



8º Congresso de extensão universitária da UNESP

"Diálogos da Extensão:
do saber acadêmico à prática social"



Acompanhamento operacional e avaliação de uma ECTE composta por Reator UASB – FAS no município de Uru - SP.

Jaqueline Cardoso Ribeiro^a, Gustavo Henrique Ribeiro da Silva^b

^a *Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista (UNESP) "Júlio de Mesquita Filho", discente do curso de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental – Saneamento, e-mail: jack_0811@hotmail.com, bolsa CAPES – DS;*

^b *Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista (UNESP) "Júlio de Mesquita Filho", orientador e docente do curso de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, e-mail: gustavoribeiro@feb.unesp.br*

Eixo:2 – “Os valores para Teorias e Práticas Vitais.

Resumo

A presente pesquisa está sendo desenvolvida em parceria com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e tem como foco auxiliar no acompanhamento operacional de uma Estação Compacta de Tratamento de Efluente (ECTE) composta por Reator do tipo *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) seguido de Filtro Aerado Submerso (FAS), localizada no município de Uru-SP. Este acompanhamento está sendo feito através de análises físico-químicas que possuem previsão de duração de 24 semanas através de coletas semanais de cada etapa do tratamento e coletas mensais do perfil de lodo do reator UASB, tais análises visam avaliar a eficiência do tratamento em cada unidade e no sistema como um todo e dar diretrizes para o estabelecimento de práticas ótimas de operação para a obtenção de um efluente de melhor qualidade. Espera-se que através de tal monitoramento seja possível estimar diretrizes para o volume e periodicidade de descarte de lodo uma vez que há um histórico de problemas em relação a Sólidos Sedimentáveis (SS) na estação. Uma vez que a pesquisa ainda está em andamento, até o momento o sistema tem se mostrado bastante eficiente principalmente em relação às remoções de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) com valores médios acima dos usuais para esse tipo de tratamento de no mínimo 91% e 85% respectivamente. Também acredita-se que o monitoramento contribuiu para uma melhora geral do sistema, pois durante o monitoramento foi obtida a Licença de Operação (LO) da ECTE que até então estava sendo operada com uma Licença de Operação a Título Precário (LOTP).

Palavras Chave: reator UASB, filtro aerado submerso, acompanhamento operacional.

Abstract:

This research is being developed in partnership with the Basic Sanitation Company of the State of São Paulo (BSCSS) and focuses on assisting in the operational monitoring of an Effluent Treatment Station Compact (ETSC) composed of Reactor type *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) followed by Submerged Aerated Filter (SAF), located in the municipality of Uru-SP. This monitoring is being done through physical-chemical analyzes that have 24 weeks of duration prediction through weekly collections of each stage of the treatment and monthly collections of sludge profile from UASB reactor, such analyzes aim to evaluate treatment efficiency in each unit and the system as a whole and give guidelines for establishing the optimum operating practices to obtain a better quality effluent. It is expected that by such monitoring is possible to estimate guidelines for the volume and intervals of sludge disposal since there is a history of problems in respect of Sedimentable Solids (SS) in the station. Once the research is still in progress, so far the system has proved very effective especially in relation to removal of Biochemical Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) with average values above the usual for this type of treatment of at least 91% and 85% respectively. Also it is believed that monitoring has contributed to a general improvement of the system, because during the monitoring the ETSC's (OL) Operating License was obtained which until then was being operated with an (OLPT) Operation License to Precarious Title.

Keywords: UASB, submerged aerated filter, operational monitoring



Introdução

A seleção do tipo de tratamento que será aplicado em um determinado local é uma questão complexa, pois além da decisão de qual o nível de tratamento mínimo exigido que deve ser alcançado, requer uma análise detalhada das condições e necessidades locais, aplicação de conhecimento científico, julgamento por parte da engenharia baseado em experiências anteriores e consideração da legislação (METCALF e EDDY, 2003).

Segundo dados do Censo realizado pelo IBGE (2010), dos 645 municípios do Estado de São Paulo, 279 possuem até 10 mil habitantes e apenas 124 municípios possuem mais de 50 mil habitantes; a maior parte dos municípios é de pequeno porte e tais municípios não dispõem de grande orçamento para utilidades pública. Devido ao custo de um tratamento de esgoto depender das circunstâncias locais, mostra-se ainda necessário o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis no tratamento de esgoto (ØDEGAARD, 2000).

Um dos setores mais deficientes em relação ao tratamento de esgotos, principalmente na área operacional dos municípios do interior do Estado de São Paulo é o acompanhamento operacional das ETE (Estações de Tratamento de Efluentes), são várias as dificuldades, pois são raros os laboratórios capacitados para exercer tal função e dar suporte à operação dos sistemas, a grande distância geográfica entre o laboratório e o ponto de coleta também torna o acompanhamento caro e trabalhoso, além de diminuir a confiabilidade dos resultados, cujas análises muitas vezes exigem um prazo limite desde sua coleta.

Material e Métodos

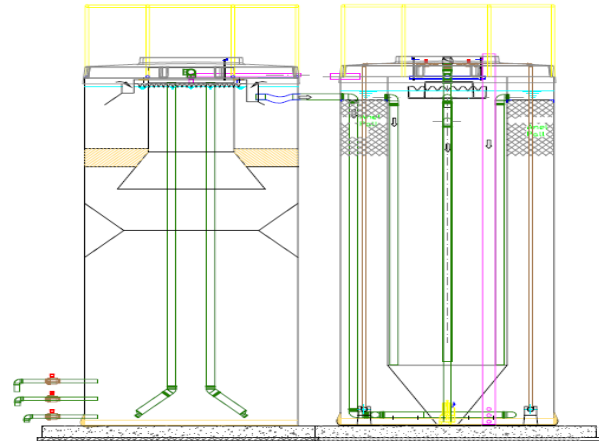
O estudo está sendo desenvolvido em uma ECTE que possui capacidade de atendimento a uma população de 1709 habitantes, tratamento de 240.000 L.dia⁻¹ e carga orgânica de 93 kgDBO.dia⁻¹ para final de plano em 2030.

O sistema está em operação desde novembro de 2013 e deve atender aos requisitos legais para lançamento de efluente tratado em um corpo hídrico receptor de Classe 2.

O sistema é composto por 2 Reatores UASB seguidos de 2 FAS (FIGURA 1) com enchimento estruturado fixo em plástico, denominado *Pall Ring* (Anel Pall), integrado aos Filtros Aerados há um decantador secundário lamelar e o sistema se utiliza de recirculação de lodo do filtro aerado para o reator UASB para aumento de sua eficiência que ocorre 5X ao dia, durante 5 minutos, com uma vazão de 300 L a cada ciclo.

8º Congresso de Extensão Universitária da UNESP, 2015. Acompanhamento operacional e avaliação de uma ECTE composta por reator UASB – FAS no município de uru - SP, Jaqueline Cardoso Ribeiro, Gustavo Henrique Ribeiro da Silva – ISSN 2176-9761

Figura 1 – Esquema de funcionamento do sistema (da esquerda para direita: reator UASB, reator aeróbio e decantador).



Fonte: Sabesp.

Os Reatores UASB e FAS possuem respectivamente, um volume de 42,67 m³ e 26,75 m³, altura total de 6,10 m e 6,09 m, e altura útil de 5,37 m e 5,16 m, tempo de detenção hidráulica (TDH) de 8 e 3,48 horas, volume de meio suporte de 11,00 m³ e ângulo das placas lamelares de 55 a 60° no decantador secundário integrado ao FAS. Para amostragem do lodo há quatro registros, o primeiro a 0,20 m do fundo do reator e os demais espaçados a cada 50 cm a partir do primeiro (0,70; 1,20 e 1,70 m).

O lodo bruto decantado acumula-se no interior dos reatores UASB e era descartado a cada 6 meses, porém para obtenção de melhores resultados, passou a ser descartado a cada 3 meses. O volume médio de descarte corresponde a aproximadamente 1/3 do volume total do reator, ou seja 14 m³. A limpeza dos FAS também tem sido realizada a cada 3 meses com o mesmo volume médio de retirada, 14 m³.

O monitoramento está sendo realizado no reator UASB 2.

Pontos de coleta e parâmetros analisados

Os pontos de coleta foram:

Ponto 1 (semanalmente) - Entrada reator UASB (após tratamento preliminar);

Ponto 2 (semanalmente) - Saída reator UASB/ Entrada FAS;

Ponto 3 (semanalmente) - Saída do FAS (antes da desinfecção);

Ponto 4 (mensalmente) - Pontos de amostragem de lodo 4-1, 4-2, 4-3 e 4-4 (0,20, 0,70, 1,20 e 1,70 m do fundo do reator UASB respectivamente);

Semanalmente foram analisados os seguintes parâmetros: temperatura da amostra e ambiente, pH, DBO 5 dias, DQO, alcalinidade parcial,



intermediária e total, Ácidos Orgânicos (AO) (somente entrada e saída do UASB), Nitrogênio e série completa de sólidos.

Os parâmetros analisados mensalmente foram: série completa de sólidos.

Método de análise dos resultados

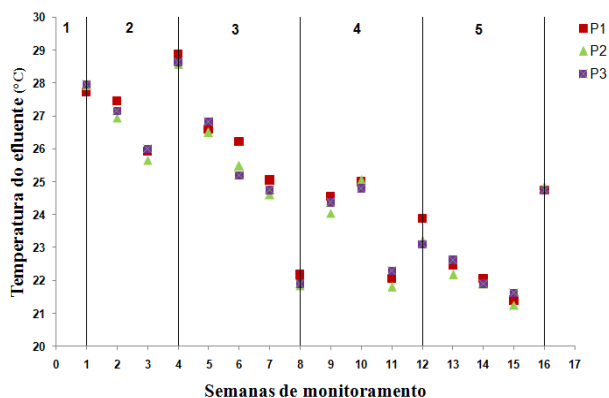
No dia 27/03/2015 foi realizado um descarte de lodo de fundo de 14 m³ em cada módulo. A coleta realizada na semana 1 (24/03/2015) ocorreu antes deste descarte e as coletas realizadas a partir da segunda semana (31/03/2015) ocorreram após, portanto foi feita uma comparação entre a primeira semana e as demais semanas separando-as por fases de acordo com os meses de monitoramento.

Resultados e Discussão

Temperatura

Na Figura 2 estão apresentados os valores de temperatura do efluente para as 16 semanas de monitoramento.

Figura 2 - Valores de temperatura do efluente nos pontos de amostragem, durante as 16 semanas de monitoramento.



Fonte: Autora.

Como pode ser observado na Figura 2, houve uma queda gradual de temperatura do efluente que foi compatível com a queda da temperatura ambiente que variou de 21 a 29 °C durante as 16 semanas de monitoramento, esta queda pode ser explicada devido à transição da estação outono, que abrangeu as Fases 1, 2, 3 e a primeira metade da Fase 4, para inverno, que abrangeu a segunda metade da Fase 4 e a Fase 5.

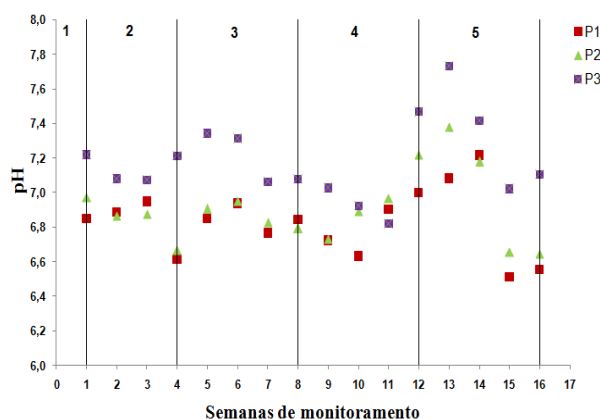
Segundo Chernicharo (2007) existem dois níveis ótimos de temperatura para que ocorra a digestão anaeróbia, um na faixa mesófila (30-35°C) e outro na faixa termófila (50-55°C). Os valores obtidos para

temperatura neste estudo ficaram próximos, porém fora da faixa mesófila para crescimento ótimo das bactérias anaeróbias, que são mais sensíveis a mudanças bruscas de temperatura, porém Chernicharo (2007) também diz que a formação microbiana do metano pode ocorrer em uma faixa bastante ampla (0-97°C), portanto acredita-se que a temperatura não tenha sido um fator limitante para a eficiência do sistema.

pH, alcalinidade e ácido orgânicos

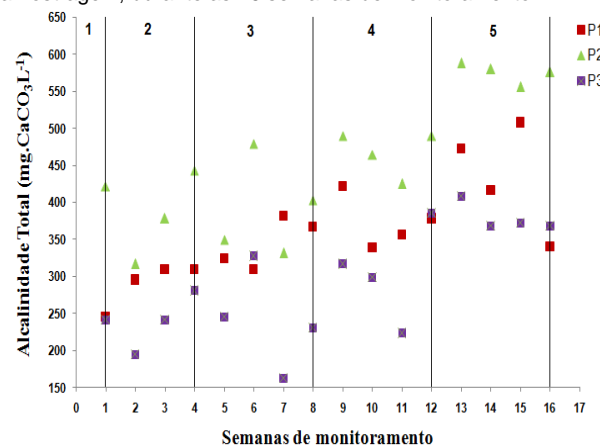
Nas Figura 3, 4 e 5 respectivamente, estão apresentados os valores de pH, alcalinidade e AO do efluente para as 16 semanas de monitoramento e nas Tabela 6 e 7 do anexo 1 podem ser vistos os valores médios obtidos para alcalinidade e AO.

Figura 3 - Valores de pH do efluente nos pontos de amostragem, durante as 16 semanas de monitoramento.



Fonte: Autora.

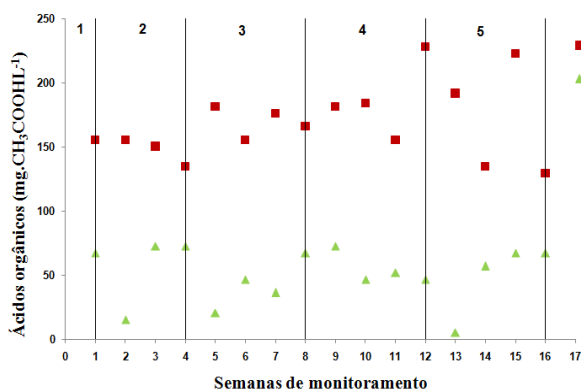
Figura 4 - Valores de alcalinidade total do efluente nos pontos de amostragem, durante as 16 semanas de monitoramento.



Fonte: Autora.



Figura 5 - Valores de AO do efluente nos pontos de amostragem, durante as 16 semanas de monitoramento.



Fonte: Autora.

Durante todo o monitoramento, com exceção da semana 13, o pH para o P3 caracterizou-se na faixa ótima de crescimento bacteriano citada por Metcalf e Eddy (2003) e Chernicharo (2007), 6,5 a 7,4. Apesar do pH do FAS na semana 13, ter se apresentado fora desta faixa, não foram observadas grandes variações na remoção de poluentes do sistema, pois o sistema de tratamento aeróbio é menos suscetível a tal parâmetro.

Os valores de alcalinidade apresentaram-se abaixo dos citados por Metcalf e Eddy (2003) durante as 16 semanas, segundo o autor quando a digestão está prosseguindo satisfatoriamente, a alcalinidade normalmente variará de 1000 a 5000 mg.L⁻¹.

Segundo Ripley; Boyle e Converse (1986) é importante a determinação da alcalinidade em dois estágios: alcalinidade parcial e alcalinidade intermediária, pois valores de AI/AP superiores a 0,3 indicam a ocorrência de distúrbios no processo de digestão anaeróbia. Ramos (2008) obteve uma relação próxima a 0,3 em seu estudo sobre a influência da operação de descarte de lodo no desempenho de reatores UASB em estações de

tratamento de esgotos no distrito federal. Em relação à queda de alcalinidade que pode ser observada no tratamento aeróbio, segundo Metcalf e Eddy (2003), o consumo da alcalinidade total está associado à remoção de nitrogênio amoniacal e assim como no estudo conduzido por Silva (2015), que avaliou o desempenho de um sistema utilizando uma nova configuração de reator compartimentado anaeróbio/aeróbio para o tratamento de esgoto sanitário de baixa carga orgânica, o fornecimento de oxigênio no P3 pode ter permitido a ocorrência da nitrificação, removendo nitrogênio amoniacal, pois analisando os resultados desta variável foi possível notar que houve uma queda nos valores do reator UASB para o FAS durante todo o monitoramento, no entanto concluiu-se que esta configuração de tratamento não realiza a remoção completa do nitrogênio, pois apesar de ter havido remoção de nitrogênio amoniacal, a concentração de nitrito e nitrato aumentou do reator UASB para o FAS.

Assim como no estudo conduzido por Ramos (2008) os valores para AO apresentaram-se abaixo de 90 mg.L⁻¹, indicando não haver tendência de acidificação nos reatores UASB, o autor também cita um valor limite de 200 mg.L⁻¹ para tal variável.

De acordo com Silva (2015 apud PINHEIRO, 2006), devido às variações que normalmente ocorrem na concentração, composição e vazão do afluente e às mudanças das condições ambientais, o equilíbrio entre a produção e o consumo de ácidos é raramente observado em ETE. No entanto, assim como no estudo conduzido por Silva (2015), por se tratar de um tratamento de esgoto de um município de pequeno porte e, portanto possuir baixa carga afluente, e pelo fato das condições ambientais não terem sofrido variações consideráveis, sem a provável presença de compostos tóxicos, foi observado o equilíbrio deste sistema entre a produção e o consumo dos ácidos.

Tabela 1 - Valores da relação AI/AP para o reator UASB referentes às 16 semanas de monitoramento do sistema.

Relação AI/AP									
Fase 1		Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5	
Semana	Valor	Semana	Valor	Semana	Valor	Semana	Valor	Semana	Valor
1	0,5	2	1,1	5	0,5	9	0,7	13	1,2
-	-	3	1,1	6	0,5	10	1,0	14	0,7
-	-	4	0,7	7	0,9	11	0,9	15	0,6
-	-	-	-	8	1,0	12	0,6	16	0,5

Fonte: Autora

Os valores para a relação AI/AP podem ser observados na Tabela 1, tais valores foram superiores a 0,3. No entanto, é possível observar uma tendência de alcalinização do afluente para o reator UASB, pois em nenhuma semana foram obtidos valores maiores do P1 do que os encontrados no P2 e de acordo com Foresti (1994),

dependendo do caso, é possível ocorrer estabilidade no processo mesmo para valores diferentes de 0,3 e assim como no estudo de Silva (2015), apesar dos valores da relação AI/AP estarem acima de 0,3 para todas as semanas, o reator UASB se mostrou em equilíbrio em relação ao pH e ácidos orgânicos bem como apresentou

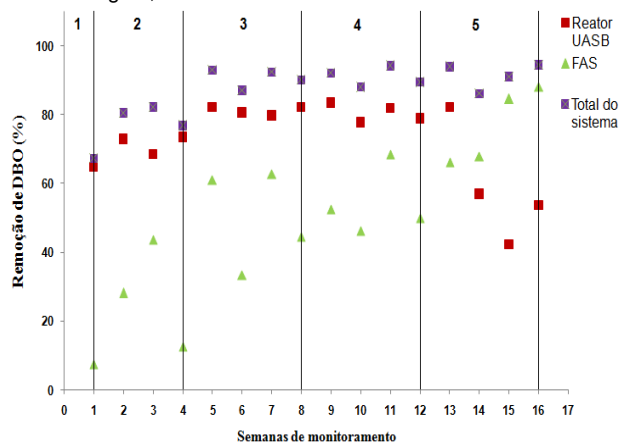


remoções de DQO e DBO acima de 50%, mostrando que os valores da relação AI/AP acima de 0,3 não afetaram o sistema.

DBO

Os valores médios de remoção obtidos para DBO estão apresentados na Tabela 8 do Anexo 1 e na Figura 6, estão apresentados os valores registrados durante as 16 semanas de monitoramento.

Figura 6 - Valores de remoção de DBO do efluente nos pontos de amostragem, durante as 16 semanas de monitoramento.



Fonte: Autora.

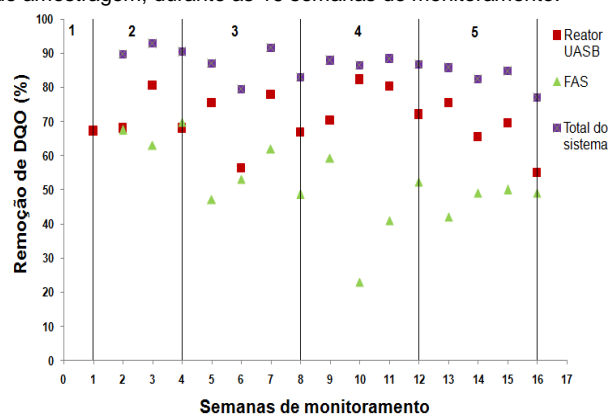
De acordo com Von Sperling (2014) a eficiência de remoção de DBO_5 em reatores UASB é de 60 a 75% e 83 a 93% para sistemas compostos por reator UASB seguido de biofiltro aerado submerso (BFAS). No presente estudo, nas semanas 5 a 11 e na semana 13, as eficiências de remoção obtidas no reator UASB foram de no mínimo 80%.

Com relação à eficiência total do sistema, é possível afirmar que na Fase 1, o sistema não alcançou sua eficiência esperada, o que mostra a importância do descarte de lodo para a obtenção de um efluente de boa qualidade. Na Fase 2 a eficiência esperada ainda não foi alcançada devido ao período de estabilização necessário para o sistema após a remoção de lodo, porém, a partir da Fase 3, a eficiência mínima de remoção esperada de 83% foi alcançada em todas as semanas.

DQO

Os valores médios de remoção obtidos para DQO estão apresentados na Tabela 9 do Anexo 1 e na Figura 7, estão apresentados os valores de remoção registrados durante as 16 semanas de monitoramento.

Figura 7 - Valores de remoção de DQO do efluente nos pontos de amostragem, durante as 16 semanas de monitoramento.



Fonte: Autora.

De acordo com Von Sperling (2014) a eficiência de remoção de DQO em reatores UASB é de 55 a 70% e 75 a 88%, para sistemas compostos por reator UASB seguido de BFAS. Araújo e Freitas (2014) obtiveram uma eficiência média na redução de DQO acima de 70% em um sistema constituído por reator UASB e BFAS, para o tratamento de esgoto sanitário.

No presente estudo, a maior eficiência de remoção para todas as etapas do tratamento foi obtida na Fase 2 que pode ser relacionada com as maiores temperaturas da estação outono, pois as demais Fases abrangeram o período de inverno. Uma menor eficiência de remoção para todas as etapas do tratamento foi obtida na Fase 5, o que indica uma provável necessidade de descarte de lodo, pois a baixa eficiência, de 23%, observada para o FAS na semana 10 está relacionada com um problema de entupimento na tubulação de recirculação de lodo do FAS 1 para a caixa distribuidora de vazão.

Comparando os resultados da semana 1 com todas as demais semanas, é possível dizer que houve uma melhora significativa no sistema que pode ser atribuída ao descarte de lodo, pois como pode ser observado na Figura 7, estava havendo remoção de DBO apenas no reator UASB, a concentração aumentou de 390 mg.L^{-1} do reator para 1247 mg.L^{-1} no FAS o que mostra a importância do descarte de lodo para o bom funcionamento do sistema.

Os valores referentes à relação DBO/DQO para o esgoto afluente ao tratamento durante o monitoramento se mantiveram nas faixas indicadas por Metcalf e Eddy (2003) e Von Sperling (2014), que são respectivamente 0,3 a 5,0 e 1,3 a 2,4, indicando ser um esgoto de boa biodegradabilidade.

Sólidos Totais (ST), em Suspensão (SST) e Sedimentáveis (SS)



8º Congresso de extensão universitária da UNESP

"Diálogos da Extensão: do saber acadêmico à prática social"



Os valores médios de remoção obtidos para ST e SST estão apresentados nas Tabelas 10 e 11 do Anexo 1, e na Tabela 2 e Figuras 8 e 9

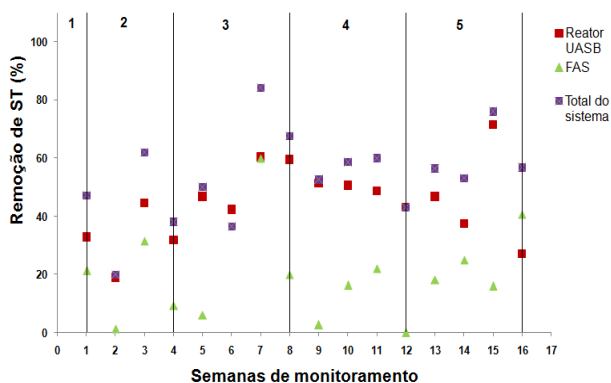
respectivamente, estão apresentados os valores registrados de SS, ST e SST durante as 16 semanas de monitoramento.

Tabela 2 - Valores obtidos nos pontos de amostragem e remoções em cada etapa do sistema de Sólidos Sedimentáveis do efluente.

Sólidos Sedimentáveis						
Semanas	Pontos de amostragem (mL.L ⁻¹)			Etapas do sistema (%)		
	P1	P2	P3	Reator UASB	FAS	Total do sistema
1	8,000	1,750	7,250	78	-314	9
2	3,000	1,000	2,750	67	-175	8
3	4,500	1,000	0,600	78	40	87
4	4,250	0,800	2,000	81	-150	53
5	7,000	0,900	0,100	87	89	99
6	7,500	0,900	0,050	88	94	99
7	4,000	0,100	0,050	98	50	99
8	16,500	0,400	0,050	98	88	100
9	6,500	0,900	0,100	86	89	98
10	11,000	4,500	0,020	59	100	100
11	8,500	2,750	0,060	68	98	99
12	8,500	0,700	0,001	92	100	100
13	6,000	1,250	0,001	79	100	100
14	33,000	7,500	0,001	77	100	100
15	125,000	6,000	0,001	95	100	100
16	24,000	13,000	0,001	46	100	100

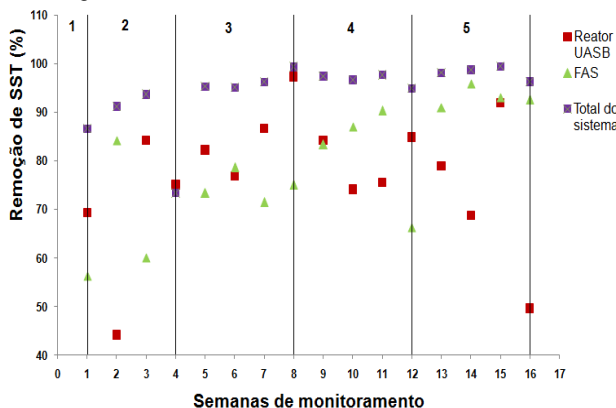
Fonte: Autora.

Figura 8 - Valores de remoção de ST do efluente nos pontos de amostragem, durante as 16 semanas de monitoramento.



Fonte: Autora.

Figura 9 - Valores de remoção de SST do efluente nos pontos de amostragem, durante as 16 semanas de monitoramento.



Fonte: Autora.

A semana 2 apresentou o menor valor de remoção total de ST no sistema correspondendo a apenas 20%, no entanto ainda foi maior que a eficiência média obtida por Araújo e Freitas (2014) de 6%.

No geral os resultados com relação aos sólidos foram bastante inconclusivos, pois vários problemas de operação que podem ter influenciado neste parâmetro ocorreram durante o período de monitoramento, a única conclusão que pôde ser obtida é que com exceção da Fase 1, onde ainda não havia sido feito o descarte de lodo e na Fase 2, quando estava ocorrendo uma estabilização após o descarte, é possível identificar uma tendência de aumento de concentração dos ST tanto no reator UASB quanto no FAS.

A eficiência de remoção do sistema para SST foi de 73 a 99%, bem acima da eficiência média obtida por Araújo e Freitas (2014) em um sistema de configuração semelhante ao sistema estudado, que apresentou eficiências de 47% para SST.

Segundo Von Sperling (2014) a eficiência de remoção de SS em reatores UASB é de 65 a 80% e 87 a 93% para sistemas compostos por reator UASB seguido de BFAS. Os valores neste estudo para SS podem ser observados na Tabela 2 e se mantiveram dentro destas condições típicas, a partir da semana 5 para o P3 e para o P1 em todas as semanas, exceto nas semanas 14,15 e 16 onde ocorreram diversos problemas de operação.

Perfil de sólidos do reator UASB

Nas tabelas 3, 4 e 5 são apresentados os valores de ST, SST e SS para o perfil de sólidos do reator UASB respectivamente.



Tabela 3 - Valores obtidos de ST nos pontos de amostragem de lodo do reator UASB.

Pontos de amostragem	ST (mg.L ⁻¹)			
	Semanas			
	4	8	12	15
0,2 m	60300	54740	61000	80820
0,7 m	29500	24380	26540	25440
1,2 m	1880	16820	16420	18280
1,7 m	1700	15900	19980	26120

Fonte: Autora.

Tabela 4 - Valores obtidos de SST nos pontos de amostragem de lodo do reator UASB.

Pontos de amostragem	SST (mg.L ⁻¹)			
	Semanas			
	4	8	12	15
0,2 m	21000	70000	18000	23333
0,7 m	22000	12000	16500	15600
1,2 m	667	7500	9500	12800
1,7 m	1000	4500	12000	15600

Fonte: Autora.

Tabela 5 - Valores obtidos de SS nos pontos de amostragem de lodo do reator UASB.

Pontos de amostragem	SS (mL.L ⁻¹)			
	Semanas			
	4	8	12	15
0,2 m	830	1000	1000	1000
0,7 m	560	570	700	880
1,2 m	18	360	500	700
1,7 m	20	430	640	920

Fonte: Autora.

Comparando as análises realizadas ao longo do monitoramento, é possível verificar que no 1º mês houve uma maior dispersão na parte superior da zona de digestão do reator e ao longo do monitoramento as concentrações de sólidos aumentaram significativamente nas zonas superiores (1,2 e 1,7 m), enquanto nas zonas inferiores não foi tão significativa (0,2 e 0,7 m).

As relações SV/ST (Sólidos Voláteis/ Sólidos Totais) podem ser observadas na Tabela 12 do Anexo 1. Observando-se os valores obtidos é possível afirmar que houve uma estabilização do lodo no decorrer do monitoramento, pois concentrações entre 0,75 a 0,8 são características de lodos pouco digeridos e 0,6 a 0,75, lodos digeridos (RAMOS, 2008).

Conclusões

Até o momento este estudo tem mostrado que o descarte de lodo em um sistema é um parâmetro operacional importante para sua eficiência e até o fim da pesquisa, espera-se determinar diretrizes de descarte de lodo com base nos principais parâmetros analisados em tratamentos de efluente.

Apesar das várias dificuldades encontradas devido a problemas de operação aos quais um sistema de tratamento real está sujeito, acredita-se que a pesquisa já tenha contribuído bastante para a comunidade, pois durante as 16 semanas de monitoramento, no mês de julho, foi obtida a LO da ECTE que é válida até 20/07/2020. Até então, a ECTE ainda não havia conseguido obter tal licença devido a um histórico de problemas desde o início de sua operação, relacionados à concentração de sólidos sedimentáveis (SS) e vinha sendo operada com uma LOTP.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Engenharia de Bauru, UNESP.

ARAÚJO, Ana Paula Cosso Silva; FREITAS, Bruno de Oliveira. Remoção de matéria orgânica e oxidação do nitrogênio amoniacal presente em esgoto sanitário por sistema combinado UASB e biofiltro aerado submerso. *Enciclopédia Biosfera, Goiânia*, v. 10, n. 19, p.1642-1655, 01 dez. 2014.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios*. 2. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2007. 379 p.

FORESTI, E. Fundamentos do processo de digestão anaeróbia. In: *Anais III Taller y Seminario Latinoamericano: tratamiento anaerobio de aguas residuales*. Montevideo, Uruguay, p. 97-110. 1994.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Informações básicas dos municípios*. 2010. Disponível em: < http://www.cidades.ibge.gov.br/download/mapa_e_municipios.php?lang=&uf=sp >. Acesso em: 10 ago 2015.

METCALF, L.; EDDY, H. P., *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. New York, McGraw-Hill, 4th ed., 1334 p., 2003.

RAMOS, Ricardo Augusto. *Avaliação da Influência da operação de descarte de lodo no desempenho de reatores UASB em estações de tratamento de esgoto no Distrito Federal*. 2008. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

RIPLEY, L.E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. *Journal Water Pollution Control Federation*, v.38, p. 406-411, 1986.

SILVA, Julliana Alves da. *Nova configuração de um reator compartimentado anaeróbio/aeróbio para o tratamento de esgoto sanitário de baixa carga*. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental - Saneamento, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2015. Disponível em: < <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/cathedra/28-05-2015/000829007.pdf> >. Acesso em: 12 jun. 2015.

VON SPERLING, Marcos. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 2014. 470 p.

ØDEGAARD, H. *Advanced Compact Wastewater Treatment Based on Precoagulation and moving Bed Biofilm Processes*. *Water Science & Technology*. Vol. 42, No. 12, pp 33-48, 2000.



Anexo 1

Tabela 6 - Valores médios e desvios-padrão da alcalinidade total do efluente nos pontos de amostragem.

Pontos de amostragem	Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)										
	Total (16 semanas)		Fase 1	Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5	
	M ± dp			M ± dp		M ± dp		M ± dp		M ± dp	
P1	361	68	245	305	8	346	34	374	36	434	73
P2	456	89	421	379	63	391	66	467	31	575	14
P3	291	75	241	239	43	241	68	306	67	379	19

Fonte: Autora.

Tabela 7 - Valores médios e desvios-padrão de AO do efluente nos pontos de amostragem.

Pontos de amostragem	AO (mgCH ₃ COOH.L ⁻¹)										
	Total (16 semanas)		Fase 1	Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5	
	M ± dp			M ± dp		M ± dp		M ± dp		M ± dp	
P1	169	29	156	147	11	170	11	187	30	170	45
P2	51	22	67	54	33	43	20	54	12	49	30

Fonte: Autora.

Tabela 8 - Valores médios e desvios-padrão de remoção de DBO do efluente em cada etapa do tratamento.

Etapas do tratamento	Remoção de DBO (%)										
	Total (16 semanas)		Fase 1	Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5	
	M ± dp			M ± dp		M ± dp		M ± dp		M ± dp	
Reator UASB	73	12	65	72	3	81	1	81	3	59	3
FAS	51	23	7	28	16	50	14	54	10	77	11
Total do sistema	87	7	67	80	3	91	3	91	3	91	4

Fonte: Autora.

Tabela 9 - Valores médios e desvios-padrão de remoção de DQO do efluente em cada etapa do tratamento.

Etapas do tratamento	Remoção de DQO (%)										
	Total (16 semanas)		Fase 1	Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5	
	M ± dp			M ± dp		M ± dp		M ± dp		M ± dp	
Reator UASB	71	8	67	72	7	69	10	76	6	66	6
FAS	35	69	-220	67	3	53	7	44	16	48	4
Total do sistema	81	23	-5	91	2	85	5	87	1	83	4

Fonte: Autora.

Tabela 10 - Valores médios e desvios-padrão de remoção de ST do efluente em cada etapa do tratamento.

Etapas do tratamento	Remoção de ST (%)										
	Total (16 semanas)		Fase 1	Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5	
	M ± dp			M ± dp		M ± dp		M ± dp		M ± dp	
Reator UASB	45	13	33	32	13	52	9	48	4	46	4
FAS	18	17	21	14	16	19	30	10	11	25	11
Total do sistema	54	16	47	40	21	60	21	54	8	61	10

Fonte: Autora.

Tabela 11 - Valores médios e desvios-padrão de remoção de SST do efluente em cada etapa do tratamento.

Fases do tratamento	Eficiência de remoção de SST (%)										
	Total (16 semanas)		Fase 1	Fase 2		Fase 3		Fase 4		Fase 5	
	M ± dp			M ± dp		M ± dp		M ± dp		M ± dp	
Reator UASB	76	14	69	68	21	86	9	80	6	72	6
FAS	74	25	56	46	47	75	3	82	11	93	2
Total do sistema	94	6	87	86	11	96	2	97	1	98	1

Fonte: Autora.

Tabela 12 – Relação SV/ST

Pontos de amostragem	STV/ST				SST/SST			
	Semanas				Semanas			
	4	8	12	15	4	8	12	15
0,2 m	0,59	0,51	0,54	0,63	0,62	0,18	0,89	0,79
0,7 m	0,61	0,59	0,59	0,59	0,59	0,71	0,64	0,64
1,2 m	0,45	0,63	0,63	0,64	0,41	0,63	0,62	0,60
1,7 m	0,50	0,80	0,79	0,75	0,33	0,89	0,67	0,72

Fonte: Autora.