

II-054 - TRATAMENTO DE ESGOTO SANITARIO EM REATOR ANAERÓBIO HÍBRIDO

Dayane de Andrade Lima⁽¹⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE). Técnica em Meio Ambiente pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE). Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Doutoranda em Engenharia Civil - Saneamento pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Jéssyca de Freitas Lima⁽²⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE). Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Doutoranda em Engenharia Civil - Saneamento pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Gleyton Leonel Silva Sousa⁽³⁾

Graduando em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Israel Nunes Henrique⁽⁴⁾

Químico Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo PRODEMA (UEPB/UFPB). Doutor em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Pós Doutorado pelo Edital 028/PNPD/CNPq. Professor da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).

José Tavares de Sousa⁽⁵⁾

Engenheiro Químico Pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental Pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professor da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Endereço⁽¹⁾: Rua Armando Oliveira, 200 – CS 24 - Parquelândia - Fortaleza - CE- CEP: 60.450-060 - Brasil - Tel: (88) 9983-9406 - e-mail: dayane_eld@hotmail.com

RESUMO

O lançamento indiscriminado de esgoto sem tratamento em corpos hídricos causam diversos impactos ao meio ambiente, sendo necessário o tratamento desses esgotos para reduzir os impactos que estes causam. O emprego de tratamentos anaeróbios tem ganhado destaque no Brasil nos últimos anos. Os sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos apresentam diversas vantagens, como economia no processo, simplicidade operacional, baixa produção de lodo excedente com lodo estabilizado e requer menores áreas para implantação. Este estudo avaliou o desempenho de um reator anaeróbio híbrido (UAHB) no tratamento de esgoto sanitário quanto à remoção de sólidos em suspensão e material carbonáceo. O sistema híbrido era composto de um reator UASB na parte inferior acoplado a um filtro anaeróbio na parte superior. O processo de alimentação foi de fluxo ascendente onde o esgoto entra na parte inferior passando primeiramente pelo UASB que tem uma manta de lodo disperso e em seguida por um filtro anaeróbio com formação de lodo aderido em poliuretano. O tempo de detenção hidráulica usado foi de seis horas para UASB e de cinco horas e meia para o filtro anaeróbio, totalizando um TDH de onze horas e meia. O reator foi alimentado com esgoto municipal originário do sistema de esgotamento sanitário da cidade de Campina Grande – PB. O desempenho do UAHB foi calculado a partir da concentração de material carbonáceo afluente e efluente, o efluente tratado no UASB e no filtro anaeróbio, foram analisados para verificar se o filtro conseguiria potencializar a remoção sólidos em suspensão e de material carbonáceo, a partir do parâmetro DQO – Demanda de Química de Oxigênio. O reator híbrido proporcionou considerável eficiência de remoção de matéria orgânica (77%), sendo 60% no UASB e 17% no filtro anaeróbio. Apresentou boa eficiência de remoção de sólidos sendo 21% de ST e 38% de remoção de STV, as remoções de SST e SSV foram de 88%. Com os resultados encontrados pode-se considerar o reator híbrido como uma boa tecnologia para remover maiores quantidades de sólidos em suspensão e matéria orgânica, resultando em um efluente com baixa turbidez.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento Anaeróbio, Reator Híbrido, Material Carbonáceo.

INTRODUÇÃO

Estudos atuais demonstram que tratamentos biológicos de águas residuárias têm focado em alternativas que promovam o pós-tratamento e que busquem por sistemas compactos, unindo diferentes tipos de tratamentos biológicos, o que resulta em eficiência maior do que aquelas obtidas com o uso de cada uma delas separadamente, são obtidos melhores resultados com diminuições das falhas individuais de cada tecnologia, de forma que a desvantagem de um processo pode ser aproveitada como vantagem para o outro. Com isso, é indicado o uso de reatores anaeróbios associados a outras tecnologias, com a finalidade de promover um sistema mais eficiente para tratar águas residuárias domésticas (FORESTI *et al.*, 2006).

Reatores anaeróbios híbridos têm sido aplicados no tratamento de uma ampla variedade de águas residuais industriais, com elevadas cargas orgânicas, incluindo produtos lácteos, farmacêuticos, efluentes de matadouro, águas residuais oleosas e de mandioca usadas na produção do amido (TAWFIK & EL-KAMAH, 2012).

Um reator anaeróbio híbrido é qualquer reator originário da mistura de duas ou mais concepções de reatores anaeróbios. Um exemplo comum é a combinação de um reator UASB na parte inferior e um filtro anaeróbio na parte superior. Estes tipos de reatores possuem parte de seu volume preenchido com meio suporte que deve ser de materiais inertes, como espuma ou anéis de plásticos, com fins de retenção de biomassa microbiana (FERNANDEZ *et al.*, 2001).

Os sistemas híbridos constituem uma tecnologia relativamente nova no tratamento de esgotos e tem alcançando aceitação mundial. Estes utilizam processos modernos combinando duas tecnologias para o tratamento de efluentes: a tecnologia dos reatores UASB e dos filtros anaeróbios, que pode ser opção preferencial no tratamento de diversos efluentes (ØDEGAARDE, 2006).

O reator anaeróbio híbrido (RAH) procura combinar as vantagens do UASB e do filtro anaeróbio em um único reator e reduzir as desvantagens destes reatores quando funcionam separadamente. Nesse contexto o presente trabalho visa avaliar o desempenho do reator anaeróbio híbrido (RAH) na remoção de sólidos suspensos e material carbonáceo, expresso em DQO.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi instalado e monitorado Reator Anaeróbio Híbrido (RAH) em escala de bancada. O sistema experimental foi operado numa área pertencente à Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), nas instalações físicas da Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários - EXTRABES - Campina Grande – PB.

Reator Anaeróbio Híbrido – RAH

O Reator Anaeróbio Híbrido foi construído em tubos PVC com diâmetro de 0,2 m e altura de 2,0 m. A parte que compreendia o UASB tinha um volume útil de 27 litros e foi operado com um Tempo de Detenção Hidráulico - TDH de 6 horas, o filtro anaeróbio era conjugado ao UASB, tendo um volume de 25 litros e um TDH de 5,5 horas, o filtro era recheado com meio suporte que consistia cubos de esponja de poliuretano com aresta de 0,03 m e ocupavam 0,7 m da altura do filtro; este suporte apresenta volume de vazios de aproximadamente 97%. O volume total do RAH era 52 litros, operado com um TDH total de 11,5 horas tratando 108 litros por dia. Na Figura 2 encontra-se a foto e um esquema da estrutura do sistema dimensionado e projetada em escala de bancada.

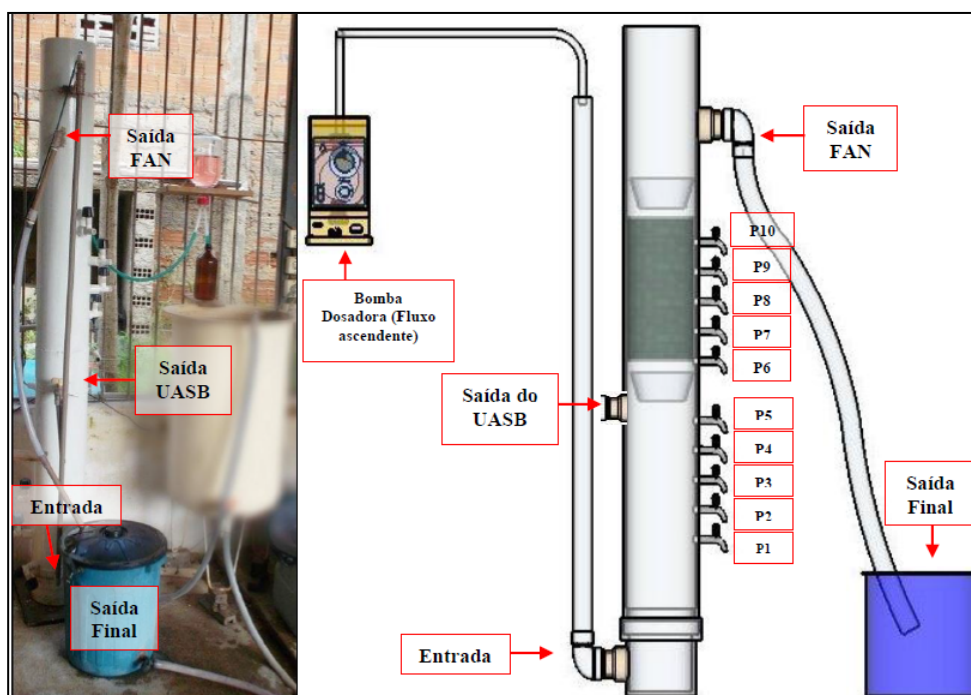


Figura 1: Reator Anaeróbio Híbrido – RAH

A alimentação foi realizada com bomba dosadora que manteve o fluxo contínuo ascendente, adentrando a parte que correspondia ao reator UASB, havia uma torneira de saída no UASB pela qual era possível retirar amostras, a saída do efluente final tratado ocorria pela parte superior após o FAN, possibilitando avaliar o desempenho do reator nas diferentes seções. Da mesma forma foram alocadas dez torneiras usadas como pontos de amostragem possibilitando quantificar o crescimento do lodo disperso (UASB) e aderido (FAN) que compõem o RAH.

O inóculo utilizado na partida do sistema foi lodo anaeróbio, 6,5 litros de lodo com biomassa contendo as seguintes concentrações: 48 gST.L-1 e 28 gSVT.L-1 respectivamente. O lodo usado como inóculo foi proveniente de um reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*).

Meio Suporte

O meio suporte utilizado para rechear o reator híbrido foi esponja de fibra sintética abrasiva que tinha função ser suporte para formação de biofilme microbiano. Essa esponja foi cortada em forma de cubos com arestas de 0,03 m e foi acomodado num sustentáculo perfurado com poros de diâmetro de 0,01 m (Figura 3). Foram inseridos 960 cubos de esponja no interior do reator. Essas esponjas foram usadas no recheio do filtro anaeróbio que tinha uma altura de 0,7 m.



Figura 2: Sustentáculo e esponjas sintética cortadas utilizadas como meio suporte no RAH.

Métodos Analíticos

Ocorridos 15 dias após a partida com inóculo do reator, iniciou-se à fase de monitoramento do desempenho do RAH. Foram realizadas semanalmente análises dos parâmetros listados na Tabela 1. Essas análises foram realizadas no afluente da parte que compreendia o UASB e para o filtro anaeróbio

Tabela 1: Parâmetros analisados no acompanhamento do desempenho do reator, métodos e referências.

Variáveis	Métodos Analíticos	Referência
DQO (mg.L ⁻¹)	Titulométrico Refluxação Fechada	5220 C. / APHA et al. (2012)
*ST (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	2540 E. / APHA et al. (2012)
*SV (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	2540 E. / APHA et al. (2012)
*SST (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	2540 E. / APHA et al. (2012)
*SSV (mg.L ⁻¹)	Gravimétrico	2540 E. / APHA et al. (2012)
pH (-)	Potenciométrico	4500 / APHA et al. (2012)
Alcalinidade Total (mg.L ⁻¹)	Kapp	BUCHAUER (1998)

*DQO – Demanda Química de Oxigênio; N-NH₄⁺ – Nitrogênio amoniacal; N-NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl; ST – Sólidos Totais; SV – Sólidos Voláteis; SST – Sólidos Suspensos Totais; SSV – Sólidos Suspensos Voláteis.

RESULTADOS DISCUSSÃO

Desempenho do reator anaeróbio híbrido – RAH

Nesse tópico serão apresentados e discutidos os resultados obtidos no desempenho do RAH na remoção de material carbonáceo e de sólidos totais e suspensos, assim como o comportamento do pH e alcalinidade.

Material Carbonáceo

Na Figura 3 encontram-se os resultados da DQO bruta e filtrada para o Esgoto Bruto – EB (esgoto sanitário), para o ponto de coleta do UASB e Filtro Anaeróbio – FAN. O gráfico foi plotados usando 34 dados para esse parâmetro, coletados com frequência semanal. Pode-se observar que o esgoto bruto se apresentou muito inconstante em suas concentrações de material carbonáceo apesar da constante agitação, essas variações estão associadas em partes à sedimentação do esgoto na caixa de alimentação. A concentração média de DQO total foi de 490±154mgO₂.L⁻¹, valor próximo ao considerando como esgoto doméstico médio (METCALF & EDDY, 2003).

Observa-se no período de operação que nas partes constituintes do RAH (UASB+ FAN), apresentaram boa eficiência na remoção de matéria orgânica. A adição do inóculo na partida do reator possibilitou a constante eficiência e a obtenção de dados com pouca variação, atribuída à presença de população bacteriana desde o início da operação para a realização dos processos necessários à digestão anaeróbia (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

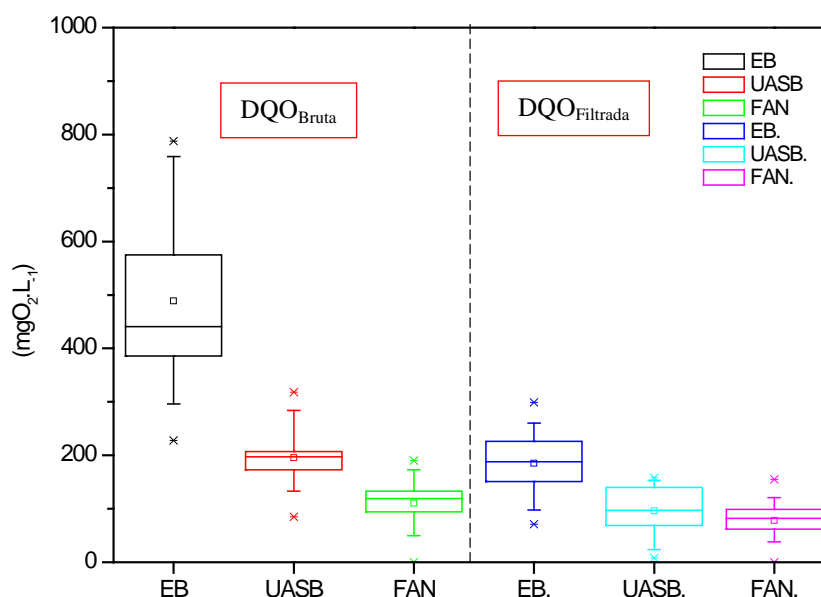


Figura 3: Comportamento de material carbonáceo no RAH.

As análises de DQO afluente e efluente foram realizadas semanalmente, visando acompanhar a estabilidade do RAH. Foi feita uma avaliação quanto à eficiência de remoção frente às cargas que cada parte que do reator (UASB+FAN) recebiam separadamente.

A eficiência do RAH foi calculada a partir da concentração de material carbonáceo afluente e efluente. Os efluentes do UASB e do FAN, foram analisados separadamente para verificar se o FAN sobreposto após o UASB conseguiria potencializar o desempenho do reator. Os resultados mostraram remoção de 60% do material carbonáceo no UASB e de 43% no FAN, essa remoção no FAN refere-se à carga que o mesmo recebia sendo essa advinda do efluente do UASB que já se encontrava digerida com cargas de material carbonáceo reduzidas. Dessa forma, considerando a DQO de entrada (EB), o FAN atingiu remoção de 17%, que totaliza uma remoção de 77% no RAH. Para sistemas anaeróbios essa remoção é bastante significativa.

A concentração de DQO no efluente do FAN apresentou pequenas variações com uma DQO média de $114 \pm 36 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, pode-se considerar esse material remanescente como uma DQO recalcitrante de difícil degradação por digestão anaeróbia. Pimenta (2005) tratando esgoto sanitário em reator híbrido com tempo de detenção hidráulica em torno de 10 horas, obteve valor efluente com DQO média de $108 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$.

Quanto as remoções da DQO filtrada o reator UASB conseguiu remover 48%, apresentando concentrações de $96 \pm \text{mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, enquanto o FAN produziu efluente com concentração média $80 \pm 29 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, com eficiência adicional de 9%, totalizando uma remoção de DQO filtrada de 57%. O FAN apresenta pouca variação de eficiência, pois a aderência do biofilme ao meio suporte permitiu uma maior estabilidade da biomassa.

Sólidos Totais e Suspensos

Nas Figura 4 e 5 são apresentados os resultados do desempenho do RAH na remoção de Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), para o Esgoto Bruto – EB, afluentes e efluentes do UASB e Filtro Anaeróbio – FAN.

A remoção de sólidos totais foi baixa, em torno de 21%, estando distribuída em 16% no UASB e 5% no FAN. Uma explicação para essa baixa remoção é que as maiores frações dos sólidos de efluentes anaeróbios correspondem a sólidos fixos. Os sólidos totais voláteis tiveram remoção de 38%, sendo 21% no UASB e 17% no FAN.

A eficiência do reator híbrido na remoção dos sólidos suspensos totais e sólidos suspensos voláteis mostrou-se elevadas atingindo 88%, para ambas as frações. O EB apresentou concentrações de $179 \pm 76 \text{ mgSST.L}^{-1}$ e $146 \pm 74 \text{ mgSSV.L}^{-1}$. O UASB removeu 63% de SST e 66% de SSV, essa eficiência é referente a concentrações médias $67 \pm 37 \text{ mgSST.L}^{-1}$ e $49 \pm 31 \text{ mgSSV.L}^{-1}$. O FAN apresentou as seguintes concentrações de sólidos no efluente, $22 \pm 12 \text{ mgSST.L}^{-1}$ e $17 \pm 10 \text{ mgSSV.L}^{-1}$, as remoções no filtro anaeróbio foram de 25% de SST e de 22% SSV.

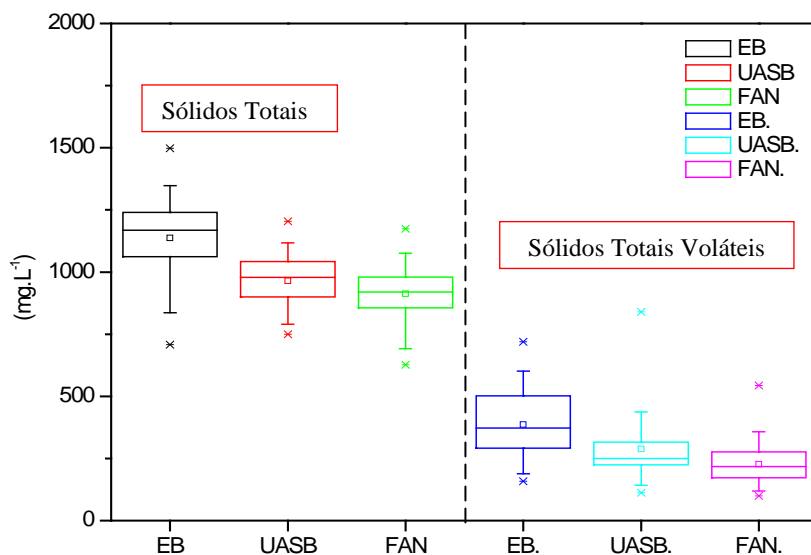


Figura 4: Comportamento dos sólidos totais e dos sólidos totais voláteis no RAH.

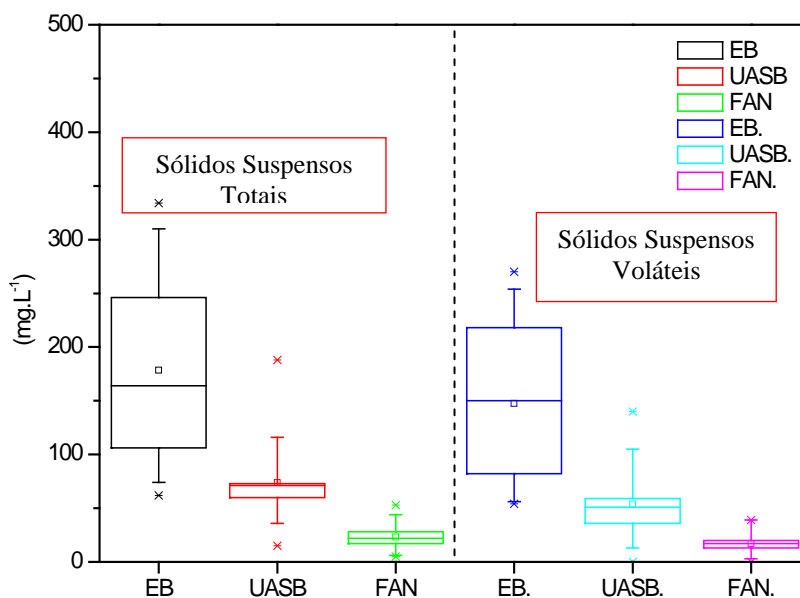


Figura 5: Comportamento dos sólidos suspensos totais e dos sólidos suspensos voláteis no RAH.

Utilizando reator UASB no tratamento de esgoto doméstico, Silva *et al.*, (2012) encontraram concentrações de SS de $230 \pm 86 \text{ mg.L}^{-1}$ no afluente, a remoção foi em torno de 61% de SS, produzindo efluente com concentrações de $88 \pm 26 \text{ mgSS.L}^{-1}$. Resultados similares foram encontrados nesta pesquisa, conforme Figura 5.

Tawfik *et al.*, (2012), trabalhando com reator anaeróbio híbrido tratando efluentes da indústria de sucos de frutas conseguiram remoção de SST média de 56,4%. Gonçalves (2012), monitorando reator anaeróbio híbrido obteve concentrações efluente de $17 \pm 13 \text{ mgSSV.L}^{-1}$ no tratamento de águas residuárias da suinocultura. A partir desses resultados pode-se considerar o RAH como uma boa tecnologia para remover sólidos em suspensão. Pimenta *et al.*, (2005) utilizaram reator anaeróbio híbrido tratando esgoto sanitário e o efluente produzido pelo reator, continha valores abaixo de 30 mgSSV.L^{-1} , valores idênticos aos encontrados na presente pesquisa no efluente do reator híbrido que foi $22 \pm 12 \text{ mgSST.L}^{-1}$ e $17 \pm 10 \text{ mgSSV.L}^{-1}$.

pH e Alcalinidade

Esses fatores são interligados por uma relação importante, de modo a manter o bom funcionamento dos processos de conversão anaeróbia, garantindo situação propícia aos microrganismos responsáveis pelos processos de digestão. O controle de pH objetiva principalmente a eliminação do risco de inibição dos microrganismos metanogênicos. Na Figura 6 são apresentados os resultados do comportamento do pH e da alcalinidade, durante o período experimental.

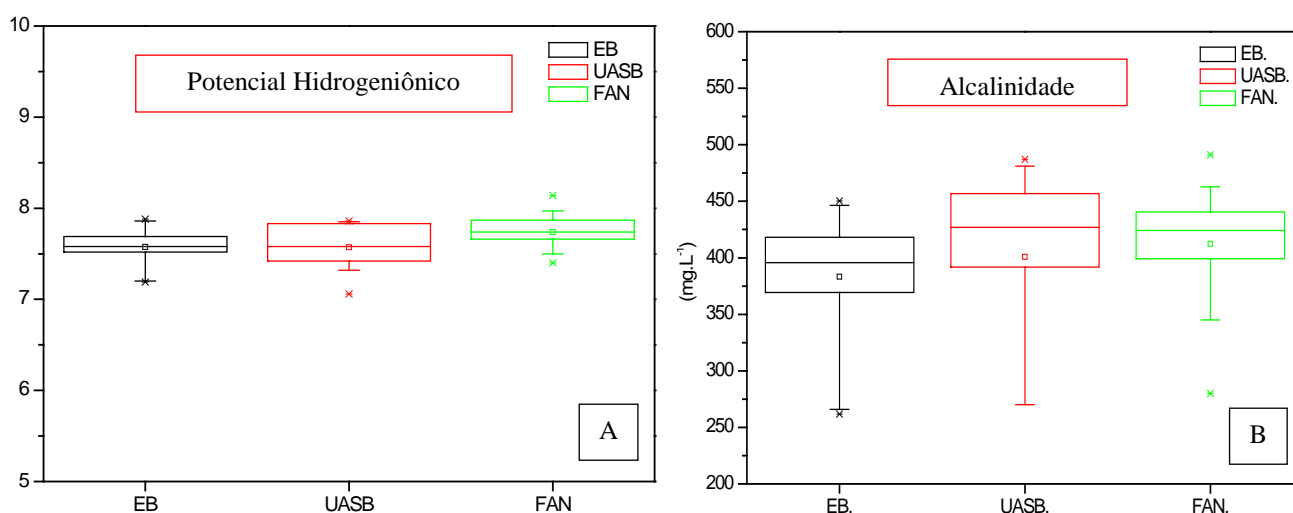


Figura 6: Comportamento do pH (A) e da Alcalinidade no RAH (B).

A verificação do pH é tão importante quanto a de alcalinidade no acompanhamento de sistemas anaeróbios, sendo que as reduções nos valores do pH, ainda que sutis, implicam no consumo de alcalinidade, diminuindo desta forma a capacidade de tamponamento do meio. Na digestão anaeróbia, o íon bicarbonato (HCO_3^-) é a espécie mais importante que contribui para a alcalinidade (PEREIRA *et al.*, 2009).

A alcalinidade na digestão anaeróbia auxilia o equilíbrio do sistema, conferindo capacidade tampão ao meio, apesar da produção dos ácidos graxos voláteis decorrentes da hidrólise e acidogênese. Caso não haja concentração de alcalinizante suficiente, o pH pode diminuir a níveis tais de modo a inibir o processo de digestão anaeróbia. O processo dependente da alcalinidade e AGV é dinâmico, de modo que é preciso uma interação entre as quantidades de AGV produzidos, bem como de alcalinidade suficiente para neutralizar esses AGV.

Van Haandel e Lettinga (1994) confirmam que a atividade metanogênica ocorre em uma faixa de pH entre 6,3 a 7,8. Essas afirmações demonstram que os valores de pH nos efluentes do UASB e FAN mantiveram-se dentro da faixa recomendada para favorecer o crescimento dos microrganismos metanogênicos, não sendo um fator inibitório para o processo de digestão anaeróbia. Além disso, como houve tendência sensível ao aumento

do pH no efluente do FAN, pode-se afirmar que esse aumento deve-se a geração de alcalinidade bicarbonato. Valores acima de 8,3 e inferiores a 6,0 podem ser prejudiciais às arqueas metanogênicas, devendo ser evitados, considerando que a disponibilidade de alcalinidade no meio é essencial para neutralizar os ácidos gerados na digestão anaeróbia e tamponar o meio, caso ocorra acúmulo de ácidos voláteis (CAMPOS *et al*, 2006; CHERNICHARO, 2007).

Conforme a Figura 6A a alcalinidade total do EB manteve-se com média de $363\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, e os efluentes do UASB e FAN mantiveram-se com médias de 394 e $391\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, respectivamente. Esses resultados indicam que houve produção de alcalinidade total no efluente dos sistemas anaeróbios. Essa produção é importante para a estabilidade operacional dos sistemas, uma vez que evita que o pH sofra variações bruscas. Van Haandel e Lettinga (1994) afirmam que este aumento da alcalinidade acontece devido ao processo de amonificação, cada mol de amônia amonificado produz 50g de alcalinidade.

CONCLUSÕES

A configuração híbrida apresentou bom desempenho com significativa eficiência de remoção de matéria orgânica (77%), expressa em DQO distribuída em 60% no UASB e 17% no filtro anaeróbio. O RAH apresentou boa eficiência de remoção de sólidos no reator com valores de 21% de ST e 38% de eficiência de remoção de STV e remoções de SST e SSV de 88%. O RAH apresentou boa capacidade de amortecimento e remoções satisfatórias de sólidos. O pH manteve-se constante tanto para o esgoto bruto como nos efluentes dos UASB e FAN isso é característico da alcalinidade elevada que tampona o pH.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, A. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater., 21 Ed., Washington, D.C. 2005.
2. CAMPOS, C. M. M.; CARMO, F. R. DO; BOTELHO, C. G.; COSTA, C. C. da; Development and operation of an upflow anaerobic sludge blanket reactor (UASB) treating liquid effluent from swine manure in laboratory scale. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, v. 30, p. 140-147, 2006.
3. CHERNICHARO, C.A.L. Reatores Anaeróbios: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. 2ª ed, volume 5. Belo Horizonte – DESA –UFMG, 2007.
4. FERNANDEZ, J. M.; OMIL, F.; MENDEZ, R.; LEMA, J. Anaerobic Treatment of Fibreboard Manufacturing Wastewaters in a Pilot Scale Hybrid USBF Reactor. *Water Research*, v. 35, n. 17, p. 4150–4158, 2001.
5. FORESTI, E.; ZAIAT, M.; VALLERO, M. Anaerobic processes as the core technology for sustainable domestic wastewater treatment: Consolidated applications, new trends, perspectives, and challenges. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 2006.
6. GONÇALVES, G. V. Desempenho de reator anaeróbio híbrido no tratamento de águas residuárias de suinocultura. Dissertação. Viçosa – MG; UFV, 22 p. 2012.
7. METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse. 4a ed., McGraw-Hill, New York, USA, p.1334, 2003.
8. ØDEGAARD, H. Innovations in Wastewater Treatment: the Moving Bed Biofilm Process. *Water Science and Technology*, v. 53, n. 9, p. 17-33, 2006.
9. PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 157-168, 2009.
10. PIMENTA, M., KATO, M.T., GAVAZZA, S., FLORENCIO, L. Desempenho de reatores piloto tipo UASB e híbrido para o tratamento de esgoto doméstico. In: XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Anais eletrônicos. Campo Grande: ABES, 2005.
11. SILVA, G. G.; NAVAL, L. P.; RIOS, R.F.M.; PEDROZA, M. M. Biofiltro anaeróbio utilizado no pós-tratamento de efluentes de reator UASB – um estudo em escala real. *Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*. v. 5, n. 3, p. 39-50, 2012.
12. TAWFIK, A. EL-KAMAH, HTreatment of fruit-juice industry wastewater in a two-stage anaerobic hybrid (AH) reactor system followed by a sequencing batch reactor (SBR), *Environmental Technology*, 33:4, 429-436, 2012.
13. VAN HAANDEL, A. C. & LETTINGA, G. Tratamento de lodos. In: Tratamento anaeróbio de esgotos, um manual para regiões de clima quente. Campina Grande, Paraíba, cap.6. 1994.