

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO POR SISTEMA COMBINADO ANAERÓBIO SEGUIDO DE AERÓBIO

Sérgio Carlos Bernardo Queiroz (UFT) sergiocbq@gmail.com

Rafisa Joicy O. Teixeira (UFT) rafisa.oliveir@gmail.com

Andrea B. Silva Queiroz (UNAERP) andreabritosilva@gmail.com

Giulliano Guimarães Silva (IFTO) giullianogsilva@gmail.com

Cristina F. P. Rosa Paschoalato (UNAERP) cpascho@unaerp.br

Luciana Rezende Alves de Oliveira (UNAERP) lroliveira@unaerp.br

Francielly M. S. Martins (BRK) franciellymoreira@brk.com.br

Resumo: No presente trabalho foram avaliados os dados de monitoramento para uma unidade de tratamento de esgoto doméstico composta por dois módulos de lodos ativados, pré-tratado anaerobicamente em reatores UASB, visando a remoção de nitrogênio e fósforo. O sistema de lodos ativados é constituído por câmara anóxica, anaeróbia, aeróbia e decantadores em sequência. A vazão, o tempo de detenção hidráulico (TDH) e idade do lodo adotadas foram as de projeto, de 110 L/s, 11 horas e 40 minutos e idade do lodo de aproximadamente 29 dias. Foi possível obter as seguintes conclusões: a) Para a remoção de matéria orgânica com relação a DBO o sistema foi eficiente e alcançou 76,4%, com remoção global de 94,4%. Para a DQO, esses valores foram próximos e resultaram em 72,1% b) O sistema de lodos ativados como pós-tratamento de reatores anaeróbios não foi eficiente na remoção de nitrogênio devido à pouca disponibilidade de matéria orgânica para os microrganismos que realizam a desnitrificação; c) Em se tratando do nitrogênio amoniacal total, as eficiências médias alcançadas foram de 18,3%; d) Com relação ao fósforo, esperava-se alcançar remoções acima de 80%, o que não ocorreu. A eficiência não superou 26%.

Palavras-chave: Sistemas de lodos ativados, nitrogênio amoniacal, fósforo, eficiência.

EVALUATION OF PERFORMANCE OF THE SANITARY SEWAGE TREATMENT BY AEROPIAN COMBINED ANAEROBIC SYSTEM

Abstract: The objective of this study was to evaluate the hydrodynamic behavior of an aerobic reactor in pilot scale, with the variables: filling, aeration, flow rate, hydraulic retention time (HRT), and type of tracer application. The reactor was designed to be used as a post-treatment of an anaerobic filter. Assays were performed with methylene blue tracer (1%) diluted applied (in 0,5 mL L⁻¹ solution to continuous flow) and concentrated (applied sinusoidal pulse type). Sodium chloride in solution 0,5 g L⁻¹ was also used. The results were analyzed by absorbance monitoring and electrical conductivity. As well as the hydrodynamic studies, visual observations of the mixture with methylene blue were accompanied by photographs taken at constant periods. The data were worked in a computer program (MATLAB®) for tabulation, charting and evaluation of images. The results of tests with methylene blue helped to understand the hydrodynamics of the studied aerobic reactor. The presence of biomass in the reactor did not affect the mixing of licor if the latter is subjected to aeration, demonstrating that, by the hydrodynamic aspect, the reactor can be used as post-treatment of an anaerobic filter for treating organic waste water, the purpose for which it was designed.

Keywords: hydrodynamic behavior, tracer, methylene blue, sodium chloride.

1. INTRODUÇÃO

Alguns requisitos devem ser levados em consideração no projeto e construção de sistemas de tratamento de esgoto, entre eles, incluem-se baixos custos de implantação e operacionais, menor dependência de fornecimento de energia e impacto ambiental, eficiência na remoção de poluentes, baixa produção de lodo, menores requisitos de áreas e simplicidade operacional.

A tecnologia anaeróbia vem se consolidando como uma alternativa para o tratamento de esgotos domésticos no Brasil, uma vez que apresenta uma menor taxa de geração de lodo e ocupa menores áreas para construção, no entanto, demanda pós tratamento devido ineficiência na sua remoção de nutrientes e patógenos. Sendo assim, faz-se necessário remover parte dessas substâncias poluentes de forma a atender aos padrões de emissão de efluentes impostos pela legislação, assegurando a qualidade das águas dos corpos receptores (FLORENCIO *et al.*, 2006).

Neste intuito, o sistema de lodos ativados vem como uma alternativa para o pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, pois, associa vantagens de economia de energia e baixa produção de lodo aliado a uma elevada qualidade do efluente final (CHERNICHARO, 2001).

Ferreira e Coraiola (2008) em estudo de tratamento de lodos ativados com aeração convencional e em fluxo contínuo mostraram que o esgoto bruto é transportado até o tanque de aeração no qual é injetado oxigênio através de difusores de ar, onde bactérias aeróbias aceleram as atividades biológicas de degradação e formam o lodo em suspensão, o qual é separado na unidade de decantação, recirculado para o tanque de aeração e o excedente conduzido ao setor de tratamento de lodo.

Nos trabalhos de Freire *et al.*, (1999), esta configuração foi alterada, o decantador primário foi substituído por um reator anaeróbio de manto de lodo com fluxo ascendente (RAFA) e o lodo ativo recirculava para o afluente do reator, resultando em eficiências elevadas.

Devido às altas eficiências alcançadas e requerimento de pequenas áreas para implantação, o sistema de tratamento por lodos ativados é o mais empregado no mundo todo e utiliza princípios baseados na oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos que estão presentes no esgoto, de forma que a eficiência desse sistema depende da capacidade de floculação dos microrganismos e composição dos flocos formados (BENTO *et al.*, 2005).

A floculação de bactérias é um fator de extrema importância, pois, é a partir dela que há a separação entre o efluente e a biomassa que recircula no sistema (CORDI *et al.*, 2008).

Estão presentes nos sistemas de lodos ativados predominantemente microfauna (protozoários e micrometazoários), sendo encontrados fungos, leveduras e bactérias, algumas filamentosas, que podem estar presentes tanto livres como no floco e são responsáveis por degradar a matéria orgânica presente no esgoto (METCALF e EDDY, 2014).

Oliveira e von Sperling (2005) realizaram um estudo avaliando o desempenho de 166 ETE's nos estados de São Paulo e Minas Gerais e concluíram que o tratamento de esgoto por lodos ativados obteve melhor eficiência de remoção de matéria orgânica quando comparado aos demais e eficiente remoção de quase todos os parâmetros avaliados.

Desta forma, o tratamento de esgoto por lodos ativados pode apresentar como principais vantagens, o requerimento de menores áreas para sua construção, a economia de energia quando em consórcio com tratamentos anaeróbios, além de sua eficiência na remoção de poluentes, o que pode resultar em um efluente final de elevada qualidade.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho do tratamento de esgoto sanitário por sistema combinado anaeróbio seguido de aeróbio, visando à remoção de demanda bioquímica de oxigênio (DBO5 dias, 20°C), Demanda química de oxigênio (DQO), sólidos, nitrogênio amoniacal e fósforo total.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na ETE Norte localizada no Setor Vila União, Latitude 10° 9'3.06" S e Longitude 48°21'29.22" O, no município de Palmas, Tocantins. Os processos que envolvem o tratamento do esgoto da ETE Norte podem ser visualizados no fluxograma da Figura 1.

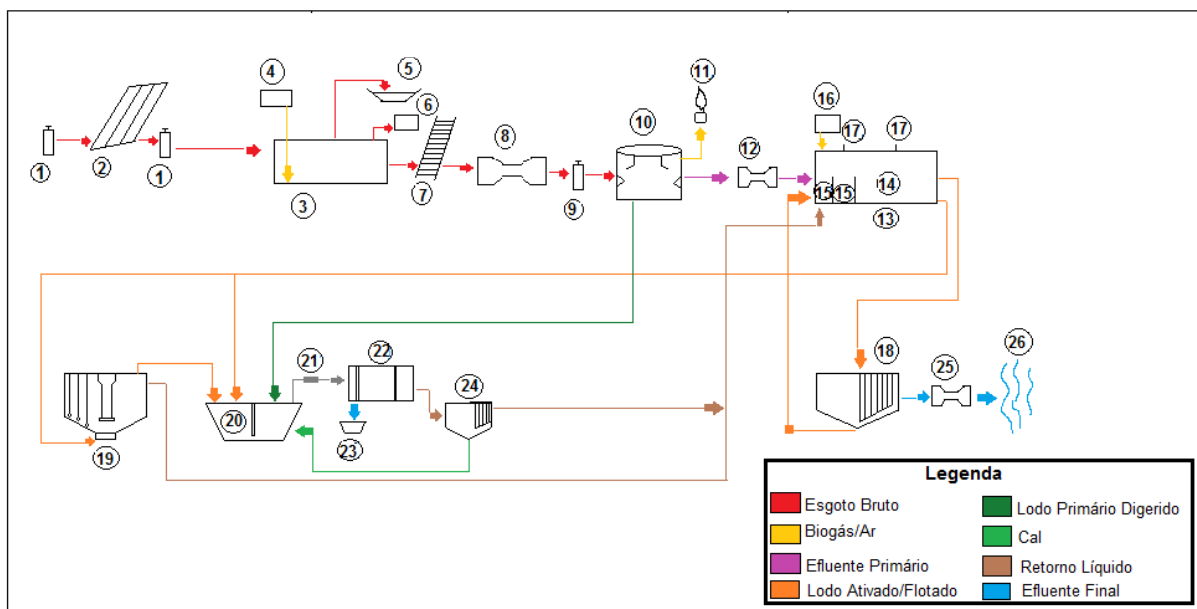


Figura 1 - Fluxograma de processos da ETE Norte.

Legenda: Comportas (1), Grade Fina Mecanizada (2), Desarenador Aerado (3), Soprador de Ar (4), Caçamba de Areia (5), Caixa de Gordura (6), Peneiras StepScreen(7), Calha Parshall (8), Comporta do Reator Anaeróbio (9), Reator UASB (10), Queimador de Gás (11), Calha Parshall (12), Reatores de Lodos Ativados (13), Propellers (14), Misturadores Submersíveis (15), Sopradores de Lodo Ativado (16), Sondas de Oxigênio Dissolvido (17), Decantador Secundário (18), Flotador por Ar Dissolvido (19), Tanque de Lodo (20), Medidor de Vazão de Lodo (21), Centrífuga (22), Caçamba de Lodo Desidratado (23), Decantador de Lodo não capturado (24), Calha Parshall (25), Lago de Palmas (26).

Ao sair do reator UASB o efluente é direcionado para o reator de lodos ativados (RLA), o efluente entra sequencialmente na zona anaeróbia, anóxica, em circuito do tipo carrossel. Nestas, tem instalados misturadores submersíveis de lodo (15) e as zonas aeróbias que tem o tratamento processado através de sopradores de ar (16). O processo de desnitrificação ocorre

através de propulsores do tipo “*propeller*” (14) que impulsionam a recirculação do lodo da zona aeróbia para a zona anaeróbia. As sondas de oxigênio dissolvido (17) são instaladas em vários pontos do tanque com intuito de controle deste parâmetro. A seguir, o efluente dos reatores de lodos ativados segue para o decantador secundário (18). O lodo sedimentado desta última fase é removido através de ponte raspadora e recirculado até a fase anaeróbia do tanque de aeração do sistema de lodos ativados. Assim, o efluente final proveniente dos decantadores secundários segue até a calha *Parshall* (25) e em seguida é lançado no Lago de Palmas. A tabela 2 descreve os parâmetros de projeto adotados. Os parâmetros de operação utilizados foram tempo de detenção hidráulico de 11,66 h, vazão de 110 L/s e a idade do Lodo de 29 dias.

Descrição dos Reatores do Sistema de Lodos Ativados

O tratamento da ETE Norte é realizado em dois módulos compostos de reator anaeróbio de fluxo ascendente (RALF), reator de Lodos Ativados (RLA) e decantador (DEC) secundário.

Esses módulos são compostos pelas mesmas dimensões e suas características podem ser vistas a seguir. Na Tabela 1 estão descritas as características gerais do sistema de lodos ativados.

Tabela 1 - Características gerais do sistema de lodos ativados.

Característica	RALF	RLA	DEC
Formato	trapezoidal	tronco piramidal	circular
Comprimento/Diâmetro (m)	52	53	22,4
Largura (m)	19,55	23	-
Profundidade (m)	5,50	6	3,88
Volume Útil (m ³)	16176	4619	1528
Tempo de detenção hidráulico (h)	8	12	4,33

A disposição e o formato dos tanques de aeração e decantadores estão demonstrados no croqui esquemático da figura 2.

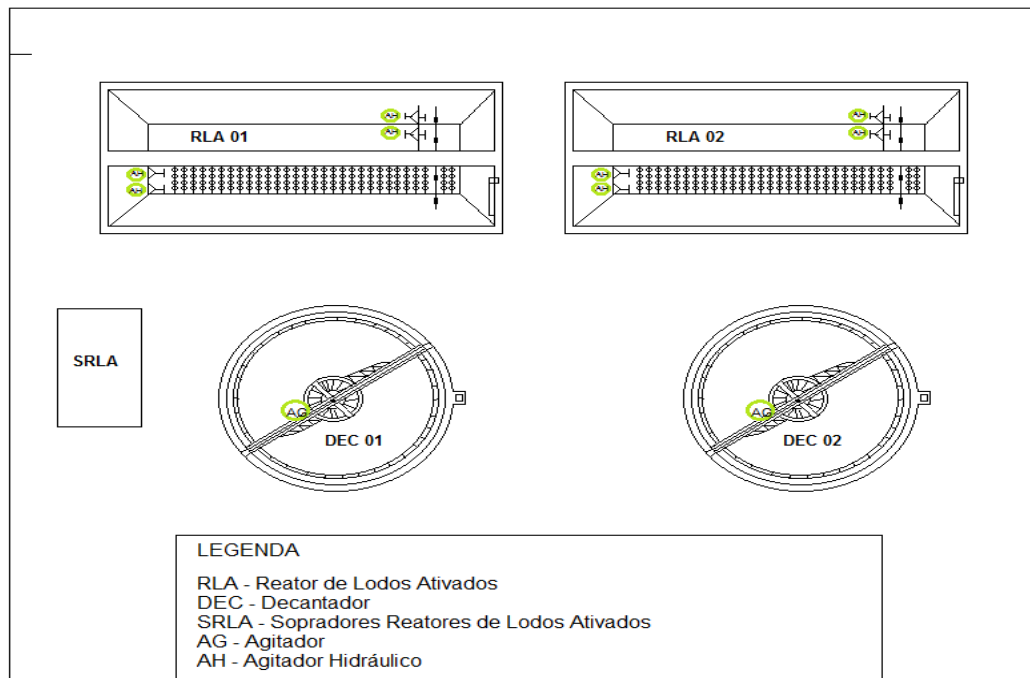


Figura 2 - Croqui esquemático do Sistema de Lodos Ativados da ETE Norte.

O volume da câmara anóxica corresponde a 1.889 m³, da câmara anaeróbia 420 m³ e da câmara aeróbia de 2.310 m³.

O processo que ocorre usualmente na ETE é a saída do efluente do tratamento preliminar para o módulo 1 do RALF (RALF 1), daí seguir em direção ao RLA 1 e na saída deste, para o DEC 1. Da mesma forma ocorre no módulo 2 composto por UASB 2, RLA 2 e DEC 2. Ao final dos decantadores, o efluente é direcionado para um medidor hidráulico do tipo calha *parshall* na qual ocorre a mistura para então seguir ao corpo receptor.

A seguir, a visão geral do sistema de tratamento terciário por lodos ativados da ETE Norte.

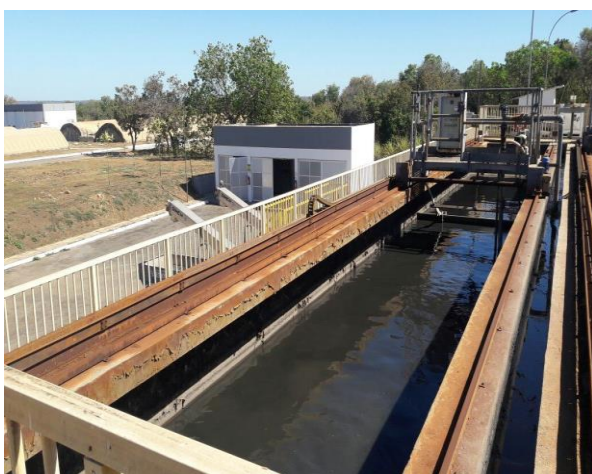




Figura 4 - Vista lateral zona aeróbia aerada.

Figura 3 – Chegada de esgoto bruto



Figura 5 - Vista lateral zona anaeróbia, anóxica do reator de lodos ativados.



Figura 6 - Efluente tratado no final do decantador.

Análises físico-químicas e microbiológicas

Todas as análises físico-químicas e microbiológicas foram feitas de acordo com o APHA *et al.* (2005) e os métodos de cada análise estão descritos na tabela 2.

Tabela 2 - Métodos utilizados para análises físico-químicas.

Parâmetro	Unidade	LQM	Método
pH	-	0,01	SMEWW 4500H+B
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg O ₂ /L	1	SMEWW 5210 D
Demanda química de oxigênio	mg O ₂ /L	10	SMEWW 5220 D
Fósforo total	Mg P/L	0,001	SMEWW 4500P E
Nitrato	mg NO ₃ /L	0,01	SMEWW 4500-NO ₃ ⁻ E
Nitrito	mg NO ₂ /L	0,001	SMEWW 4500-NO ₂ ⁻ B
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	0,01	SMEWW 4500-NH ₃
Sólidos suspensos fixos	mg/L	1	SMEWW 2540 D
Sólidos suspensos totais	mg/L	1	SMEWW 2540 D
Sólidos suspensos voláteis	mg/L	1	SMEWW 2540 D

Temperatura	°C	0,1	SMEWW 2550 B
-------------	----	-----	--------------

LQM: Limite de quantificação do método

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo segue os resultados obtidos durante o período de estudo. O ponto de coleta “Saída Lodos Ativados” corresponde ao efluente final da ETE na saída do Decantador após o tanque de aeração.

3.1 – Comportamento da Temperatura

Como pôde ser visto na tabela 3, as temperaturas no geral se mantiveram dentro da faixa considerada como ideal para o crescimento e sobrevivência dos microrganismos que varia entre 20 e 30°C, podendo chegar até 40°C no máximo (SPERLING, 1997). Ainda segundo o autor, a temperatura pode ocasionar mudanças na biomassa do sistema e alteração no oxigênio dissolvido da água.

SILVA FILHO (2009) demonstrou como a temperatura, em conjunto com outros fatores ambientais como o pH influenciam na cinética de nitrificação e determinou a faixa de temperatura em cerca de 35°C em sistemas de lodos ativados para que ocorra nitrificação.

SANTOS (2009) em seus estudos também mostrou como a temperatura influencia no metabolismo microbiano de bactérias heterotróficas, principalmente naquelas que realizam a desnitrificação, podendo a faixa ideal de temperatura estar entre 30 e 40°C.

Assim, as temperaturas encontradas favorecem os processos de tratamento, uma vez que elas afetam diretamente o metabolismo microbiano.

Tabela 3 – Estatística descritiva dos valores de Temperatura

	Esgoto Bruto	Saída UASB	Saída Lodos Ativados
Média	31,05	31,06	31,31
Mínima	29,80	29,50	29,40
Máximo	33,20	32,60	34,10
Desvio Padrão	1,11	0,75	1,13

3.2 – Comportamento do pH

Observando os dados da tabela 4, nota-se que o pH se manteve próximo à neutralidade, não ultrapassando 7,44 no final do tratamento que foi o máximo verificado. O mínimo foi de 6,38 na saída do reator UASB.

A Resolução CONAMA 430/2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes estabelece a faixa de pH ideal entre 5 e 9. Para o período avaliado, o efluente do reator UASB e do sistema de lodos ativado se mantiveram dentro da faixa considerada ideal para o lançamento de efluentes.

Tabela 4 – Estatística descritiva dos valores de pH.

	Esgoto Bruto	Saída UASB	Saída Lodos Ativados
Média	6,94	6,70	7,05
Mínima	6,50	6,38	6,70
Máximo	7,30	6,97	7,44
Desvio Padrão	0,23	0,17	0,20

3.3 –Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO).

As figuras 7, 8, 9 e 10 apresentam os dados de DBO e DQO no sistema, sendo que as figuras 7 e 9 mostram a variação dos valores por meio de gráfico boxplot e as figuras 8 e 10 apresentam o percentual de remoção no sistema.

A DBO do esgoto bruto apresentou valores normalmente citados na literatura (entre 150 a 460 mg/L). O efluente do reator UASB apresentou valores bons para este tipo de tecnologia (abaixo de 100 mg/L) e o efluente final com concentrações inferior a 30 mg/L.

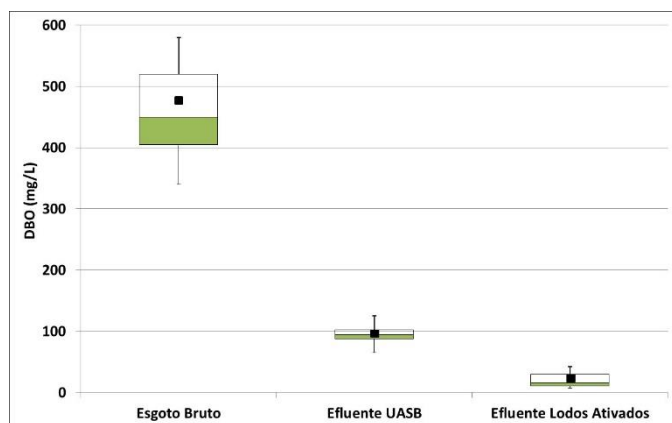


Figura 7: Gráfico Boxplot de DBO

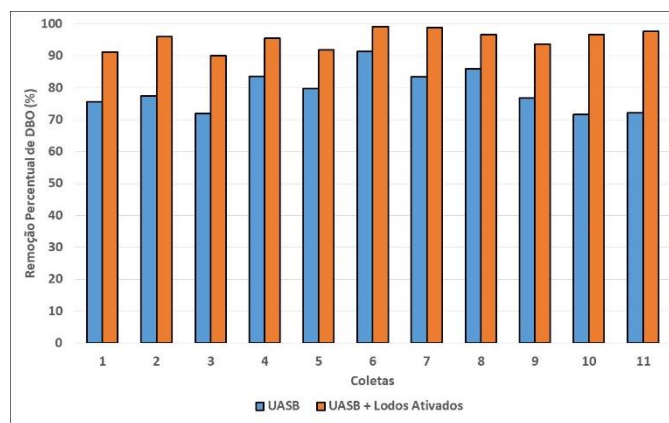


Figura 8: Percentual de remoção de DBO

É importante ressaltar que os reatores de lodos ativados foram projetados para uma DBO afluente de apenas 80 mg/L, o que pode ter impactado o funcionamento das unidades de tratamento.

Na Resolução Conama 430/2011 a concentração máxima permitida é de 120 mg/L, a qual foi atendida satisfatoriamente de acordo com os resultados.

Em relação ao percentual de remoção DBO, nota-se que o reator UASB é o responsável pela maior parcela de remoção, média 81%, sendo que o Lodos Ativados eleva a remoção global da ETE para 94% de média. Vários estudos como já citados no presente trabalho mostram remoção de DBO comumente encontradas nos sistemas de lodos ativados que variam de 80 a 95%, sendo assim, entre os sistemas citados e suas referidas remoções, o presente avaliado mostrou estar dentro do esperado em termos de DBO.

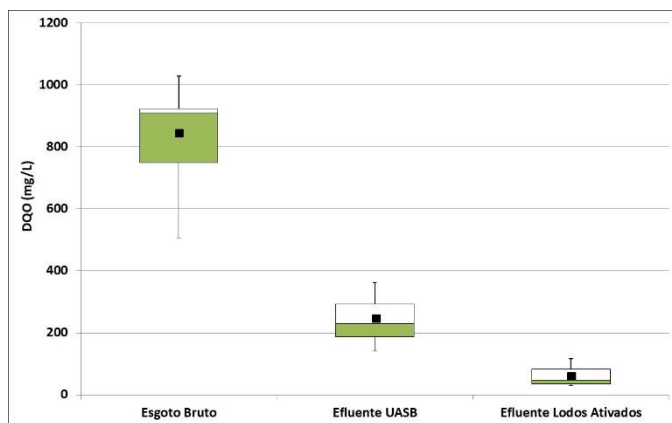


Figura 9: Gráfico Boxplot de DQO

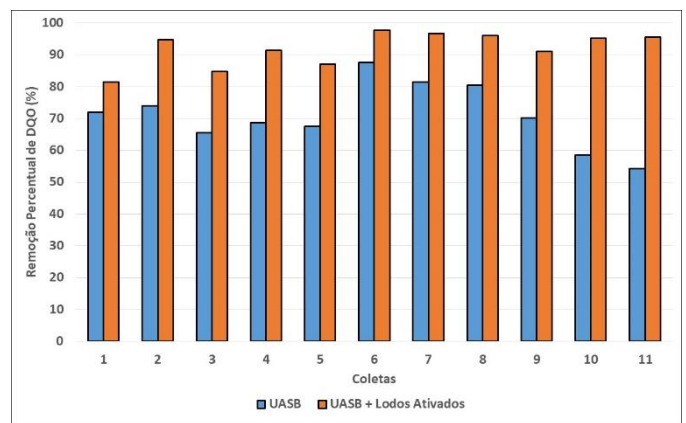


Figura 10: Percentual de remoção de DQO

De forma geral a DQO apresentou comportamento semelhante ao encontrado na DBO. Com o reator UASB removendo a maior parcela de matéria orgânica (73%) e remoção global da ETE de 92%. Os valores também ficaram dentro do que a literatura relata (70 a 90%).

3.5 – Sólidos Suspensos Totais (SST)

Com relação a remoção de SST, os valores oscilaram de forma significativa tanto quanto os reatores UASB quanto para o Lodos Ativados. Essa variação denota a existência de instabilidade e pode demonstrar a necessidade de melhor controle dos processos de recirculação do lodo de digestão dos reatores e de descarte.

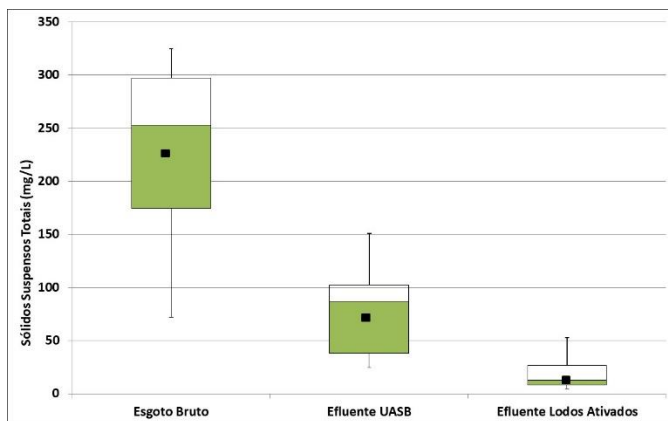


Figura 11: Gráfico Boxplot de SST

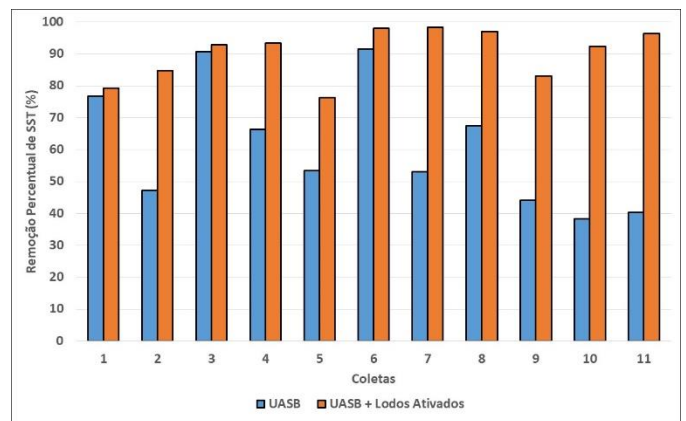


Figura 12: Percentual de remoção de SST

3.6 – Nitrogênio e Fósforo

A Resolução Conama 430/2011 não estabelece limites para lançamento de Nitrogênio Amoniacal em esgotos de origem doméstica. Entretanto, a ETE Norte foi projetada para realizar a remoção biológica de nitrogênio (nitrificação e desnitrificação). Porém quando analisamos os dados, percebe-se que não houve esta remoção, pois os valores de nitrogênio amoniacal não foram reduzidos no decorrer das etapas de tratamento.

VON SPERLING (2005) cita que a introdução de uma etapa físico-química nesse tipo de configuração pode ser necessária para aumentar a eficiência na remoção de nutrientes, o que não ocorre na ETE Norte.

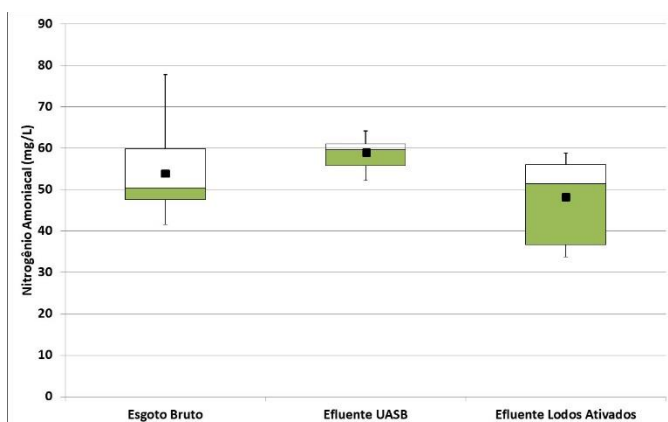


Figura 13: Gráfico Boxplot de Nitrogênio Amoniacal

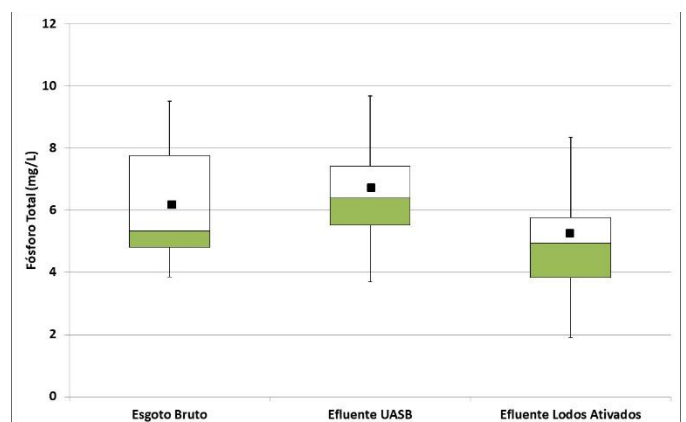


Figura 14: Gráfico Boxplot de Fósforo Total

Esta falta de remoção de nitrogênio amoniacal, pode ser devido a baixa disponibilidade

de matéria orgânica para os microrganismos realizarem a desnitrificação.

Para fósforo, a Resolução Conama 430/2011 não estabelece limite, havendo a Resolução Conama 357/2005, anterior, alterada e complementada pela primeira que estabelece limites extremamente restritivos para o fósforo para corpos d'água classe II. Nela são preconizados limites para o fósforo total de acordo com o ambiente: lântico – 0,030 mg/L e intermediários – 0,030. O que claramente não fora atendido para qualquer dos sistemas ou meses.

Assim como o nitrogênio, a ETE não conseguiu alcançar remoções significativas de remoção de fósforo (média de 13%). De acordo com os estudos publicados pela SABESP (2005), para sistemas de lodos ativados das mais diversas variantes, a remoção de fósforo pode variar de 10 a 20% em lodos ativados por aeração prolongada até 45% em sistemas convencionais e de fluxo intermitente, o que poderia explicar as remoções encontradas no sistema.

4 – CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, podemos chegar as seguintes conclusões na pesquisa:

- Para os parâmetros de pH e temperatura os sistemas de lodos ativados, bem como os outros sistemas que compõem a ETE Norte se mantiveram dentro do recomendável pela legislação e literatura.
- Os sistemas de lodos ativados foram eficientes na remoção de matéria orgânica com relação a DBO, atingindo 90%, além de permanecer abaixo de 120 mg/L que é o máximo permitido.
- Quanto ao nitrogênio amoniacal total, os sistemas de lodos ativados não foram eficientes, sendo as médias de remoção bem abaixo do esperado, o que pode ser consequência de que não esteja ocorrendo a desnitrificação da forma adequada.
- Com relação ao fósforo, as remoções encontradas foram abaixo do esperado, não ultrapassando 26%, recomendando-se que para a configuração de sistemas de lodos ativados precedido por um reator UASB seja adicionada uma etapa físico-química para que sejam

alcançadas remoções mais altas.

5 – REFERÊNCIAS

APHA *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21.ed. Washington: American Public Health Association. 2005.

BENTO, A. P. et al. *Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo*. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.10 - Nº 4, p., 329-338- Santa Catarina, 2005.

CORDI, L. et al., *Montagem, partida e operação de um sistema de lodos ativados para o tratamento de efluentes: parâmetros físico-químicos e biológicos*. Revista Engenharia Ambiental. v. 5, n. 1, p. 097 - 115. Espírito Santo do Pinhal, 2008.

CHERNICHARO, C.A.L. *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Programa de Saneamento Básico - PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. 544 p., Belo Horizonte, MG, 2001.

FERREIRA, F. D.; CORAIOLA, M. *Eficiência do lodo ativado em fluxo contínuo para tratamento de esgoto*. Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais. v. 6, n. 2, p. 259 - 279. Curitiba, 2008.

FREIRE, V. H. et al. *Avaliação do desempenho de um sistema combinado UASB – lodos ativados no tratamento de efluentes sanitários*. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 1999.

FLORENCIO, L. et al., *Tratamento e utilização de esgotos sanitários*. Editora Abes. 427 p. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro, 2006.

OLIVEIRA, S. M. A. C. & von SPERLING, M. *Avaliação de 166 etes em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 - análise de desempenho*. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol.10 - Nº 4, p., 347-357- Minas Gerais, 2005.

METCALF, EDDY, M. *Wastewater engineering : treatment and Resource recovery*. 5. ed. New York: McGraw Hill, 2014