

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

EFICIÊNCIA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS COMPOSTA POR REATOR ANAERÓBIO TIPO UASB, SEGUIDO DE UM FLOTADOR POR AR DISSOLVIDO

EFFICIENCY OF A SEWAGE TREATMENT PLANT COMPOSED OF AN ANAEROBIC UASB REACTOR, FOLLOWED BY DISSOLVED-AIR FLOTATION

*Evanuzia Miranda da Silva¹

Giulliano Guimarães Silva²

Sérgio Carlos Bernardo Queiroz³

Kleyber Coelho Oliveira Junior³

Cristina Filomêna Pereira Rosa Paschoalato⁴

Francielly Moreira da Silva Martins⁵

Luciana Rezende Alves de Oliveira⁴

Marcelo Mendes Pedroza²

Recibido el 3 de marzo de 2017; Aceptado el 6 de noviembre de 2017

Abstract

The combination of anaerobic reactors with dissolved air flotation promote high reductions in the amounts of organic matter in wastewater and also have good results in the removal of phosphorus. This study aimed to evaluate the efficiency of the wastewater treatment station known as ETE PRATA, which has UASB system followed by dissolved air flotation in the city of Palmas Tocantins, Brazil. At work it was quantified the removal of nutrients, organic matter and total suspended solids. The experimental data were obtained through the analysis on Effluent Laboratory of Odebrecht Environmental|Saneatins company between April 2013 and April 2014. As for the removal of organic matter (BOD and COD), ETE PRATA showed high efficiency, keeping results always below the limits established in the literature. Regarding the removal of nutrients, ETE remained phosphorus removal percentage always above 77%, except for the months of June, July and October 2013, where there was no removal. As for nitrogen removal was negligible. It is concluded that ETE PRATA has excellent removability of organic matter, with removal values reported in the literature and meets the following release parameters pH, Temperature and DBO according to Resolução CONAMA 430/11.

Keywords: nutrients, organic matter, polishing, removal of phosphorus, wastewater.

¹Laboratório da Área de Meio Ambiente do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Brasil

³Universidade Federal do Tocantins (UFT), Brasil

⁴Universidade da Associação de Ensino de Ribeirão Preto (UNAERP), Brasil

⁵Odebrecht Saneatins, Brasil

*Autor correspondente: Laboratório da Área de Meio Ambiente do Instituto Federal do Tocantins, Campus Palmas, Brasil. AE 310 Sul, Avenida LO 05, s/n - Plano Diretor Sul, Palmas - TO, 77021-090- Brasil. Email: evamiranda@ifto.edu.br

Resumo

A associação de reatores anaeróbios com flotores por ar dissolvido promovem elevadas reduções das quantidades de matéria orgânica de águas residuárias e possuem também bons resultados na remoção de fósforo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência do tratamento de efluentes da estação conhecida como ETE PRATA, que possui sistema de reator UASB seguido por flotação por ar dissolvido, na cidade de Palmas – Tocantins, Brasil. No trabalho foi quantificada a remoção de nutrientes, matéria orgânica e sólidos suspensos totais. Os dados experimentais foram obtidos por meio das análises no Laboratório de Efluentes, da Odebrecht Ambiental | Saneatins, no período entre abril de 2013 e abril de 2014. Em relação à remoção de matéria orgânica (DBO e DQO), a ETE Prata mostrou sua alta eficiência, mantendo resultados sempre abaixo dos limites estabelecidos na literatura. Em relação à remoção de nutrientes, a ETE manteve percentual de remoção de fósforo sempre acima dos 77%, com exceção dos meses de junho, julho e outubro de 2013, onde não houve remoção, já em relação ao Nitrogênio a remoção foi insignificante. Conclui-se que a ETE Prata possui excelente capacidade de remoção de matéria orgânica, com percentuais de remoção condizentes com a literatura e atende ao padrão de lançamento de efluentes nos parâmetros de pH, T °C, DBO da Resolução CONAMA 430/11.

Palavras chave: águas residuárias, matéria orgânica, nutrientes, polimento, remoção de fósforo.

Introdução

A água é um bem indispensável a todas as formas de vida. A preocupação com a preservação e manutenção da qualidade dos recursos hídricos é crescente. No Brasil, a crise hídrica na região sudeste, que teve seu estopim no segundo semestre do ano de 2014, serviu como mais um sinal de alerta para que a sociedade promova mudanças dos hábitos e conceitos com relação ao consumo e preservação das águas.

Segundo Bilotta *et al.*, (2012), esgoto sanitário, efluentes industriais, drenagem pluvial urbana e resíduos sólidos, são as principais fontes poluidoras responsáveis pela alteração da qualidade dos recursos hídricos.

Em particular, o esgoto sanitário sem o devido tratamento, é responsável pelo aumento considerável da concentração de matéria orgânica nos corpos hídricos, redução da concentração de oxigênio dissolvido (OD) disponível para a manutenção da vida dos seres aquáticos, eutrofização por excesso de nutrientes (N e P) e a contaminação por substâncias químicas, fármacos, etc. (Bilotta *et al.*, 2012). Portanto, as estações de tratamento de esgoto possuem papel fundamental na manutenção da qualidade dos corpos hídricos. No Brasil, as Resoluções CONAMA 357/2005 (Conama, 2005) e 430/2011 (Conama, 2011), dispõem sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes no corpo receptor.

Existem diversos processos para o tratamento de águas residuárias, e a associação dos diferentes tipos de tecnologias garantem uma melhor eficiência no tratamento. No Brasil, o método de tratamento mais utilizado é o tratamento biológico, com destaque para os reatores anaeróbios

(UASB, RALF, RAFA), as lagoas de estabilização (aeróbia, anaeróbia, mistura completa, sistema australiano) e os filtros (alta taxa, baixa taxa, aeróbio, anaeróbio) (Tchobanoglous *et. al.*, 2004). Os processos de tratamento anaeróbios ganham destaque frente aos processos aeróbios, devido ao seu baixo custo operacional e as condições climáticas no Brasil (Rolô, 2003). Entretanto, processos anaeróbios geralmente produzem efluentes com qualidade inferior aos padrões estabelecidos pela legislação brasileira, tornando-se indispensáveis unidades de pós-tratamento (Belloni, 2011).

A inserção de uma nova etapa de tratamento visa um polimento do efluente final, permitindo baixas concentrações de nutrientes, microrganismos e matéria orgânica, atendendo assim, os padrões de lançamento estabelecidos pela legislação e diminuindo os danos ambientais aos corpos receptores (Belloni, 2011).

Nesse contexto, a utilização de uma etapa aeróbia ganha força e os flotores por ar dissolvido (FAD) merecem destaque. Eles são constituídos por um tanque com o efluente a ser tratado. No tanque, é injetada água (proveniente do próprio efluente tratado) saturada com ar através de dispositivos de distribuição de fluxo à pressão atmosférica, com isso, a redução da pressão no fluxo de água saturada faz com que a mesma fique supersaturada e o ar em excesso começa a ser liberado sob forma de microbolhas que irão se aderir às partículas em suspensão e promover a flotação (Santos, 2014).

Nesse sentido, o presente trabalho visa avaliar a eficiência de uma estação de tratamento de esgotos (ETE) composta por reator anaeróbio tipo UASB, seguido de um flotor por ar dissolvido (FAD).

Materiais e métodos

O trabalho foi realizado na Estação de Tratamento de Esgoto Prata, localizada a sul da Quadra 607 Sul, próxima a Avenida LO-15, em Palmas–Tocantins, Brasil (Figura 1), que é operada pela empresa Odebrecht Ambiental – Saneatins, cujas coordenadas geográficas são: 10°13'27,01”S e 48°21'05,82”O.

Descrição da ETE Prata

A Figura 2 apresenta o fluxograma dos processos da ETE. O sistema de tratamento da ETE Prata é composto por: tratamento preliminar (gradeamento, remoção de sólidos grosseiros, de areia e gordura), Figura 3, tratamento biológico (composto por Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente – RAFA, do tipo UASB), Figura 4, e tratamento terciário (composto por Flotor por Ar Dissolvido – FAD), Figura 5. O efluente tratado possui duas opções de lançamento: o solo e/ou Córrego Prata. Atualmente é lançado apenas no Córrego Prata.



Figura 1. Localização da ETE Prata em Palmas, Tocantins

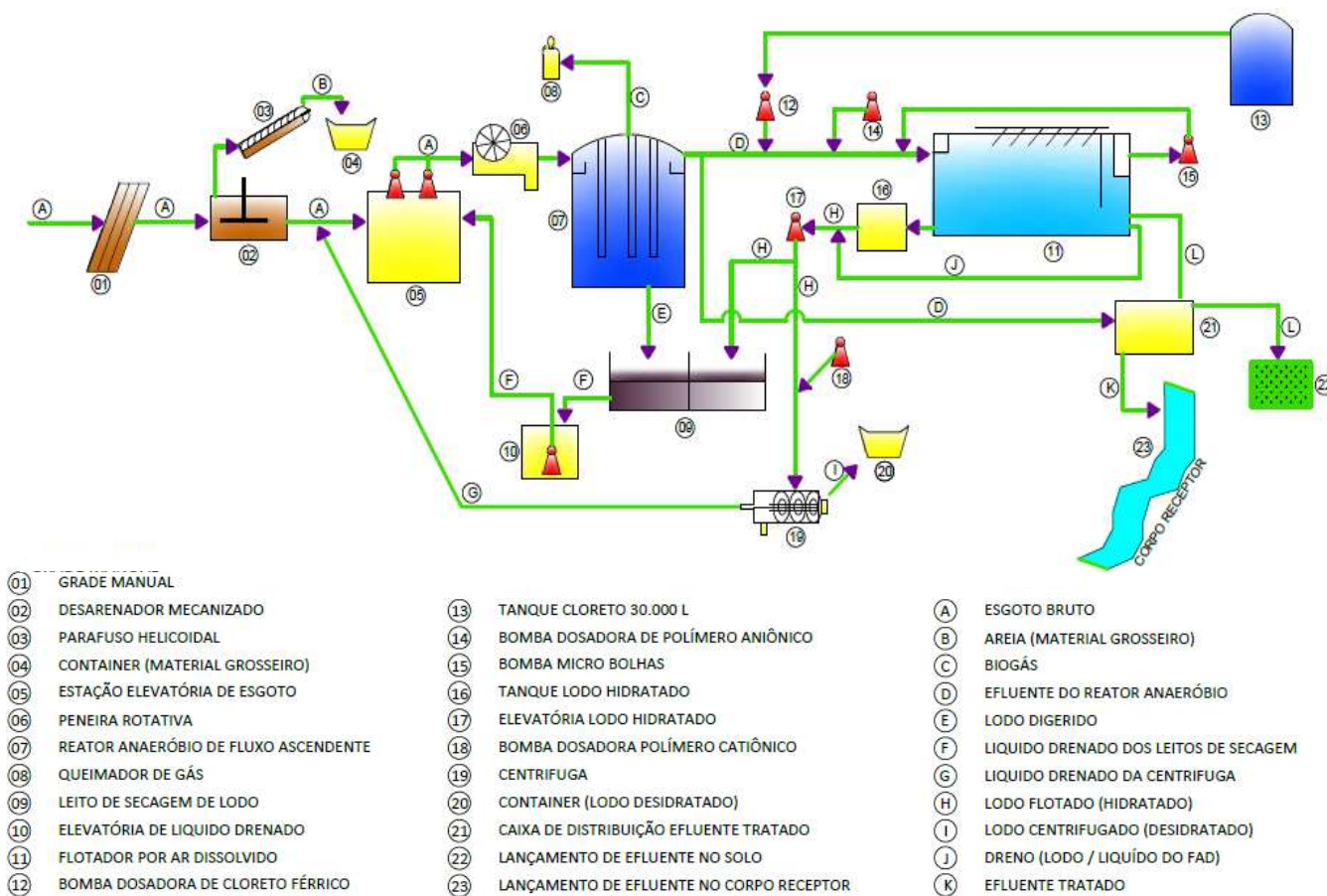


Figura 2. Fluxograma dos processos da ETE Prata.

Fonte: Odebrecht Ambiental – Saneatins.



Figura 3. Tratamiento Preliminar



Figura 4. Tratamiento secundário (reator UASB)



Figura 5. Polimento das águas residuárias da ETE

A ETE Prata possui capacidade para tratar até 70 L/s (252 m³/h) de esgoto, entretanto opera com no máximo 55 L/s (198 m³/h) em função de limitações do corpo receptor. Devido a aspectos técnicos/operacionais, no ano de 2017 a ETE Prata encerrará suas operações, sendo que o esgoto encaminhado a referida ETE será direcionado para a Estação de Tratamento de Esgoto Norte. O lodo produzido na ETE em estudo é enviado para leitos de secagem localizados nas dependências da estação de tratamento.

Flotador por Ar Dissolvido – FAD

No FAD, o efluente proveniente do Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, Reator UASB, recebe dosagem de cloreto férrico de 100 mg/L com objetivo de coagular particulados dispersos no meio a fim de facilitar sua remoção e com auxílio do floculante polímero aniônico aglutina estes flocos formando partículas maiores e através de injeção de microbolhas de ar arrastam estes flocos para superfície do líquido onde são raspados continuamente pelas pás raspadoras do FAD. O lodo raspado é acumulado temporariamente em um tanque, o qual é captado e direcionado a uma centrífuga para a desidratação mecanizada, e o seu líquido retorna para o início do tratamento da ETE Prata. Após a passagem pelo FAD, o efluente tratado é lançado no corpo receptor Córrego Prata.

Monitoramento da estação de tratamento

Cumprindo o objetivo do trabalho, o estudo foi realizado no período de abril de 2013 a abril de 2014. Durante esse período amostras mensais foram coletadas do esgoto bruto e do efluente final, bem como na saída do reator UASB. Foram avaliados os parâmetros, descritos na Tabela 1, de acordo com os métodos descritos no “*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*” (APHA, 2012).

As determinações analíticas foram realizadas no Laboratório de Efluentes, da empresa Odebrecht Ambiental – Saneatins, localizado nas instalações da Estação de Tratamento de Esgoto Norte, em Palmas-TO.

Tabela 1. Parâmetros e métodos utilizados nas análises de amostras

PARÂMETROS	MÉTODO	REFERÊNCIA (APHA, 2012)
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	Frascos padrões	SMEWW 5210D
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Digestão com refluxo fechado/colorimétrico	SMEWW 5220D
Fósforo Total	Digestão com ácido ascórbico	SMEWW 4500P
Nitrogênio Amoniacal Total	Nesslerização direta/ Colorimétrico	SMEWW 4500-NH ₃ F
pH	Eletrométrico	SMEWW 4500H ⁺
Sólidos Suspensos Totais	Gravimétrico	SMEWW 2540B
Temperatura	Termômetro de filamento de mercúrio	SMEWW 2550B

Resultados e discussões

Nessa parte do trabalho são apresentados os resultados dos parâmetros analíticos obtidos no monitoramento da ETE Prata, referente ao período de abril de 2013 a abril de 2014. Vale ressaltar ainda que durante o mesmo período, a ETE Prata operou com o uma vazão média diária de 108.62 m³/h.

pH e Temperatura

Reali *et al.*, (2001), em seus estudos de flotação com efluentes de reatores anaeróbio do tipo UASB, chegou a uma faixa de pH apropriada para coagulação e floculação, que é entre 6.50 e 7.50 (Santos, 2014). De acordo com a Figura 6, e considerando o efluente do reator UASB, em todo o período estudado os valores de pH se mantiveram dentro da faixa apropriada, com exceção dos meses de junho de 2013 e fevereiro de 2014, onde os valores para o pH foram, respectivamente, 7.84 e 5.97. Nesse período o reator encontrava-se em manutenção para a remoção de materiais sedimentados de fundo, o que pode ter contribuído para o abaixamento do pH em torno de 5.97. Analisando o efluente final da ETE, os valores para pH se mantiveram entre 5.72 e 7.20.

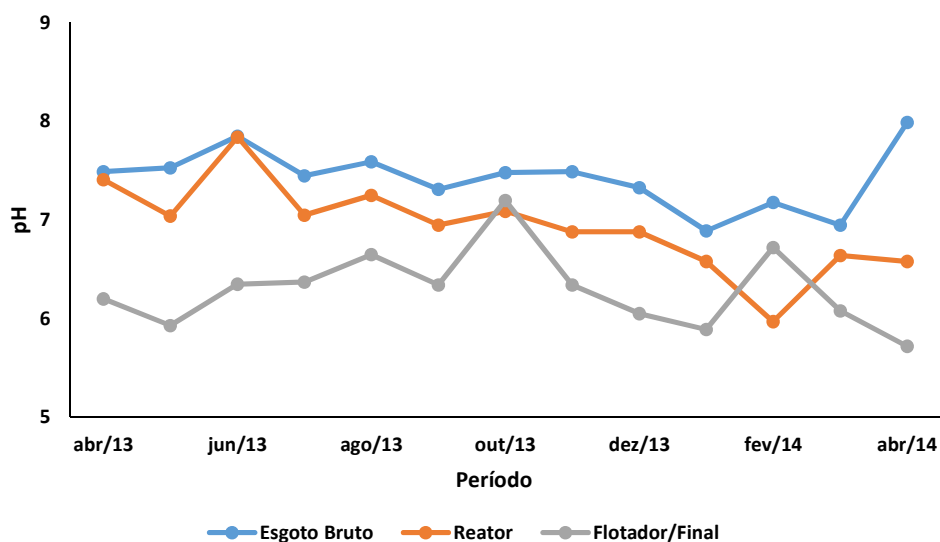


Figura 6. Variação dos valores de pH do esgoto bruto, do efluente do reator e do efluente final

Os valores de temperatura se mantiveram praticamente constantes em todas as etapas do tratamento durante o período estudado, possuindo uma média geral na faixa de 30 °C, temperatura dentro da faixa ideal para atividade biológica, que é de 25 a 35 °C, como pode ser visto na Figura 7. Entretanto foi observada uma ligeira elevação de valores entre os meses de setembro e novembro de 2013. Tal fato pode se justificar pelos referidos meses compreenderem ao fim do período de estiagem e início do período chuvoso do Estado do Tocantins, onde

predominam altas temperaturas. Segundo Tonetti (2008), a temperatura é um dos principais fatores no metabolismo anaeróbio, pois afeta os processos biológicos de diferentes maneiras, com alterações na velocidade do metabolismo das bactérias, no equilíbrio iônico e na solubilidade dos substratos, principalmente os lipídeos (Santos, 2014).

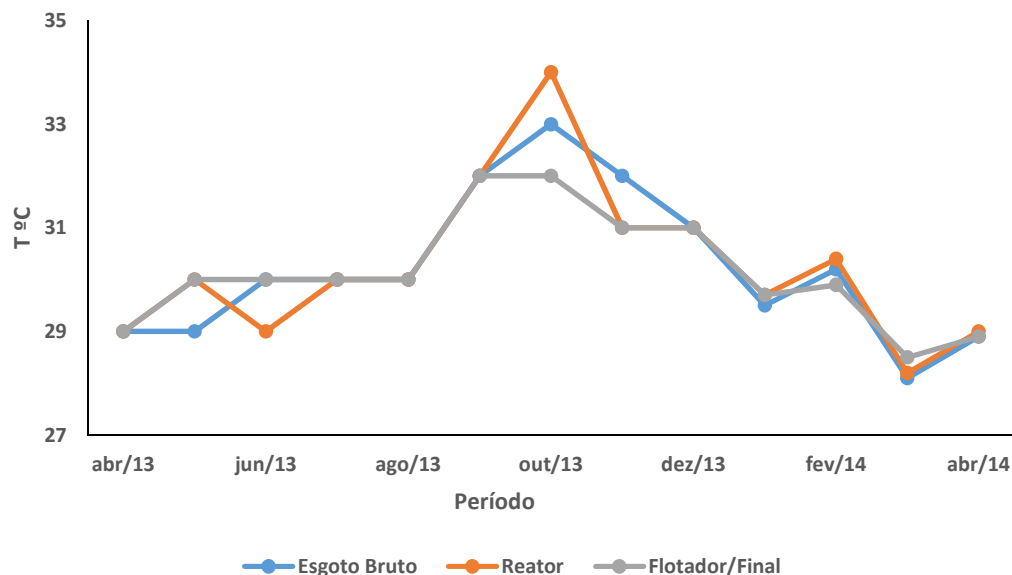


Figura 7. Variações dos valores de temperatura do esgoto bruto, do efluente do reator e do efluente final

Em relação aos parâmetros pH e Temperatura, a Resolução CONAMA 430/2011 estabelece valores de temperatura no efluente tratado inferiores a 40 °C e de pH na faixa entre 5 a 9. Comparando com os resultados obtidos, durante todo o período a ETE Prata atendeu aos limites estabelecidos pela legislação brasileira.

Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO

A Tabela 2 e Figura 8 mostram os dados para a variável DBO nas etapas do sistema experimental durante o período monitorado. Considerando que o flotador recebe efluente de um digestor anaeróbio, onde já aconteceu à redução de parte da matéria orgânica de fácil degradação (79.35 % em Março de 2014), percebe-se um desempenho satisfatório do FAD em termos de eficiência na remoção de DBO. Nos meses de abril e setembro de 2013 a redução foi superior a 90 %. Nos demais meses, o percentual de redução se manteve entre 40 e 79%, como pode ser visto na Tabela 2.

No período chuvoso o sistema apresenta um menor desempenho na remoção de matéria orgânica provavelmente devido à entrada de água da chuva na tubulação de esgoto, implicando

assim na redução da cinética de degradação de material orgânico no sistema. Por problemas técnicos, não foi possível comparar com os resultados obtidos durante o monitoramento do reator nos meses de agosto e outubro de 2013.

De acordo com a eficiência global, o sistema obteve excelente remoção de DBO, pois durante todo o período estudado, a concentração que mais se aproximou da máxima estabelecida pela Resolução CONAMA 430/2011, que é de 120 mg/L, foi de 85 mg/L no mês de julho de 2013, conforme ilustra Figura 8.

Tabela 2. Percentual de remoção de DBO em cada etapa do sistema e potencial de remoção global

MÊS	% DE REMOÇÃO REATOR	% DE REMOÇÃO FLOTADOR	% DE REMOÇÃO GLOBAL
abr/13	-	96.67	94.87
mai/13	78.18	79.17	95.45
jun/13	62.96	65.00	87.04
jul/13	54.76	55.26	79.76
ago/13	*	*	87.44
set/13	57.06	97.28	98.83
out/13	*	*	93.79
nov/13	77.00	75.65	94.40
dez/13	75.00	56.00	89.00
jan/14	73.96	72.80	92.92
fev/14	73.96	53.60	87.92
mar/14	79.35	54.74	90.65
abr/14	82.35	40.00	89.41

* = Problemas técnicos com as amostras. - = Sem remoção.

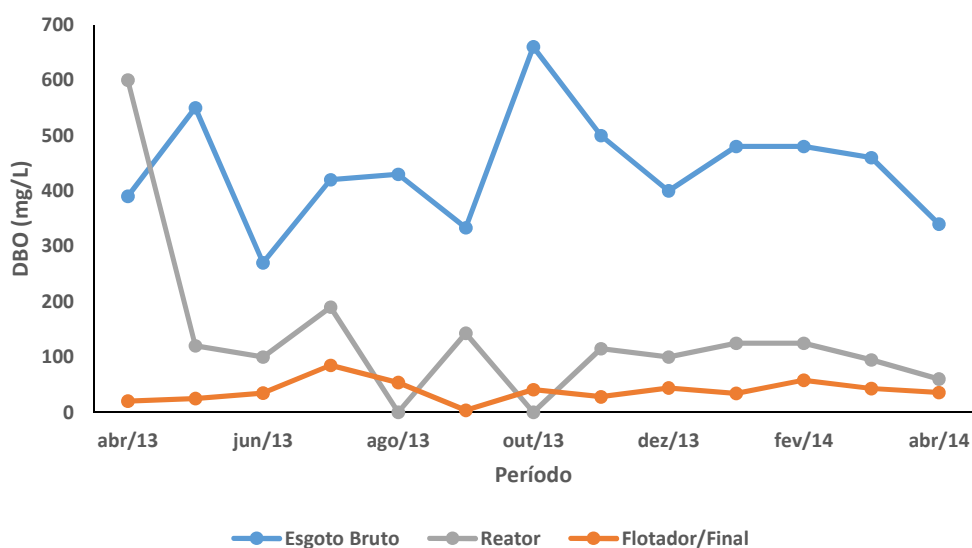


Figura 8. Concentração de DBO nas etapas do sistema

Alguns estados brasileiros possuem legislação própria que regulamentam limites para lançamento de efluentes não preconizados na Resolução CONAMA 430/2011, e que restringem ainda mais outros descritos na referida Resolução. É o caso dos estados de São Paulo e Minas Gerais, que em suas legislações estabelecem limite máximo de 60 mg/L para DBO. Caso o Estado do Tocantins venha a adotar os padrões estabelecidos nos estados anteriormente mencionados, a ETE Prata não conseguiria atender o limite apenas no mês de julho de 2013, quando foi lançado 85 mg/L de DBO.

Demanda Química de Oxigênio – DQO

O flotador estudado nessa pesquisa também obteve bons índices de redução de DQO. No mês de março de 2014, devido a problemas operacionais no sistema, não foi possível estimar o percentual de redução desse parâmetro, conforme Tabela 3 e Figura 9. Considerando a eficiência global, o sistema apresentou excelentes índices de redução, se mantendo sempre acima de 82%, conforme ilustra Tabela 3.

Tabela 3. Percentual de remoção de DQO de cada etapa do sistema e percentual de remoção global

MÊS	% DE REMOÇÃO REATOR	% DE REMOÇÃO FLOTADOR	% DE REMOÇÃO GLOBAL
abr/13	-	96.40	95.35
mai/13	70.30	87.54	96.30
jun/13	26.67	86.78	90.30
jul/13	37.29	72.25	82.60
ago/13	32.88	84.63	89.69
set/13	32.57	91.78	94.46
out/13	60.46	86.34	94.60
nov/13	68.03	67.06	89.47
dez/13	66.91	78.15	92.77
jan/14	65.82	75.08	91.48
fev/14	57.71	78.06	90.72
mar/14	90.08	-	90.08
abr/14	51.30	73.76	87.22

- = Sem remoção

A legislação brasileira não estabelece padrões para o lançamento de DQO e o Estado do Tocantins também não dispõe de legislação específica. O Estado de Minas Gerais, por exemplo, através da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008, estabelece que o valor limite para DQO de 180 mg/L ou no mínimo 55% de eficiência de remoção e com média anual igual ou superior a 65% para os sistemas de esgotos sanitários.

Considerando a legislação vigente no estado de Minas Gerais, a ETE Prata obteve excelentes índices de remoção global de DQO, sendo que o mês com menor índice de redução, julho de 2013, obteve valor de 126 mg/L de DQO, bem abaixo do limite estabelecido pela legislação mineira, conforme expresso na Figura 9.

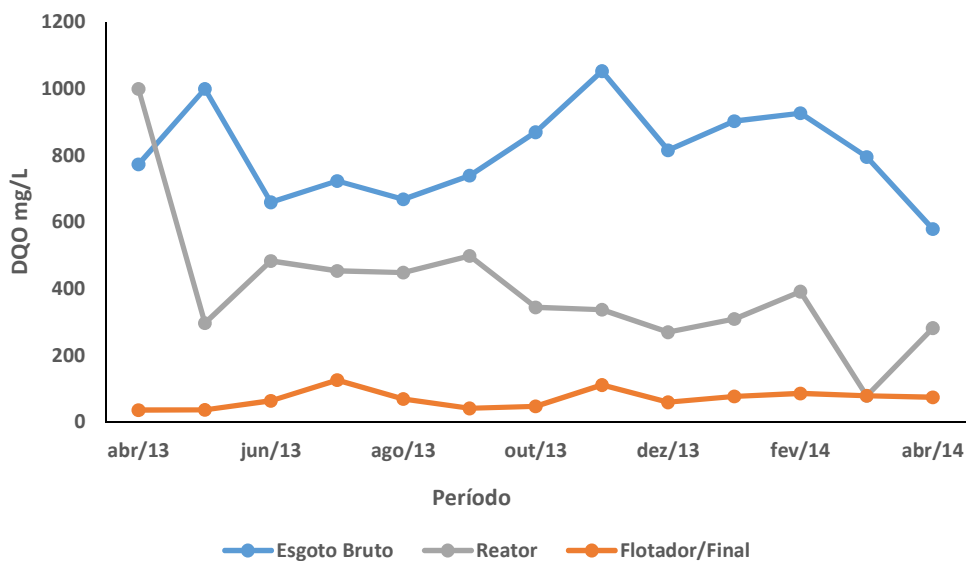


Figura 9. Concentração de DQO nas etapas do sistema

Fósforo Total

A Tabela 7 ilustra o percentual de remoção global do sistema, já a Figura 10 ilustra a concentração fósforo total nas etapas do sistema.

Tabela 7. Percentual de remoção de fósforo em cada etapa do sistema e percentual de remoção global

MÊS	% DE REMOÇÃO REATOR	% DE REMOÇÃO FLOTADOR	% DE REMOÇÃO GLOBAL
abr/13	-	95.02	92.45
mai/13	-	94.29	94.15
jun/13	-	-	-
jul/13	-	35.50	-
ago/13	-	97.32	94.92
set/13	-	86.46	77.09
out/13	-	5.53	-
nov/13	16.16	82.47	85.31
dez/13	14.42	93.35	94.31
jan/14	12.84	91.25	92.37
fev/14	2.95	99.33	99.35
mar/14	-	93.59	91.34
abr/14	-	90.60	89.06

- = Sem remoção

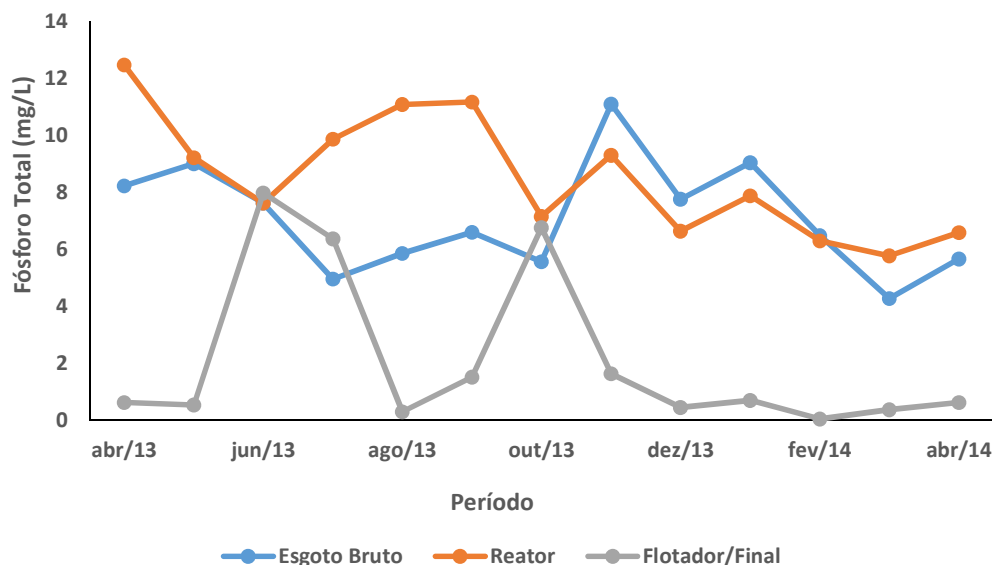


Figura 10. Concentração de fósforo total nas etapas do sistema

Analisando a eficiência global do sistema, a remoção de fósforo se manteve sempre acima de 77%, com exceção dos meses de junho, julho e outubro de 2013, onde não houve remoção, devido a problemas operacionais relacionados à chegada do esgoto bruto na estação em estudo. A resolução CONAMA 430/2011 não estabelece limites específicos para o lançamento de fósforo total no corpo receptor e o Estado do Tocantins também não dispõe de legislação específica.

Comparando-se os resultados obtidos com o limite estabelecido na legislação do Estado do Rio de Janeiro, descrito no documento NT-202.R-10 - Critérios e Padrões para Lançamento de Efluentes Líquidos, a qual estabelece limites de lançamento de 1.00 mgP/L para fósforo total, a ETE Prata, além dos meses onde não houve remoção, não conseguiu se manter dentro dos limites nos meses de setembro e novembro de 2013, onde as concentrações de fósforo total foram, respectivamente, 1.51 e 1.63 mgP/L. Entretanto, nos demais meses a ETE manteve os índices abaixo de 1.00 mgP/L. De acordo com Machado (2007) e Santos (2014), quando sais de ferro são adicionados às águas residuárias, estes reagem com o ortofosfato solúvel e produzem os precipitados $\text{Fe}(\text{OH})_3$ e FePO_4 . Em efluentes com baixa alcalinidade, a adição de uma base pode ser necessária para manter o pH entre 5 e 7. Os sais de ferro são utilizados em uma razão estequiométrica de 1 a 3 íons do metal para 1 íon do fósforo.

O fósforo, que se encontra nas águas residuárias na forma de fosfato, é o principal fator limitante da produtividade na maioria das águas continentais, sendo responsável pelo fenômeno de eutrofização artificial. Os reatores anaeróbios apresentam baixa eficiência na remoção de nutrientes, tais como nitrogênio e fósforo. Faz-se necessária a adoção do processo de coagulação

química e a floculação das partículas presentes nos efluentes de reatores anaeróbios de modo a promover um processo de flotação eficiente, com vistas à remoção desses elementos do efluente final do processo. A hidrofobicidade, a presença de microbolhas de ar e os produtos químicos coagulantes adicionados ao afluente são considerados fatores importantes no sistema de flotação. Para Kovaltchuk (2011), a operação da unidade de flotação envolve diversas variáveis, a saber: vazão de ar, velocidade da dragagem, concentração do coagulante e tipo de polímero. Pesquisa desenvolvida por Machado (2007), com pós-tratamento através da flotação por ar dissolvido em escala real, informa as condições operacionais ótimas para a remoção de fósforo de 98 %. O pesquisador empregou uma concentração de coagulante de 80 mg/L e vazão de ar igual a 20 L/s.

Nitrogênio Amoniacal Total

Com relação a remoção de nitrogênio amoniacal total, a ETE Prata apresentou uma baixa remoção apenas nos meses de abril de 2013 (6.04% de remoção), novembro de 2013 (19.80% de remoção), dezembro de 2013 (5.30%) e abril de 2014 (4.40% de remoção), conforme Tabela 8. O mecanismo de remoção de nitrogênio está relacionado ao comportamento do pH do líquido. A literatura informa uma remoção de amônia eficiente a valores de pH acima de 9.5, não sendo observado isso no sistema aqui estudado, onde o pH se situou em torno da neutralidade em quase todo o período monitorado.

Tabela 8. Percentual de remoção global de nitrogênio amoniacal

MÊS	abr/ 13	mai/ 13	jun/ 13	jul/ 13	ago/ 13	set/ 13	out/ 13	nov/ 13	dez/ 13	Jan/ 14	fev/ 14	mar/ 14	abr/ 14
% DE REMOÇÃO GLOBAL	6.04	-	-	-	-	-	-	19.80	5.30	-	-	-	4.40

- = Sem remoção.

Com isso, o sistema Reator UASB + FAD, confirma sua ineficiência na remoção desse nutriente, conforme já mencionado na literatura (Machado, 2007 e Santos, 2014). Aisse *et al.*, (2001), também avaliaram um sistema Reator UASB + FAD e obteve remoção insignificante de nitrogênio. A Resolução CONAMA 430/2011 estabelece o limite de lançamento de Nitrogênio Amoniacal Total em 20 mgN/L.

Analisando os valores obtidos durante todos os meses de estudo, a ETE lançou efluentes com concentrações entre 52.5 e 71.1 mgN/L, conforme Figura 11, ou seja, bem acima dos limites estabelecidos na legislação vigente. O nitrogênio amoniacal contribui para a depleção do oxigênio dissolvido de corpos aquáticos receptores e também é uma substância tóxica para peixes e outros organismos aeróbios encontrados em rios e lagos.

Segundo dados observados na literatura, as remoções de DBO, DQO e nutrientes, no pós-tratamento em sistema FAD, dependem das variáveis hidrodinâmicas do reator bem como do tipo e concentração do coagulante empregado. Penetra *et al.*, (2009) estudaram o efeito da dosagem de cloreto férrico e da variação do pH, na eficiência de um equipamento de flotação, em escala de laboratório, alimentado com efluente de reator UASB (18 m³), tratando esgoto doméstico. O tempo de detenção no reator UASB era de 8 horas. Os ensaios foram conduzidos com a variação de dosagem de cloreto férrico de 30 a 110 mg/L e de pH de 5.1 a 7.6 com aplicação de cal. Os melhores resultados obtidos na remoção de DQO de 91 %, foram obtidos com dosagem de 65 mg/L do coagulante e pH de 5.3. Nessa dosagem foram observadas as remoções de fósforo total, sólidos suspensos totais, turbidez e cor de 95%, 95%, 97% e 92%, respectivamente.

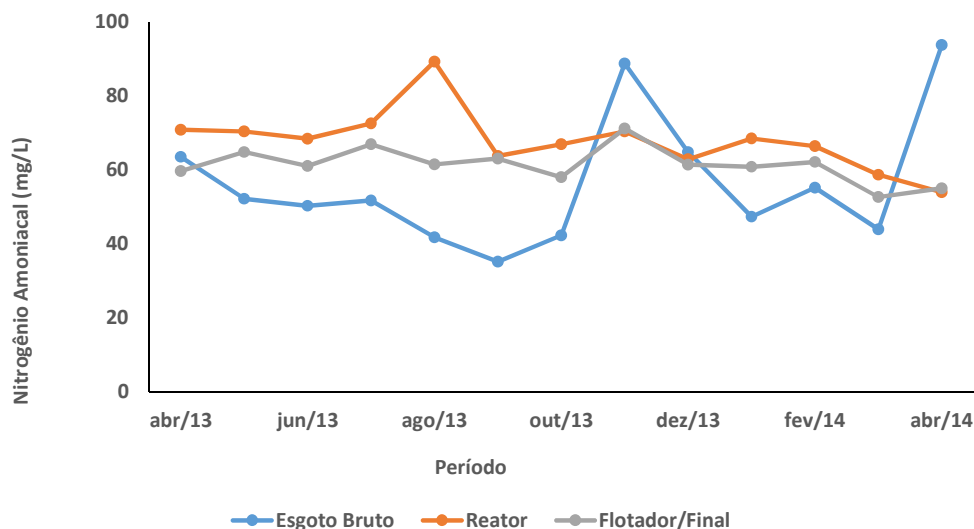


Figura 11. Concentração de nitrogênio amoniacal no esgoto bruto e no efluente final

Kovaltchuk (2011) avaliou o desempenho de um sistema de tratamento de esgotos domésticos composto por reatores anaeróbios seguidos de flotação por ar dissolvido (FAD), em escala real, operado pela Sanepar. A capacidade nominal de tratamento da ETE estudada era de 560 L/s. Para análise da dosagem de coagulante foi utilizado o coagulante cloreto férrico. Os valores das eficiências de remoção obtidos para a ETE foram: DQO = 58%, DBO Total = 61%, DBO Solúvel = 38%, Fósforo Total = 50%, Sulfetos = 48% e Turbidez = 34%, com aplicação média de cloreto férrico de 175 mg/L de solução comercial ou 70 mg/L de sal ativo. Segundo dados da pesquisa, a utilização de pressão de saturação elevada de ar no flotador melhora o desempenho para a remoção de matéria orgânica e nutriente, embora eleve o custo do processo com energia elétrica.

Realí *et al.*, (1998) avaliaram o gradiente médio de velocidade e do tempo de floculação na eficiência do processo de flotação, em escala de laboratório, alimentado por efluente de reator

UASB tratando esgoto doméstico. De acordo com os dados da pesquisa, o tempo de floculação de 15 min, associado a valores de gradiente de velocidade entre 50 e 80 s⁻¹, e o tempo de floculação de 25 min e gradiente de velocidade de 50 s⁻¹, forneceram valores bastante satisfatórios e próximos entre si na remoção de turbidez (entre 97 e 98 %, para velocidade de flotação entre 5 e 15 cm/min).

Sólidos Suspensos Totais – SST

Analisando a eficiência global da ETE Prata, observa-se que a remoção de SST se manteve em ótimos níveis, quase sempre acima dos 80% com exceção dos meses de agosto de 2013 e janeiro e abril de 2014, com percentual de remoção de 74.8%, 79.5 e 78.9%, respectivamente. Observa-se uma diminuição da remoção de sólidos principalmente no período de chuva (entre os meses de novembro a maio). Isso pode ser atribuído à introdução de águas pluvias na rede de esgotamento da cidade de Palmas (Tocantins). O despejo da água pluvial não pode ser feito na rede de esgoto por domicílios, estabelecimentos comerciais e industrias. Essa prática causada pelo desconhecimento do tema ou ligações clandestinas é proibida por lei e passível de punições, pois contribui com o entupimento e refluxo do esgoto em vias públicas e estabelecimentos pelos ralos e vasos sanitários, além de danificar o sistema de esgotamento e interferir nas estações de tratamento. Os valores do percentual de remoção de SST e valores de concentração de SST durante todo o monitoramento estão expressos na Tabela 9 e Figura 12.

Tabela 9. Percentual de remoção de SST em cada etapa do sistema e percentual de remoção global

MÊS	% DE REMOÇÃO REATOR	% DE REMOÇÃO FLOTADOR	% DE REMOÇÃO GLOBAL
abr/13	-	87.50	83.89
mai/13	21.43	91.74	93.51
jun/13	-	96.44	94.34
jul/13	-	91.30	89.02
ago/13	-	78.92	74.87
set/13	-	86.96	86.67
out/13	57.58	75.00	89.39
nov/13	60.96	58.43	83.77
dez/13	72.52	65.28	90.46
jan/14	70.80	29.29	79.35
fev/14	-	93.85	92.31
mar/14	61.02	85.51	94.35
abr/14	47.69	59.80	78.97

- = Sem remoção.

Aisse *et al.*, (2001) conseguiram eficiência de 88% de remoção no sistema UASB + FAD. Sendo assim, os resultados obtidos na ETE Prata comprovam o ótimo desempenho do sistema UASB + FAD no que diz respeito a remoção de SST.

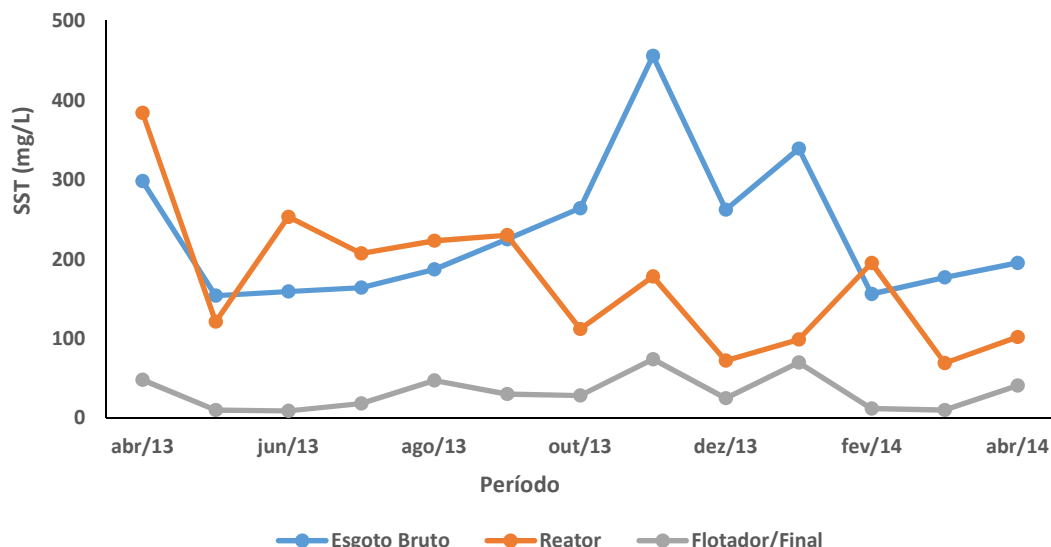


Figura 1. Concentração de SST nas etapas do sistema

Conclusões

Após os resultados obtidos, é possível concluir que:

- A tecnologia de tratamento da ETE Prata mostrou-se muito eficiente na remoção de matéria orgânica (DBO e DQO), obtendo valores próximos ao encontrado na literatura;
- O sistema de flotação por ar dissolvido obteve altos valores de remoção de fósforo total, devido principalmente à aplicação do coagulante cloreto férrico;
- A ETE não apresentou eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal, sendo que os valores no efluente ficaram muito elevados;
- O tratamento de esgotos através de processo biológico seguido ao processo físico-químico apresenta elevada eficiência na remoção de sólidos suspensos totais, fósforo e carga orgânica associada ao material em suspensão, dissolvida ou na forma de colóides. De acordo com os principais resultados obtidos a eficiência de remoção de fósforo foi de até 99 %, o que possibilitou uma melhoria na qualidade ambiental do corpo hídrico receptor dos efluentes da ETE Prata.

Referências bibliográficas

- Aisse, M.M., Lobato, M.B., Sobrinho P.A., (2002). Avaliação do sistema reator RALF e flotação por ar dissolvido, no tratamento de esgoto sanitário. Revista Técnica da Sanepar; **17**(17):49-58.
- APHA, American Public Health Association (2012) *Standard Methods for the Examination of Water and Waste water*. 22nd Edition, 1360 pp

- Assis, R.S.S. (2010) *Remoção de Microcystisaeruginosa e microcistinas por flotação por ar dissolvido: estudo em escala de bancada utilizando sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes*, xviii, 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de Brasília, Brasília.
- Belloni, D.F. (2011) *Desempenho de um filtro biológico aerado submerso utilizando como meio suporte tampas de garrafas pet*. 85pp. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Maringá, Maringá.
- Bilotta, P., Lima, A.B.B.V., Daniel L.A. (2012) Análise de desempenho do carvão ativado e anéis de polietileno em biofiltro aerado para o pós-tratamento de esgoto sanitário. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. 5(2), 37-44.
- Brasil, Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde (2015) *Manual de Saneamento / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde*. – 4. ed. – Brasília: Funasa, 642 pp.
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2005) Resolução 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Acesso em: 10/02/2015. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf
- CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente (2011) Resolução 430. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. Ministério do Meio Ambiente. Acesso em: 10/02/2015. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646
- Kovaltchuk, G.E. (2011) *Avaliação do sistema de flotação por ar dissolvido como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: estudo de caso*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.
- Machado, F.R. (2007) *Remoção de fósforo na unidade de flotação da estação de tratamento de esgoto*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG.
- Penetra, R.G., Reali, M.A.P., Foresti, E., Campos, J.R. (2009) Post-Treatment of effluents from Anaerobic Reactor retains domestic sewage by dissolved-air flotation. *Wat. Sci. Tech.*, 40, 137 – 143p.
- Reali, M.A.P., Penetra, R.G., Campos, J.R., Foresti, E. (2001) Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbiospor Sistema de Flotação. In: CHERNICHARO, C.A.L. (Coord.). *Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios*. Belo Horizonte/MG: [s.n.], 2001.
- Reali, M.A.P., Penetra, R.G., Campos, J.R. (1998) Influência da floculação na flotação de efluentes de reatores anaeróbios UASB. In: *Anais do XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental*. Lima, Peru.
- Rolô, M.C. (2003) *Pós-tratamento de reator UASB utilizando filtro biológico aerado submerso*. 2003. 200p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Santos, M.A. (2014) *A flotação por ar dissolvido como alternativa ao tratamento de efluente mineral visando ao reuso da água e à melhoria do processo de flotação de apatita*. Tese de Doutorado.
- Soares, M.L. (2010) *Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica de Tratamento de Esgoto para um Campus Universitário*. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Tecnologia. Curso de Engenharia Civil. Ijuí, Rio Grande do Sul.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (2004) *Waste water engineering, treatment and reuse*. ed. 4, Ed. Metcalf & Eddy, McGraw Hill, New York.
- Tonetti, A.L. (2008) *Tratamento de esgotos pelo sistema combinado filtro anaeróbio e filtros de areia*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 187p.
- Von Sperling, M. (2005) *Princípio do Tratamento Biológicos de Águas Residuárias*. Vol. 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFM