. Visando reduzir os problemas ocasionados pelos maus odores e a possibilidade de uma melhor eficiência no processo de aproveitamento energético, o processo de extração ativa deve começar a ser amplamente utilizado nessas plantas. Para tanto, requisitos mínimos de segurança devem ser empregados, tais como: a) estanqueidade do reator; b) correta remoção de espuma; c) tratamento do biogás (minimamente remoção de condensados) e correto armazenamento; d) sistema de extração ativa com controle de misturas explosivas (oxigênio e metano); e) válvulas corta-chamas; f) tubulação de biogás resistente a processos de corrosão; e g) classificação de atmosferas explosivas. Recomenda-se que normas específicas de segurança, até então inexistentes no contexto dos países da América Latina e Caribe, sejam criadas para ETEs com produção de biogás. A segurança nessas instalações deve caminhar em concomitância com o desempenho ambiental esperado, impulsionando o setor de saneamento para um desenvolvimento mais sustentável, socialmente justo e economicamente viável.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio obtido das seguintes instituições: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis), Instituto 17 (i17), Programa de Energia para o Brasil (BEP), em especial a engenheira Leidiane Ferronato Mariani, e, por fim, a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), em especial as engenheiras Bárbara Zaniccotti Leite Ross e Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa.

Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2011). NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários (2ª ed.). ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2018). NBR IEC 60079-10-1: Classificação de áreas – atmosferas explosivas (1ª ed.). ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Kaminski, G. F., Possetti, G. R. C., Mannich, M., Silva, F. O. M. E., Rietow, J. C.; Aisse, M. M., & Pujatti, J. F. (2021). Parte A: Avanços nas ferramentas e técnicas para estimativa de produção e tratamento de biogás em ETEs com reatores anaeróbios. Nota Técnica 5: Combustão direta de biogás em queimadores. Cadernos técnicos de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1(1), 47-58. https://www.abes-dn.org.br/pdf/cadernos/ESA_Notas_Parte_A_baixa1.pdf
- Lobato, L. C. S., Bressani-ribeiro, T., Silva, B. S., Flórez, C. A. D., Neves, P. N. P., & Chernicharo, C. A. L. (2018). Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 3: Gerenciamento de lodo e espuma. Revista DAE – edição especial, 66(214), 30-55. <http://doi.org/10.4322/dae.2018.040>
- Possetti, G. R. C., Rietow, J. C., Costa, F. J. O. G., Wagner, L. G., Lobato, L. C. S., Bressani-ribeiro, T., Melo, D. F., Reis, J. A., & Chernicharo C. A. L. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário – Parte 5: Biogás e emissões fugitivas de metano. Revista DAE – edição especial, 66(214), 73-89. <http://doi.org/10.4322/dae.2018.042>
- Possetti, G. R. C., Rietow, J. C., Lobato, L. C. S., & Aisse, M. M., & Chernicharo, C. A. L. (2021). Parte A: Avanços nas ferramentas e técnicas para estimativa de produção e tratamento de biogás em ETEs com reatores anaeróbios. Nota Técnica 2: Programa computacional de estimativa de produção de biogás em reatores UASB - ProBio 2.0. Cadernos técnicos de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1, 21-34. https://www.abes-dn.org.br/pdf/cadernos/ESA_Notas_Parte_A_baixa1.pdf
- Rietow, J. C., Possetti, G. R. C., Carneiro, C., & Aisse, M. M. (2021). Parte A: Avanço nas ferramentas e técnicas para estimativa de produção e tratamento de biogás em ETEs com reatores anaeróbios. Nota Técnica 6: Levantamento de riscos e classificação de atmosferas explosivas em ETEs com produção de biogás. Cadernos técnicos de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1, 75-86. https://www.abes-dn.org.br/pdf/cadernos/ESA_Notas_Parte_A_baixa1.pdf
- Silveira, B., Chernicharo, C. A. L., Cabral, C., Suidedos, C., Platzer, C., Silva, G., Possetti, G. R. C., Hoffmann, H., Moreira, H. C., Adamatti, H. B., Miki, M., Silva, M., Takahashi, R., Miki, R., Rosenfeldt, S., Araújo, V. S. F., Valente, V. B., & Villani, W. (2015). Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto / Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Brasília, DF: Ministério das Cidades. <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogas-guia-etes.pdf>