

131 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA REATOR ANAERÓBIO DE MANTO DE LODO MODIFICADO INTEGRADO A PROCESSO DE LODO ATIVADO TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO

Patrícia Beatriz Baréa⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Mestranda no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) pela UFPR.

Bárbara Rosa de Azevedo⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Química pela UFPR. Participante do Programa de Iniciação Científica da UFPR.

Bárbara Zanicotti Leite Ross⁽²⁾

Pesquisadora da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). Engenheira de Alimentos pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), mestre em Tecnologia Química pela UFPR e doutora pelo PPGERHA da UFPR.

Bruno Pessotto⁽³⁾

Engenheiro Sanitário e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP).

Miguel Mansur Aisse⁽¹⁾

Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da USP e Professor Permanente do PPGERHA da UFPR.

Endereço⁽¹⁾: PPGERHA – UFPR. Centro Politécnico – Bloco V – Primeiro andar – Jd. das Américas – Curitiba – Paraná – CEP: 81.531.990 – Tel: +55 (41) 3361-3144 – E-mail: barea.patricia@gmail.com

RESUMO

O reator anaeróbio tem grande aplicação no tratamento de esgotos sanitários, porém precisa de pós-tratamento para atingir os padrões de lançamento, podendo utilizar o sistema de lodos ativados. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho do equipamento piloto composto por reator anaeróbio integrado a sistema de lodos ativados. Empregou-se esgoto sanitário afluente à uma ETE, que após passar pelo tratamento preliminar, tem uma parcela encaminhada ao equipamento piloto. Para avaliação do desempenho deste utilizaram-se dados referentes à: caracterização do esgoto bruto, lodo inoculado no compartimento anaeróbio, além das análises de parâmetros físico-químicos das amostras de diferentes pontos do equipamento. O esgoto bruto apresentou valores de caracterização inferiores ao reportado na literatura. A análise de Atividade Metanogênica do Lodo (AME) no lodo inoculado resultou no valor de $0,531 \text{ gDQO}_{\text{CH}_4} \cdot \text{gSTV}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$. Os resultados do monitoramento com relação à eficiência foram: para a peneira 26,5% e 24,4%, respectivamente para a DBO e DQO, comparáveis com um Decantador Primário; no reator anaeróbio 54,3% para DBO, 41,7% para DQO e 56,9% para SST; no sistema de lodos ativados 56,3%, 65,6% e 67,5% para DBO, DQO e SST respectivamente. Por fim, a eficiência global do sistema resultou em 64,1% e 55,1% para DBO e DQO.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio da AME; Tratamento Biológico; Velocidade Ascensional.

INTRODUÇÃO

O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) foi desenvolvido na Holanda por Lettinga e colaboradores, mas começou a ser utilizado para o tratamento de efluente doméstico no início da década de 1980. Ele é um tipo de reator anaeróbio. A sua grande aplicação pode ser atribuída a algumas características como a alta concentração de biomassa no reator, o que propicia alto tempo de detenção celular; desenvolvimento de grânulos ou lodo denso, composto por diferentes grupos de microrganismos, responsáveis pela transformação de matéria orgânica em metano e dióxido de carbono; baixa necessidade de nutrientes; baixa produção de lodo; alta estabilidade em resposta a flutuações no afluente e baixo consumo de energia elétrica (Foresti, 2002; Chernicharo *et al*, 2015).

Como exemplos de países que utilizam esta tecnologia podem ser citados Brasil, México, Colômbia, Cuba, Uruguai, Índia, entre outros (Foresti, 2002; Chernicharo *et al*, 2015). No Brasil, segundo levantamento do Atlas Esgotos (Brasil, 2017), são encontradas 328 estações de tratamento de esgoto (ETE) que contam com reatores anaeróbios tipo UASB como principal processo. No Paraná são 258 ETES operadas pela Sanepar que adotaram esta técnica para o tratamento (Chernicharo *et al*, 2018).

CAMARGO (2016) avaliou o desempenho de um reator UASB, sem defletor de biogás, com volume útil de 24,5 m³, para diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH) - 16, 12, 10 e 8 horas. Em grande parte do período de monitoramento as vazões foram mantidas constantes, porém na última fase, foram determinados dois picos de vazão ao longo do dia. Observou-se que o reator não apresentou o desempenho esperado com relação à remoção de matéria orgânica para TDH de 8 horas. O perfil de sólidos também permaneceu elevado para as duas primeiras fases, no entanto reduziu drasticamente para TDH de 10 horas. Já na última etapa, foi observado arraste de sólidos crescentes no reator.

Levando em consideração algumas características relativas ao tratamento de efluentes em um reator UASB, como a eficiência na remoção da DBO (demanda bioquímica de oxigênio) atingir valores entre 60 a 70% e pelo fato deste reator não remover nutrientes, é preciso adotar um pós-tratamento, e uma das opções é combinar com o sistema de lodos ativados (LA).

Existem várias modalidades de lodos ativados. As mais utilizadas são a convencional e a aeração prolongada. O que difere os dois tipos é a idade do lodo, que é como é chamado o tempo de retenção celular. Em um sistema convencional, parte da matéria orgânica é retirada antes de entrar no tanque de aeração, por meio do decantador primário. Neste sistema a idade do lodo varia entre 4 a 10 dias e o tempo de detenção hidráulica no reator é de 6 a 8 horas. Por ser baixa a idade do lodo, é necessário estabilizar a biomassa excedente, em uma unidade externa ao tanque de aeração, já que contém elevado teor de matéria orgânica (von Sperling, 1997). Os sistemas de lodos ativados são muito utilizados no tratamento de esgotos, porque têm a capacidade de reduzir ou eliminar nutrientes, além da remoção eficiente do material orgânico. No entanto tem custo de implantação e operacional elevados, devido ao grande volume das unidades operacionais, e alto consumo de energia para aeração e das operações de digestão do lodo (Silva Filho e van Haandel, 2014).

Na avaliação do desempenho de um processo de lodos ativados existem dois fatores considerados importantes: as reações de remoção de substrato que ocorrem no tanque de aeração e a eficiente separação dos sólidos, que ocorre no efluente final. Uma alta quantidade de sólidos voláteis totais no efluente em suspensão fazem com que este precise de mais oxigênio. Já a capacidade de clarificação dos esgotos domésticos depende da idade do lodo, características hidráulicas e do nível de oxigênio dissolvido no tanque de aeração (Além Sobrinho, 1983).

Para reduzir o custo deste sistema é possível aplicar um tratamento anaeróbio a montante. Nesta configuração podem ser citadas as seguintes vantagens: o volume do tanque de aeração é menor que o do sistema unicamente aeróbio; ocorre diminuição da demanda de energia elétrica devido à remoção de parte da carga orgânica na etapa anaeróbia; o biogás produzido pode ser utilizado para gerar energia e a estabilização do lodo aeróbio pode acontecer no reator anaeróbio, o que dispensa o adensador e o digestor de lodo (Aisse *et al.*, 2002; Silva Filho e van Haandel, 2014).

AISSE *et al.* (2002) apresentam resultados do monitoramento do sistema piloto UASB + LA de alta taxa, operando com esgoto sanitário, onde se aplicaram no tanque de aeração tempos de detenção de 3 horas (Fase I) e 4 horas (Fase II). Na Fase I, o efluente do decantador secundário apresentou valores de 61 ± 25 mg/L, 17 ± 19 mg/L e 27 ± 20 mg/L, respectivamente para DQO (demanda química de oxigênio), DBO e SST (sólidos suspensos totais). Estes valores representaram eficiências de remoção do sistema de 88%, 94% e 89% para os citados parâmetros. Na Fase II o efluente apresentou valores de 97 ± 18 mg/L, 17 ± 8 mg/L e 55 ± 8 mg/L, respectivamente para a DQO, DBO e SST. A idade do lodo utilizado em ambos os trabalhos foi de dois dias. CHERNICHARO *et al* (2015), citando MUNGRAY e PATEL (2011), apresentam para sistema UASB + LA eficiência de remoção de DQO de 84%, DBO de 94% e SST de 62%. O mesmo artigo também cita CHERNICHARO (2006) e relata eficiências de remoção para os seguintes parâmetros: de 75% a 88% de DQO, de 83 a 93% de DBO e de 83 a 97% de SST. Outro estudo em uma planta, em escala plena, com o mesmo arranjo, atingiu as seguintes eficiências de remoção: 91% para DQO, 94% para DBO e 92% para SST. Porém o lodo aeróbio não retorna ao reator UASB para digestão e adensamento (Saliba e von Sperling, 2017).

O tratamento anaeróbio antes de tratamentos aeróbios deve ser analisado cuidadosamente, porque a remoção de DQO tem efeito negativo na remoção de nutrientes nos sistemas biológicos. As relações de Nitrogênio/DQO e Fósforo/DQO têm valores mais altos do que os desejados para o bom desempenho para a remoção biológica de nutrientes (Chernicharo et al., 2015). Para que ocorram os processos para remoção de nitrogênio o reator anaeróbio deve tratar apenas uma parcela do esgoto afluente, de 50% a 70%. A vazão restante deve ser encaminhada diretamente para o tratamento biológico para que ocorram os processos de nitrificação e desnitrificação. Nessa configuração o lodo gerado no tratamento aeróbio será encaminhado para o reator UASB, fazendo com que possa ser dispensado o digestor de lodo (Chernicharo et al., 2015).

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho do equipamento piloto composto por reator anaeróbio integrado com sistema de lodos ativados.

METODOLOGIA

Materiais

A construção do piloto foi iniciada em fevereiro de 2018 e finalizada em setembro do mesmo ano. O equipamento está instalado na ETE Atuba Sul, da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), localizada na cidade de Curitiba. O esgoto afluente a ETE é encaminhado ao tratamento preliminar, composto por gradeamento de 6 mm e desarenador ciclônico. A seguir, ocorre uma tomada de parte dessa vazão, o valor necessário para o equipamento do teste, que passa por um pré-tratamento, peneira com abertura de 1 mm, para então ser encaminhada ao sistema em estudo.

No reator anaeróbio, o projeto apresenta mudança no sistema coleta de biogás e inovadora estratégia associada à retenção de biomassa, sempre em comparação à tradicional configuração do UASB. A demanda da abertura de pequeno espaçamento no gradeamento (1 mm) é devido ao sistema de alimentação do reator anaeróbio, realizado através do bombeamento do esgoto afluente sobre o fundo do tanque com o uso de tubulação perfurada, de modo a assegurar uma distribuição homogênea e uma intensidade de mistura suficiente (evitando a formação de "zonas mortas" e "bolsões" de gás).

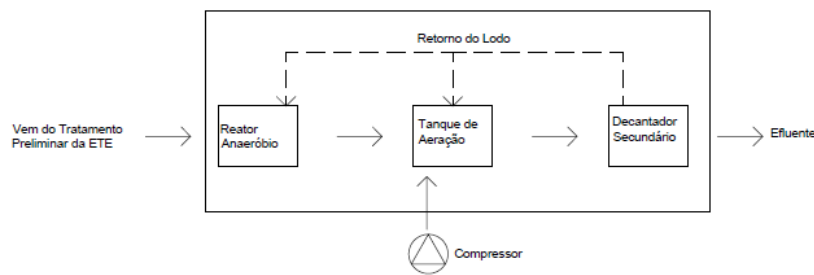
Dentro do compartimento aerado difusores de bolhas finas fornecem oxigênio suficiente para manter a atividade microbiana. Uma vez que a intensidade da mistura é muito maior em comparação com o compartimento anaeróbio, uma unidade de degassificação (acoplada a um decantador de alta taxa) é instalada para assegurar a retenção de uma massa adequada de micro-organismos ativos no sistema e assim garante uma baixa concentração de SST no efluente. O sistema incorpora ainda um *scrubber* para remoção do gás sulfídrico, produzido no reator anaeróbio.

A Figura 1a contém um esquema do fluxograma do piloto, onde o reator aeróbio encontra-se sobreposto ao reator anaeróbio e a Figura 1b traz uma fotografia do sistema.

Por sua vez na Tabela 1 são apresentadas algumas características tanto da entrada no sistema, como na região anaeróbia e aeróbia.

Tabela 1: Instalação Piloto - Características do sistema

Processo	Parâmetro
Vazão	2,2 L/s (partida) / 8,9 L/s (em operação)
Peneira	e = 1 mm
Compartimento Anaeróbio	V= 128 m ³ , TDH = 4 horas (para Q _{máx})
Tanque de Aeração	V= 165 m ³ , TDH = 5,2 horas (para Q _{máx})
Decantador Secundário	V= 25 m ³ , TDH = 0,8 horas (para Q _{máx})



(a) Fluxograma do sistema de tratamento

(b) Fotografia do sistema

Figura 1: Sistema de tratamento integrado em estudo

Métodos

Caracterização do Esgoto Bruto

Os dados de monitoramento da ETE Atuba Sul foram avaliados a fim de se obter uma caracterização do esgoto afluente ao reator piloto. Foram avaliados os boletins operacionais dos anos de 2017 e 2018, até o mês de setembro, com dados de DBO, DQO e SST.

Inoculação de lodo no compartimento anaeróbio

Foram inoculados 90 m³ de lodo anaeróbio para auxiliar na partida do reator. Esse lodo foi retirado de reatores UASB operando na ETE Passaúna, situada na Região Metropolitana de Curitiba, sendo realizado ensaio de AME e determinação de sólidos totais e voláteis do mesmo, a fim de se conhecer a sua qualidade.

O ensaio de AME pode ser usado com vários objetivos, entre eles avaliar inóculos de partida de reatores além de quantificar a produção de metano de lodos anaeróbios. Foi utilizada para a realização deste ensaio a técnica de medição direta do volume de metano, por ter custo mais baixo e facilidade de implantação, empregando como substrato a glicose (Baettker; Baréa; Aisse, 2019). Este substrato difere do tradicionalmente, citado por Aquino *et al* (2007), que constitui em ácido acético ou mistura de ácidos (acético, propiônico e butírico).

Inicialmente é realizada a análise para determinação de SSV do lodo. O inóculo inserido no equipamento piloto foi proveniente da ETE Passaúna e os valores obtidos foram comparados com os encontrados para lodos de outras Estações próximas. Ao comparar com valores obtidos em outras estações da região, o valor está condizente, porém um pouco abaixo do que é encontrado na literatura, 30 gSSV L⁻¹.

Avaliação de Desempenho

A pesquisa consistiu no monitoramento do equipamento piloto por meio de coletas em diferentes pontos, ou seja, afluente bruto e efluente da peneira, reator anaeróbio e reator aeróbio, com posterior análise dos parâmetros físico-químicos. As coletas foram divididas em duas fases. Na primeira fase estando sendo avaliada a influência da variação das velocidades ascensionais no reator anaeróbio (etapas). Serão realizadas coletas três vezes por semana, tendo como objetivo verificar a eficiência do piloto, observando o “amadurecimento” do lodo tanto no compartimento anaeróbio quanto no aeróbio. Não houve inoculação prévia do tanque de aeração.

Já na segunda fase, avaliação do tratamento aeróbio, serão realizadas coletas duas vezes por semana, com uma abrangência maior de parâmetros para verificação da remoção da carga orgânica e futuramente de nutrientes, especialmente o nitrogênio, porém não previsto neste relato.

As coletas, conservação de amostras e análises foram realizadas de acordo com os procedimentos do *Standard Methods* (APHA, 2012). As análises ocorreram nos laboratórios da Sanepar e da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Após a obtenção dos resultados foi realizada análise estatística e também comparação e discussão com outros estudos e literatura consagrada.

RESULTADOS OBTIDOS

Caracterização do Esgoto Bruto

Foram obtidos dados de análise do esgoto afluyente a ETE Atuba Sul no período de dois anos, entre janeiro de 2017 e setembro 2018. Na literatura, as faixas típicas, para o esgoto bruto, apontam a DBO com concentrações entre 200 a 500 mg/L; a DQO com valores entre 400 a 800 mg/L e os SST entre 200 a 450 mg/L (von Sperling, 1996). Como podem ser observados nos gráficos abaixo, existe grande variação nos parâmetros analisados na entrada do sistema quando comparados com os valores da literatura tradicional. As concentrações de DQO e SST estão com valores médios abaixo de valores usuais para esses parâmetros.

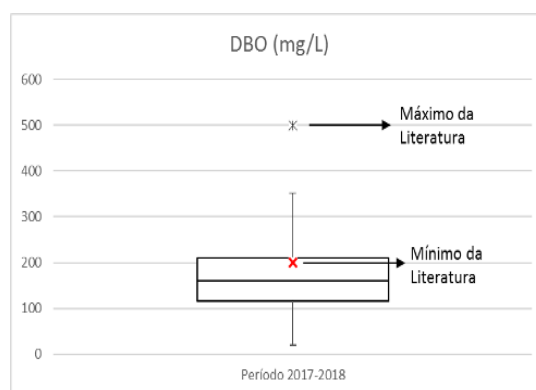


Gráfico 1: Valores de DBO obtidos durante o período janeiro de 2017 a setembro 2018

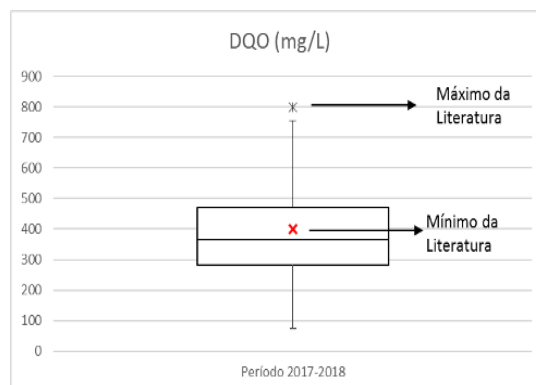


Gráfico 2: Valores de DQO obtidos durante o período janeiro de 2017 a setembro 2018

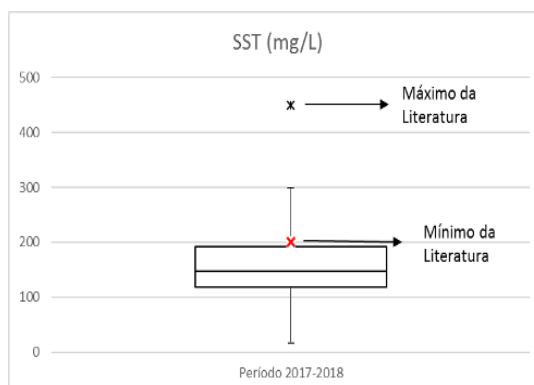


Gráfico 3: Valores de SST obtidos durante o período janeiro de 2017 a setembro 2018

Avaliação do Desempenho da Peneira

Inicialmente foi definida a divisão do estudo em etapas, nas quais haveria variação na vazão de entrada e na velocidade ascensional. Estes dados podem ser observados na Tabela 2. Com o início da operação do piloto, no final de fevereiro de 2019, foi observada a necessidade de realização de limpezas na caixa que recolhe os resíduos retidos na peneira no mínimo três vezes por semana, o que pode significar falha na retenção de resíduos de menores dimensões no gradeamento da ETE. Também foram obtidos resultados de remoção de alguns parâmetros, que podem ser observados na Tabela 3. Foi necessária a realização de um filtro nos valores obtidos, devido à instabilidade dos mesmos e a influência de alguns períodos de elevada precipitação.

Tabela 2: Parâmetros operacionais adotados até maio de 2019

Etapa	Vazão de entrada (m³/h)	Velocidade ascensional (m/h)
1	6	0,16
2	9	0,25
3	12	0,33

Tabela 3: Resultados da Peneira (efluente) para as etapas de monitoramento

Parâmetro	Etapa 1				Etapa 2				Etapa 3			
	Média + Desvio-Padrão	Máx-Mín	N	N _{TOTAL}	Média + Desvio-Padrão	Máx-Mín	N	N _{TOTAL}	Média + Desvio-Padrão	Máx-Mín	N	N _{TOTAL}
DBO	191 + 113	360 75	6	9	219 + 161	460 135	4	4	275 + 145	470 150	7	10
DQO _{total}	489 + 283	881 168	6	4	392 + 237	733 217	4	4	451 + 262	792 232	6	10
SST	155 + 113	463 78	9	10	120 + 22	144 100	4	4	137 + 64	230 51	5	10

Também foram obtidos resultados de eficiência de remoção, para o parâmetro DBO a peneira atingiu valor médio de 26,5%, enquanto que para DQO chegou a 24,4%. Os resultados do desempenho foram comparáveis com os citados por AISSE (2000), referentes ao Decantador Primário.

Avaliação do lodo inoculado no compartimento anaeróbio

No ensaio da AME e o valor médio obtido foi de 0,531 gDQO_{CH4}.gSTV⁻¹.d⁻¹ com desvio padrão de 0,339. Comparado a outros resultados para Estações da região de Curitiba, o lodo utilizado apresentou um resultado intermediário na produção de metano, revelando-se adequado para ser utilizado como inóculo no piloto.

Sistema Integrado

Foram obtidos valores para parâmetros de saída do reator anaeróbio e tanque de aeração durante o período monitorado. Estes valores podem ser observados nas Tabela 4 e Tabela 5. Também foi necessário realizar um filtro nos dados, devido aos mesmos motivos apresentados na avaliação da peneira. Esta flutuação dos valores,

especialmente na denominada Etapa 1, foi atribuída a “lavagem” do lodo inoculado e as modificações impostas, no reator anaeróbio. A velocidade ascensional, resultante das vazões impostas, está descrita na Tabela 2.

Tabela 4: Resultados obtidos para o Reator anaeróbio (efluente)

Parâmetro	Etapa 1					Etapa 2					Etapa 3				
	Média + Desvio-Padrão	Máx-Mín	N	N _{TOTAL}		Média + Desvio-Padrão	Máx-Mín	N	N _{TOTAL}		Média + Desvio-Padrão	Máx-Mín	N	N _{TOTAL}	
DQO _{solúvel}	233 + 199	582	96	8	10	316 + 236	587	156	3	4	398 + 200	727	195	8	10
SST	61 + 22	94	34	5	10	50 + 16	65	36	4	4	72 + 29	104	48	3	10

Tabela 5: Resultados obtidos para o Lodo ativado (efluente)

Parâmetro	Etapa 1					Etapa 2					Etapa 3				
	Média + Desvio-Padrão	Máx-Mín	N	N _{TOTAL}		Média + Desvio-Padrão	Máx-Mín	N	N _{TOTAL}		Média + Desvio-Padrão	Máx-Mín	N	N _{TOTAL}	
DBO	186 + 178	390	14	6	9	120 + 60	180	60	3	4	66 + 47	130	17	9	10
DQO	275 + 296	691	40	6	10	157 + 113	287	89	3	4	237 + 155	506	93	9	10
DQO _{solúvel}	176 + 226	572	29	6	10	138 + 120	277	66	4	4	159 + 156	456	37	10	10
SST	27 + 28	95	9	8	10	19 + 8	28	14	3	4	53 + 39	127	20	10	10

Também foram obtidos valores para o desempenho do reator anaeróbio e do tanque de aeração, como também do desempenho global do sistema. Com relação à DBO, o desempenho do reator anaeróbio foi de 54,3%, do tanque de aeração 56,3% e o global do sistema 64,1%. Para a DQO, o desempenho do reator anaeróbio foi de 41,7%, do tanque de aeração 65,6% e o global do sistema 55,1%. Para o SST, como ainda não ocorre análise deste parâmetro no esgoto bruto, então a eficiência foi analisada para as unidades posteriores. O reator anaeróbio remove 56,9% de SST enquanto que o lodo ativado atinge 67,5% de remoção.

Outros estudos com a mesma proposta de arranjo para tratamento de esgotos chegaram a algumas conclusões sobre o tema. SILVA e PIVELI (2017) constataram em suas pesquisas que ocorre impacto na qualidade do efluente anaeróbio quando o reator tipo UASB recebe lodo aeróbio, devido a maior concentração de sólidos suspensos totais na fase sólida do reator. SILVA FILHO e van HAANDEL (2014) constataram que misturas de esgoto e lodo ativado tiveram digestão eficiente em reatores UASB, também verificaram que não foram afetadas a massa de lodo e as propriedades biológicas e físicas por esta nova configuração. Outra observação realizada foi que esses reatores apresentaram a tendência de expulsar o lodo aeróbio não digerido. Este estudo concluiu que este efluente não pode ser descarregado no pós-tratamento aeróbio. Foi recomendada a separação dos sólidos sedimentáveis do efluente. SALIBA e von SPERLING (2017) também monitoraram um sistema composto por reator UASB seguido de lodos ativados no tratamento de esgoto doméstico. Este sistema apresentou alta remoção de DBO, DQO, amônia e SST. Este estudo concluiu que este é um bom arranjo para tratamento de esgoto doméstico.

Os resultados da avaliação do reator integrado não foram comparados aos padrões de lançamento de efluentes, previsto na legislação brasileira (BRASIL, 2011), pois o sistema de lodo ativados operou em caráter preliminar, sem o adequado manejo do lodo no tanque de aeração.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foram analisados os dados do esgoto afluente a ETE Atuba Sul, no período de dois anos, entre janeiro de 2017 e setembro 2018, sendo observada grande variação nos parâmetros analisados e as concentrações de DQO e SST estão com valores médios abaixo de valores usuais.

O trabalho apresentou os resultados do monitoramento ocorrido a partir de fevereiro até maio de 2019. Na peneira (1 mm) foram obtidos resultados de eficiência de remoção de 26,5% e 24,4%, respectivamente para a DBO e DQO, comparáveis com um Decantador Primário. Com relação à DBO, o desempenho do reator anaeróbio foi de 54,3%, do tanque de aeração 56,3% e o global do reator integrado 64,1%. Para a DQO, o desempenho do reator anaeróbio foi de 41,7%, do tanque de aeração 65,6% e o global do sistema 55,1%. Quanto ao parâmetro SST, o reator anaeróbio removeu 56,9% de SST enquanto que o lodo ativado atinge 67,5% de remoção.

Durante a operação, ao longo do segundo semestre do ano de 2019, será mantida a operação do piloto com velocidades (vazões) crescentes, até próximo a 0,5 m/h no compartimento anaeróbio, bem como a avaliação do sistema de lodos ativados na remoção de carga orgânica, tendo os descartes de lodo periódicos de acordo com as exigências desse tipo de tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AISSE, M. M. Sistemas Econômicos de Tratamento de Esgotos Sanitários. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2000.
2. AISSE, M. M.; LOBATO, M. B.; JÜRGENSEN, D.; ALÉM SOBRINHO, P. Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios no Estado do Paraná (Brasil). In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2002, Cancún. Memorias, 2002. p. 1-8.
3. ALÉM SOBRINHO, P. Estudo dos fatores que influem no desempenho do processo de lodos ativados – determinação dos parâmetros de projeto para esgotos predominantemente domésticos. Revista DAE, São Paulo, n.132, p.49-85, mar.1983.
4. APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. New York: 21th Ed. 2012.
5. 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, Vol. 12 , n.2, abr – jun 2007.
6. BAETTKER, E. C.; BARÉA, P. B.; AISSE, M. M. Ensaio de Atividade Metanogênica Específica: Experiência do Labeam / UFPR. DHS: PPGERHA, jan. 2019.
7. BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, 2011.
8. BRASIL. Agência Nacional de Águas. Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. -- Brasília: ANA, 2017.
9. CAMARGO, B. M. Comportamento de reator UASB sem separador trifásico no tratamento de esgoto sanitário. São Paulo. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2016.
10. CHERNICHARO, C.A.L.; RIBEIRO, T.B.; GARCIA, G.B.; LERMONTOV, A.; PLATZER, C.J.; POSSETTI, G.R.C.; LEITES, M.A.L.; ROSSETO, R.; Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. Revista DAE, n. 213, out – dez 2018.
11. CHERNICHARO, C.A.L.; van LIER, J.B.; NOYOLA, A.; BRESSANI RIBEIRO, T. *Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges*. Environmental Science Biotechnology, 2015.
12. FORESTI, E. *Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives*. Water Science and Technology, Vol.45, n.10, 2002.
13. SALIBA, P. D.; von SPERLING, M.; *Performance evaluation of a large sewage treatment plant in Brazil, consisting of a UASB reactor followed by activated sludge*. Water Science & Technology, 2017.
14. SILVA FILHO, J.A.; van HAANDEL, A.C.; Estabilização de lodo de pós-tratamento aeróbio na unidade de pré-tratamento aeróbio. Revista DAE, n. 194, jan – abr 2014.
15. SILVA, B.S.; PIVELI, R.P.; Avaliação do descarte do lodo aeróbio no desempenho de reator UASB operando em plena escala e na qualidade do efluente gerado para o pós-tratamento. Anais do 29º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, São Paulo, 2017.
16. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.
17. VON SPERLING, M. Lodos Ativados. 1ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.