



ARTIGO CIENTÍFICO

Atividade Metanogênica Específica: Metodologias simplificada e automatizada para lodos de reatores anaeróbios

Specific Methanogenic Activity: Simplified and automated methodologies for sludge of anaerobic reactors

Ana Luiza Cordeiro¹; Débora Salomé Möller²; Joyce da Cruz Ferraz Dutra³; Ana Teresa Silva de Carvalho⁴; Claudio Leite de Souza⁵

Resumo: O teste da atividade metanogênica específica (AME) permite conhecimento sobre o potencial de lodos anaeróbios em digestão de material orgânico, no entanto, ainda não possui protocolo prático para o seu desenvolvimento mais disseminado nas Estações de Tratamento. O presente trabalho avaliou dois métodos de AME, um simplificado e outro automatizado. Em ambos métodos houve inoculação de lodo de reator anaeróbio, diluição com solução nutritiva e adição de substrato (acetato de sódio), em concentrações adequadas. Para o método simplificado foram utilizados frascos de antibiótico com medição manual da produção de biogás, por meio de seringa esmerilhada, e análise de metano via cromatografia. No método automatizado foi utilizado o equipamento AMPTS (Automatic Methane Potential Test System), o qual fornecia os resultados por meio de interface com software específico. Os resultados obtidos com o método simplificado foram mais coerentes ao esperado (valores em torno da faixa de 0,2 a 0,3 gDQOCH₄/gSV.d), confiáveis e de custo inferior, considerando todos os recursos materiais envolvidos, quando comparados com os obtidos com método automatizado (valores em torno de 0,1 gDQOCH₄/gSV.d). Além disso, verificou-se que novas praticidades podem ser implementadas.

Palavras-chave: AME; Biodigestor; Reator UASB; Resíduos alimentares; Esgoto doméstico.

Abstract: The test of specific methanogenic activity (SMA) allows knowledge about the potential of anaerobic sludge in the digestion of organic material, however, it does not yet have a practical protocol for its most widespread development in the Treatment Stations. The present work intends to make a comparison between two SMA methods, one simplified and one automated. In both methods there was inoculation of anaerobic reactor sludge, dilution with nutrient solution and addition of substrate (sodium acetate), in adequate concentrations. For the simplified method, antibiotic flasks were used with manual measurement of biogas production using a glass syringe and methane analysis via chromatography. In the automated method, the AMPTS (Automatic Methane Potential Test System) was used, which provided the results through interface with specific software. The results obtained with the simplified method were more coherent than expected (values around the range of 0.2 to 0.3 gDQOCH₄/gSV.d), reliable and of lower cost, considering all the material resources involved, when compared with the obtained with automated method (values around 0.1 gDQOCH₄/gSV.d). In addition, it has been found that new practices can be implemented.

Key words: SMA; Biodigestor; UASB reactor; Food waste; Domestic sewage.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 10/10/2018; aprovado em 07/11/2018

¹Pós-graduanda em Recuperação de Áreas Degradadas; Engenharia ambiental sanitária. Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais. Cidade: Belo Horizonte. Fone: (31) 99682-7111. E-mail: ambiental.cordeiro@gmail.com;

²Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos; Engenharia Ambiental. Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais, Cidade: Belo Horizonte. Fone: (31) 98765-0109. E-mail: deborasmoller@gmail.com;

³Mestre em Engenharia Agrícola. Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais. Cidade: Belo Horizonte. E-mail: joycedacruzerrazdutra@yahoo.com.br;

⁴Graduanda em Engenharia Civil Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais. Cidade: Belo Horizonte. E-mail: atscarv@gmail.com;

⁵Doutor em saneamento. Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais. Cidade: Belo Horizonte. Fone: (31) 997497687. E-mail: claudio@desa.ufmg.br



INTRODUÇÃO

Há crescente interesse no uso do biogás produzido no tratamento de resíduos sólidos e líquidos em sistemas de reatores anaeróbios. Isso porque o metano (CH₄), principal subproduto gasoso gerado nesses tratamentos, é um gás com elevado poder energético, podendo ser aproveitado para gerar energia elétrica, térmica ou uma combinação de ambas. Por outro lado, também pode ser de grande preocupação, se não adequadamente gerenciado, por ser um relevante gás de efeito estufa (BRASIL, 2017; POSSETTI et al., 2018).

A produção de biogás (CH₄ além de CO₂) ocorre por meio da digestão anaeróbia em reatores biológicos, particularmente na etapa final do processo, qual seja, a etapa metanogênica. Esse processo pode ser entendido como uma rota natural de mineralização da matéria orgânica, realizada por comunidade microbiana presente nos reatores de tratamento (CHERNICHARO, 2007; LETTINGA, 2014).

O efetivo controle da atividade dos microrganismos críticos que atuam no processo é uma vantagem que leva à maior eficiência e ao aperfeiçoamento dos sistemas. Neste sentido, visando conhecer melhor a capacidade máxima de produção de metano por lodos dos tratamentos anaeróbios, o teste de Atividade Metanogênica Específica (AME) permite, em escala laboratorial, medir a conversão máxima de substrato orgânico em metano a partir do lodo a ser testado. Porém, o teste de AME ainda não possui protocolo único e simples para sua execução, o que dificulta sua reprodutibilidade e comparação dos resultados obtidos, os quais são influenciados pelas variações nas condições empregadas (AQUINO et al., 2007; STEIL, 2007; MENOZZO et al., 2008; FLORENTINO et al., 2010; SCHNEIDERS et al., 2013).

Nesse contexto, a AME ainda é pouco utilizada em contextos práticos por ter relativa complexidade, não sendo empregado, por exemplo, nas inúmeras estações de tratamento de esgotos (ETEs) que utilizam reatores UASB como opção tecnológica principal. A seu turno, na medida em que a produção de biogás e metano efetivamente está começando a ser entendida como algo de interesse no tratamento, a tendência é haver maior necessidade de avaliar esse parâmetro de controle da atividade metanogênica (AQUINO et al., 2007, SOUTO et al., 2010).

Dessa forma, a AME poderá ser referência para manutenção de uma massa mínima de lodo que permita obtenção da produção esperada de biogás, podendo ser usada em contextos de partidas dos reatores e, sobretudo, no controle periódico de descartes do excesso de lodo produzido. Para isso, a necessidade da definição de uma metodologia padronizada e ao máximo simplificada se torna determinante, pois laboratórios e empresas de saneamento no Brasil não têm grandes recursos disponíveis para adquirir equipamentos caros e complexos, a exemplo daqueles importados e/ou automatizados (AQUINO et al., 2007; CHERNICHARO, 2007).

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi de comparar metodologias de Atividade Metanogênica Específica, sendo uma delas com introdução de inovações em termos de simplificações para o teste, na perspectiva do monitoramento do

potencial máximo de produção de metano de lodos anaeróbios no tratamento de esgotos e resíduos sólidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os lodos usados nos testes foram coletados em reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* – anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo) de tratamento de esgoto doméstico e biodigestores de resíduos sólidos alimentares, no primeiro semestre de 2018, na cidade de Belo Horizonte.

Os reatores UASB em escala piloto (350 L), denominados de R1 e R2, estão instalados no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) da UFMG em parceria com a COPASA (Companhia de Saneamento - MG), localizado na ETE Arrudas. As vazões de alimentação foram contínuas e constantes. Quanto ao biodigestor de resíduos alimentares (B1), este tem escala industrial (18,8 m³) e está instalado em plataforma experimental de metanização no Campus Pampulha, UFMG. Ele recebeu os resíduos alimentares produzidos no restaurante universitário, com alimentação em bateladas sequenciadas em 3 dias da semana.

As amostras de lodo foram coletadas nos pontos mais adequados, em termos de concentrações de sólidos, a partir dos registros de amostragem dos reatores. As mesmas foram analisadas conforme protocolo padrão para sólidos totais e voláteis (ST e SV). Em geral, as concentrações selecionadas para o teste apresentaram valores de sólidos voláteis próximos de 30 g/L.

Foram dois os métodos empregados para determinação da AME: o simplificado e o automatizado. No método simplificado, os frascos do tipo antibiótico tinham o monitoramento da produção de biogás, 2 vezes por dia, feito por meio de seringas de vidro esmerilhadas, de forma manual, com análise da composição do biogás em termos de CH₄ e CO₂ (%), via cromatógrafo Perkin Elmer (detector TCD e coluna empacotada carbowax).

No método automatizado, utilizou-se de equipamento denominado Automatic Methane Potential Test System (AMPTS), que mede continuamente (dentro da sensibilidade mínima do aparelho) a produção de metano, após frascos lavadores de CO₂, em cada linha de produção. Tal equipamento, de elevado custo de compra, apresenta a limitação máxima de somente 15 frascos por teste.

Os testes foram realizados em triplicatas, com duração de 3 a 4 dias. Para cada lodo, houve também triplicatas do tipo branco, sem adição de substrato orgânico (acetato de sódio), para desconto da produção inerente ao próprio lodo. Os resultados de produção de metano foram expressos em gramas de DQO (demanda química de oxigênio) por g de SV de lodo por dia (gDQOCH₄/gSV.d).

A Tabela 1 mostra as principais particularidades utilizadas no preparo e medições dos testes.

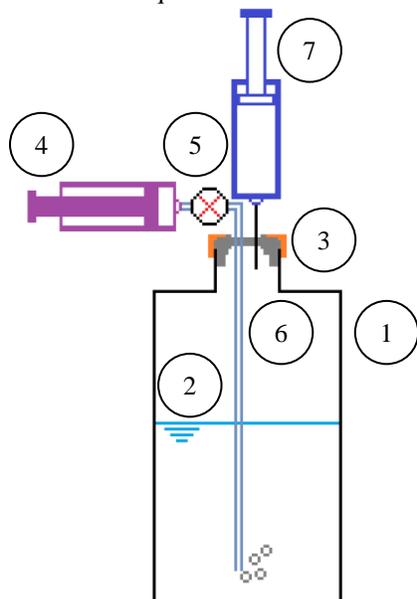
Tabela 1. Detalhes metodológicos dos testes AME: simplificado e automatizado.

Método AME	Critérios utilizados
Simplificado	- Frascos antibiótico 275 mL: volume útil de 120 mL. - Solução nutritiva/diluição: segundo Abreu e Araújo (2011). - Concentrações finais: 4,5 g/L SV (lodo) e 2 g/L (acetato). - Amostras incubadas e agitadas continuamente a 35°C e 125 rpm. - Análise do biogás quanto ao CH ₄ (%) por cromatografia gasosa (Perkin Elmer, detector TCD).
Automatizado	- Frascos AMPTS 600 mL: volume útil de 300 mL. - Solução nutritiva/diluição (Abreu e Araújo, 2011). - Concentrações finais: 4,5 g/L SV (lodo) e 2 g/L (acetato). - Amostras incubadas em banho maria a 35°C e agitadas por dispositivo eletromecânico do próprio AMPTS. - Análise do biogás quanto ao CH ₄ (%) por lavagem alcalina em frascos lavadores do próprio AMPTS.

Adicionalmente, foram feitos outros testes para buscar mais simplificações, de forma que seja possível torná-lo mais simples e de menor custo sua aplicação:

- Testes para avaliação da substituição da solução nutritiva (sintética) por esgoto bruto (solução nutritiva natural) da própria ETE, já que a solução sintética demanda grande quantidade de reagentes e procedimentos específicos. Para isso, foram realizados testes AME comparativos com ambas soluções nutritivas: sintética e natural.
- Testes de utilização da lavagem alcalina (NaOH, 3N) do biogás produzido nos frascos de antibiótico em substituição à análise via cromatografia gasosa. Assim, utilizou biogás coletado no próprio biodigestor (B1) para desenvolvimento dos testes. Assim, biogás e ar atmosférico natural foram injetados em muitas réplicas (17 testes), em diferentes dias, em frasco lavador simplificado conforme representado na Figura 1. Os volumes injetados foram de 5 e 10 mL. Após cada injeção, esperava-se 30 ou 60 s para o desenvolvimento da medição com seringa esmerilhada de vidro (20 mL) e válvulas plásticas para abre/fecha. O percentual resultante de metano era tão somente a divisão do volume injetado e recuperado com o biogás pelo volume injetado e recuperado com ar atmosférico natural (admitido como referência inercial). Assim, os percentuais obtidos foram comparados com os encontrados pela cromatografia gasosa.

Figura 1. Desenho esquemático do frasco lavador empregado para análise do percentual de metano.



Legenda:

- (1): frasco lavador - vol. ≈ 100 mL
- (2): solução lavadora - NaOH 3N
- (3): tampa de borracha e lacre de alumínio
- (4): seringa para injeção - 20 mL (plástico)
- (5): válvula abre/fecha (plástico)
- (6): tubo/mangueira passante na tampa e imerso na solução
- (7): seringa esmerilhada para medição - 20 mL (vidro)

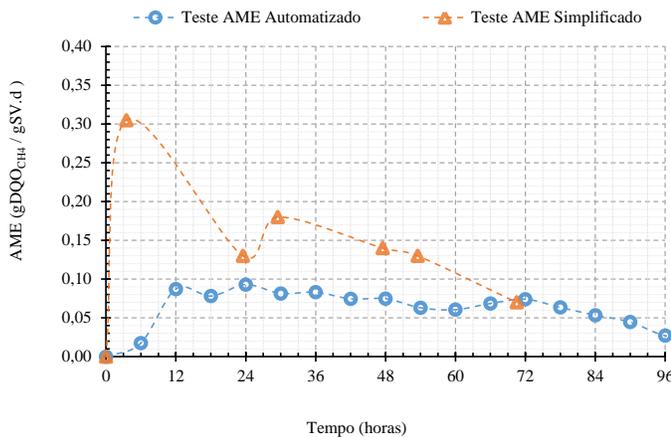
Fonte: Autores (2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta os resultados para o lodo do reator UASB R1. Verificou-se que, para o método automatizado, a AME máxima foi de 0,09 gDQOCH₄ /gSV.d, alcançada nas primeiras 24 horas de teste. Os demais valores se mantiveram

relativamente estáveis. Por sua vez, o método simplificado, diferentemente, obteve AME máxima de 0,30 gDQOCH₄/gSV.d, logo com 4 horas de teste. Em seguida os valores de atividade diminuíram bastante (para cerca de 0,15), mas ainda assim, ficando acima dos valores resultantes do teste automatizado.

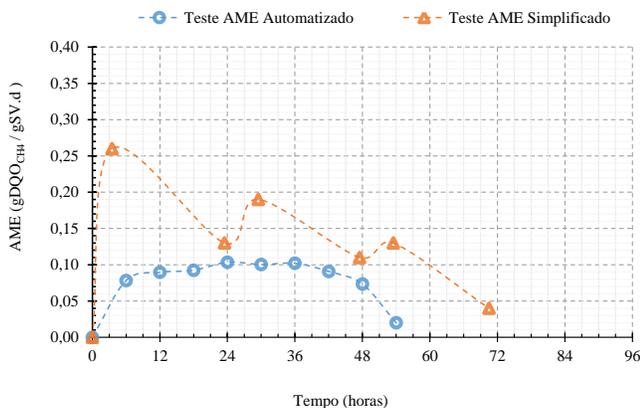
Figura 2. Séries temporais dos testes de Atividade Metanogênica Específica, métodos Automatizado e Simplificado, para o lodo do reator R1



A Figura 3 mostra os resultados de AME obtidos para o lodo do reator UASB R2. O valor máximo para o método automatizado foi de 0,10 gDQOCH₄/gSV.d, também alcançado com 24 horas de teste. Para o método simplificado obteve-se AME máxima de 0,26 gDQOCH₄/gSV.d, com 4 horas de teste.

Considera-se que, tipicamente, os valores esperados de AME para lodos anaeróbios de reatores UASB tratando esgoto doméstico seja dentro da faixa de 0,15 a 0,30 gDQOCH₄/gSV.d (DE PAULA, 2007; CHERNICHARO, 2007; LOBATO et al., 2018). Portanto, o método simplificado não só apresentou valores maiores para a AME, mas também mais dentro da expectativa técnica, apesar da simplificação da metodologia.

Figura 3. Séries temporais dos testes de Atividade Metanogênica Específica, métodos Automatizado e Simplificado, para o lodo do reator R2.

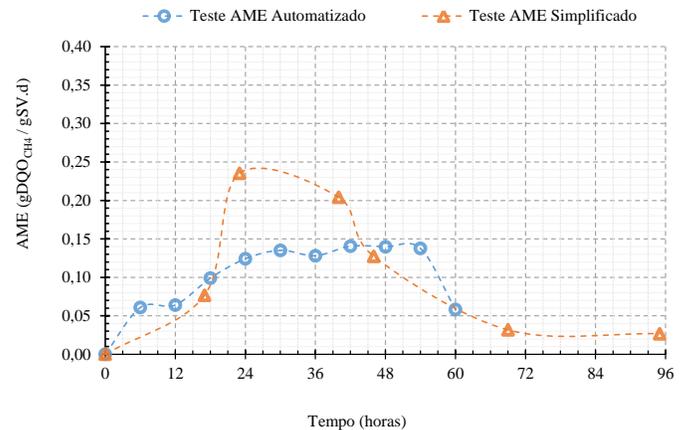


Os resultados para o lodo do biodigestor B1 estão apresentados na Figura 4. Verificou-se que, para o método automatizado, a AME máxima foi de 0,14 gDQOCH₄/gSV.d, dentro de 48 horas de teste. Por sua vez, para o método simplificado, com mesmo lodo, obteve-se um valor máximo de 0,23 gDQOCH₄/gSV.d, dentro de 24 horas. Diferentemente dos lodos dos reatores de esgoto doméstico, o lodo do biodigestor de resíduos alimentares teve valores de AME do teste

automatizado mais próximos dos obtidos para o teste simplificado, considerando toda a sua série temporal. Esse comportamento, possivelmente, tem relação com a atividade real menor desse lodo, em função da alimentação intermitente que ele recebe ao longo da semana, sendo normalmente na segunda, quarta e sexta, contra a alimentação contínua e constante para o lodo dos reatores UASBs.

Não se tem consolidação na literatura da faixa mais esperada de AME para lodo de biodigestores anaeróbios de resíduos alimentares, especialmente dentro dessa condição de alimentação com menores frequência e quantidade. Contudo, aplicando-se a mesma faixa para esgoto doméstico, 0,15 a 0,30 gDQOCH₄/gSV.d (DE PAULA, 2007; CHERNICHARO, 2007; LOBATO et al., 2018), pode-se constatar maior proximidade novamente para o teste simplificado.

Figura 4. Séries temporais dos testes de Atividade Metanogênica Específica, métodos Automatizado e Simplificado, para o lodo do biodigestor.



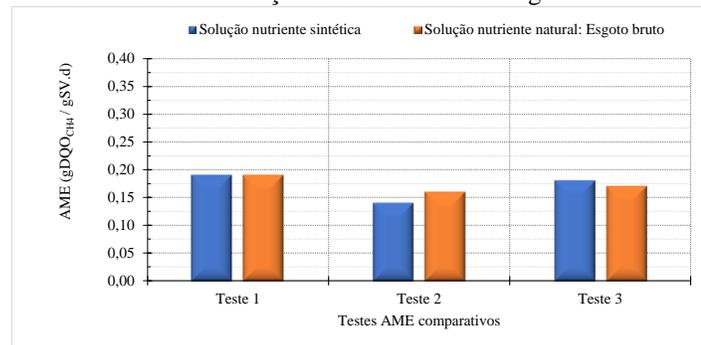
Em relação à simplificação adicional para o teste AME, particularmente, referente a não utilização de solução de nutrientes (macro e micro) sintética e sua substituição pelo próprio esgoto bruto afluente à ETE (solução nutriente natural), os resultados obtidos se mostraram muito positivos no sentido dessa praticidade. Conforme mostra Figura 5, dos 3 testes realizados, com lodos dos reatores UASB, os valores médios obtidos para a máxima AME foram, respectivamente, para solução de nutriente e esgoto bruto: 0,19 / 0,14 / 0,18 gDQOCH₄/gSV.d e 0,19 / 0,16 / 0,17 gDQOCH₄/gSV.d.

Portanto, as médias de cada grupo de 3 determinações foram muito próximas a 0,17 e inclusive próximas dos valores esperados para esse tipo de lodo, como discutido anteriormente, no contexto de reatores UASB tratando esgoto doméstico, em torno da faixa de 0,15 a 0,30 gDQOCH₄/gSV.d (DE PAULA, 2007; CHERNICHARO, 2007; LOBATO et al., 2018). Com isso, os resultados mostram ser válida a simplificação nos casos práticos.

Quanto aos testes comparativos entre análises de percentual metano via lavagem alcalina e via instrumental, foram feitas muitas repetições, ao todo 17, com variações de pessoa, amostra, volume e tempo de lavagem. No geral, as dispersões dos dados (desvios padrões) foram baixas, com maior valor de aproximadamente 12% (coeficiente de variação

relativo à média). Observou-se que todas as pessoas envolvidas conseguiram desenvolver bem a análise, demonstrando a simplicidade do procedimento, com erros percentuais relativos aceitáveis, em torno de 10% (comparativamente ao instrumental). No que diz respeito às variáveis volume de injeção e tempo de lavagem, não se observou diferença substancial entre os volumes 5 e 10 mL e tempos de 30 e 60 s. Portanto, conclui-se com a indicação do volume de 5 mL e tempo de 30 s, na medida em que simplifica e possibilita análise mesmo com volumes menores. Contudo, sua aplicação deve ser precedida das devidas calibrações e cuidados de vedações no frasco lavador (sugere-se frasco de antibiótico de 100 mL, dotados de tampas de borracha e lacres de alumínio).

Figura 5. Comparação dos valores de Atividade Metanogênica Específica em 3 testes comparativos utilizando solução nutriente sintética e solução nutriente natural: Esgoto bruto.



CONCLUSÕES

A metodologia simplificada de atividade metanogênica específica é indicada para lodos de reatores anaeróbios, tendo em vista que o método simplificado foi mais coerente, confiável e de custo inferior. Além disso, tem possibilidade de implementação de simplificações adicionais, quais sejam, o uso de esgoto bruto como solução nutriente natural e a análise do percentual de metano pelo método de lavagem em solução alcalina.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG; Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto - INCT ETEs Sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ABREU, E. F.; ARAÚJO, J. C. Ensaio de Atividade Metanogênica Específica (AME) para Lodos Anaeróbios. Procedimento Operacional Padrão. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/ UFMG. PROSAB: Microbiologia para o Saneamento Ambiental, 2011. 27p.

AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; SANTOS, M. L. F.; MONTEGGIA, L. O. Metodologias para determinação da atividade metanogênica Específica (AME) em Lodos Anaeróbios. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. v.12, n.2, p.192-201, 2007.

BRASIL. Ministério das Cidades. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. 2 ed. Brasília, Distrito Federal, 2017. 183 p.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. 2. ed. v.5, Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007. 379 p.

DE PAULA, F. S. Influência de Aspectos Hidráulicos na Otimização de Parâmetros de Projeto de Reatores UASB Tratando Esgotos Domésticos. 2007. 123f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

LETTINGA G. My Anaerobic Sustainability Story. Lettinga Foundation, 2014. 200p.

LOBATO, L. C. S., BRESSANI-RIBEIRO, T., SILVA, B. S., FLÓREZ, C. A. D., NEVES, P. N. P., CHERNICHARO, C. A. L. 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, v. 66, n. 214, p. 30-55, 2018.

MENOZZO, G. F.; KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R. Determinação da atividade metanogênica específica (AME) de lodo de reator UASB operado em escala piloto. 31^a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química (SBQ), Águas de Lindóia, SP, 2008.

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, v. 66, n. 214, p. 73-89, 2018.

SCHNEIDERS, D.; SILVA, J. D.; TILL, A.; LAPA, K. R.; PINHEIRO, A. Atividade metanogênica específica (AME) de lodos industriais provenientes do tratamento biológico aeróbio e anaeróbio. Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v. 8, n.2, 2013.

SOUTO, T. F.; AQUINO, S. F.; SILVA, S. Q.; CHERNICHARO, C. A. L. Influence of incubation conditions on the specific methanogenic activity test. Biodegradation, v.21, p.411–424, 2010.

FLORENTINO, H. O.; BISCARO, A. F. V.; PASSOS, J. R. S. Funções sigmóides aplicadas na determinação da atividade metanogênica específica - AME. Rev. Bras. Biom.v.28, n.1, p. 141-150, 2010.

STEIL, L. Avaliação da atividade microbiana anaeróbia metanogênica na lagoa de estabilização anaeróbia da estação de tratamento de esgotos sanitários do município de Cajati, Vale do Ribeira de Iguape, Estado de São Paulo. 2007. 291f. Tese (Programa de pós graduação e área de concentração em hidráulica e saneamento) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.