

Remoção biológica de nitrogênio associada à remoção físico-química do fósforo em um reator de lodo ativado operado sob baixa aeração

No presente trabalho foi avaliado o comportamento de uma unidade piloto de lodos ativados para o tratamento de esgoto sanitário sob a configuração de aeração prolongada de fluxo contínuo, operado com baixa concentração de oxigênio dissolvido no tanque de aeração, a fim de se obter a nitrificação e a desnitrificação simultânea (NDS). Adicionalmente foi avaliado a remoção de fósforo no sistema por meio da dosagem de coagulante (Cloreto Férrico) diretamente no tanque de aeração. Os resultados mostram que a adição do cloreto férrico melhora a qualidade do efluente final em termos de DQO, devido a melhor floculação biológica e como consequência melhor sedimentabilidade do lodo o que pode ser atrativa para processos com NDS. Em relação a remoção de nitrogênio os resultados mostram que é possível de se obter com o processo de NDS um efluente com baixas concentrações de amônia, que foi de 7,0 mgN-NH₃-/L e nitrato de 4,0 mg N-NO₃-/L. Em relação ao fósforo a dosagem de 170 mgFeCl₃/L, apesar de elevada resultou em um efluente com concentrações menores que 1,5 mP/L, apesar da concentração ainda ser alta as dosagens podem ser ajustadas para obtenção de concentrações que atendam os limites recomendados de lançamento.

Palavras-chave: Lodo Ativado; Nitrificação e Desnitrificação Simultânea; Remoção de Fósforo; Baixa Aeração.

Biological nitrogen removal associated with the physical and chemical phosphorus removal in a reactor activated sludge aeration operated under low

In the present study we evaluated the behavior of a sludge pilot unit activated for the treatment of sewage in the extended aeration configuration streaming, operated with low concentration of dissolved oxygen in the aeration tank in order to achieve nitrification and simultaneous denitrification (NDS). In addition to phosphorus removal in the system by means of coagulant dosage (ferric chloride) directly into the aeration tank was evaluated. The results show that the addition of ferric chloride improves the quality of the final effluent in terms of COD due to improved biological flocculation and as a result better sludge settleability which may be attractive for processes with NDS. For nitrogen removal results show that it is possible to obtain with the process of NDS an effluent with low concentration of ammonia, which was 7.0 mgN-NH₃-/L and Nitrate 4.0 mgN-NO₃-/ L. For phosphorus dosage of 170 mgFeCl₃/L, although higher resulted in an effluent with concentrations less than 1.5 mgP/L, although still high concentration dosages can be adjusted to obtain concentrations that meet the Recommended limits.

Keywords: Activated Sludge; Simultaneous Nitrification and Denitrification; Removal of Phosphorus; Low Aeration.

Topic: **Engenharia Sanitária**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Received: **10/10/2016**

Approved: **20/01/2017**

Rodrigo de Freitas Bueno

Universidade Federal do ABC, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8406283487703732>
rodrigo.bueno@ufabc.edu.br

Bruno Martins

rodfrei@hotmail.com

Nayara Maturo Andreazzi

Centro Universitário Senac, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/5916200027686738>
rodfrei@hotmail.com

Fábio Campos

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil.
<http://lattes.cnpq.br/2726527111495815>
fcampos@usp.br



DOI: 10.6008/SPC2179-6858.2017.002.0009

Referencing this:

BUENO, R. F.; MARTINS, B.; ANDREAZZI, N. M.; CAMPOS, F.. Remoção biológica de nitrogênio associada à remoção físico-química do fósforo em um reator de lodo ativado operado sob baixa aeração. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.8, n.2, p.110-119, 2017. DOI: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.002.0009>

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, o tratamento de esgotos tem sido composto por processos biológicos, podendo eles ser anaeróbios, aeróbios ou uma combinação de ambos. No entanto, em função do estabelecimento de padrões mais restritivos de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes em corpos receptores, a adoção de processos físico-químicos combinados com biológicos objetivando a remoção de fósforo, tem tido uma elevada aceitação como concepção de estações de tratamento de esgotos (VON SPERLING, 2005). Os sistemas de lodo ativado se diferenciam dos outros sistemas de tratamento biológico de esgoto, pois oferecem a possibilidade de remover nutrientes como nitrogênio e fósforo.

Para dispor das vantagens desses sistemas quanto à remoção de nutrientes, podem variar suas configurações e, elevando seu potencial de tratamento. Boa parte do lodo em sistemas de lodo ativado é composto de bactérias heterotróficas facultativas, isto é, bactérias que aproveitam a material orgânico como fonte de energia, usando oxigênio comoceptor final de elétrons. Porém em situações onde o oxigênio não está presente, essas bactérias conseguem utilizar a energia contida na matéria orgânica, através de fermentação, ou usar outro oxidante comoceptor final de elétrons, por exemplo, nitrato ou nitrito.

Quando o nitrato ou nitrito são usados pelas bactérias heterotróficas como oxidante de matéria orgânica, ocorre um processo chamado de desnitrificação (SANTOS 2009). O processo de desnitrificação contribui para mitigar a eutrofização nos corpos hídricos. Esse processo se deve, especialmente, a ação de bactérias fototróficas e de alguns fungos (FERREIRA, 2014). A desnitrificação é antecedida pela nitrificação que é um processo realizado comumente por organismos autotróficos nitrificantes. Em regiões de clima tropical, a nitrificação, quase sempre acontece. Deste modo a desnitrificação deve estar prevista no projeto de dimensionamento para que não ocorram problemas operacionais (VAN HAANDEL e MARAIS, 1999).

A remoção de fósforo no tratamento de esgotos pode ocorrer por via biológica ou por precipitação química mediante o emprego de sais de alumínio ou ferro. Além da eficiência de remoção elevada, uma vantagem da aplicação de processos físico-químicos de remoção de fósforo em relação aos biológicos é a sua grande flexibilidade (RYBICKI, 1997). Dentro desse contexto o estudo avaliou a remoção biológica de nitrogênio associada a remoção físico-química de fósforo em um sistema de lodo ativado operado sob baixa concentração de oxigênio dissolvido no tanque de aeração de modo a promover a nitrificação e desnitrificação simultânea.

MATERIAIS E MÉTODOS

Sistema de lodo ativado com aeração prolongada

O estudo foi desenvolvido por meio de experimento em escala piloto no Centro Universitário SENAC. Foi posto em marcha um processo de lodo ativado sob regime de aeração prolongada, em fluxo contínuo, tratando esgoto sanitário. O esgoto sanitário era proveniente do próprio campus do SENAC, recebendo tratamentos prévios de peneiramento, desarenação, remoção de gordura. O reator possui volume útil de 18 Litros e a vazão de alimentação foi de 1,0 L/h, durante todo o estudo. A idade do lodo foi mantida entorno

de 20 dias e a concentração de oxigênio dissolvido na faixa de 0,3 – 0,8 mg/L, condições essas baseadas nos estudos de Pochana K & Keller J., 1999 e Bueno, 2011. A Figura 1 mostra o arranjo experimental utilizado neste trabalho.

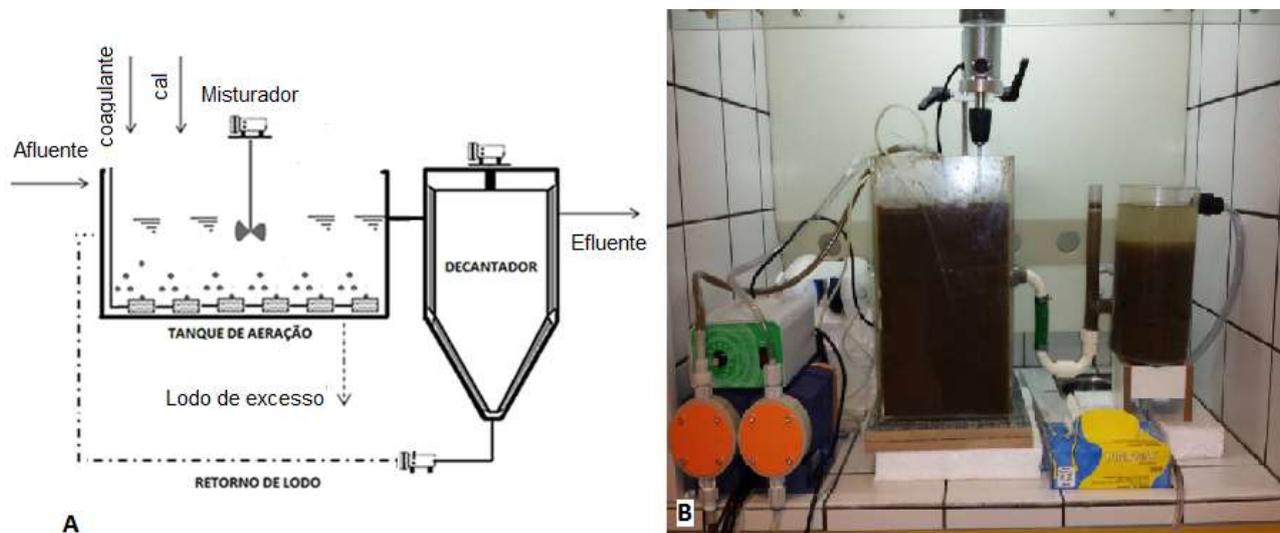


Figura 1: (A) Corte esquemático do sistema de lodo ativado utilizado nesse estudo. (B) Visão geral da unidade piloto utilizada no estudo.

Ensaio de Jar Test para definição da dosagem do coagulante

Para avaliar a dosagem inicial de coagulante foi considerado o resultado desejado $< 1,0\text{mgP/L}$ de fósforo no efluente. Foram realizados ensaios de Jar Test convencional, equipado com 6 jarros, com volume de 2 litros cada e agitação superior à 800 rpm promovendo à mistura rápida do coagulante (cloreto férrico) com o esgoto. Os testes foram feitos em duas condições, sendo a primeira com a adição do coagulante em dois litros de esgoto bruto (sem o lodo do tanque de aeração). A segunda contendo o lodo do tanque de aeração mais esgoto bruto (1:1), a fim de se reproduz as condições operacionais do piloto. As dosagens testadas de coagulante foram de 60, 80, 100, 120, 150, 170 e 200 mgFeCl_3/L . Após definição da melhor dosagem, menor concentração de coagulante dosada e fósforo $< 1,0\text{mgP/L}$, a concentração de interesse do coagulante foi dosado diretamente no tanque de aeração. Essa dosagem direta no tanque de aeração foi adotada, pelo fato da ocorrência de uma zona de alta mistura devido a aeração no tanque e a agitação do misturador.

Condições de operação e ensaios laboratoriais

O sistema de lodo ativado com aeração prolongada de fluxo contínuo foi operado em duas Etapas I e II. Na primeira etapa o sistema foi operado em condições normais, ou seja, sem adição do coagulante e na segunda etapa foi adicionado o cogulante visando a remoção de fósforo no sistema. A Tabela 1 mostra as principais condições de operação do sistema piloto.

Tabela 1: Resumo das condições de operação das Etapas I e II

Parâmetros	Etapas I	Etapas II
Dias de operação	100	100
Volume útil do reator (L)	18	18
Vazão afluyente média (L/d)	24	24
Fator de recirculação de lodo (r)	0,3-0,8	0,3-0,8
Idade do lodo (dias)	20	20
Concentração de OD (mgO ₂ /L)	0,3-0,8	0,3-0,8
Adição de coagulante	Não	Sim
Tempo considerado para avaliação (dias)	60	60

O controle da aeração no sistema foi realizado diariamente por meio de um medidor de OD Marca: Sablo 300. As leituras foram feitas online durante todo período do estudo. Para manter uma concentração baixa de oxigênio dissolvido (0,3-0,8 mg/L) no tanque de aeração o aerador era ajustado de acordo com as medições realizadas via um controlador lógico programável (CLP). Os métodos analíticos utilizados foram descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 21th Edition (APHA, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Fase de Aclimação

Na partida do sistema, o tanque de aeração foi preenchido com lodo ativado, com concentração de sólidos suspensos voláteis de 3.000 mg/L, proveniente de uma ETE em operação instalada na Escola Politécnica da USP. Após 20 dias de operação, observou-se que o sistema encontrava-se em condições estáveis, com IVL de 100 mL/g e eficiência de remoção de DQO e de nitrogênio da ordem de 80%, considerando-se o término da Fase de aclimação.

Ensaio de coagulação

A Tabela 2 mostra os resultados obtidos com o teste de coagulação, sendo que na etapa I foi adicionado o coagulante ao esgoto bruto e na etapa II diretamente no tanque de aeração tendo como concentração de sólidos suspensos voláteis na faixa de 2.500mg/L.

Tabela 2: Resultado das análises do ensaio de Jar test – Etapa I e II.

Ensaio de Jar Test – Remoção de Fósforo Total		
Dosagem	Esgoto bruto Etapa I	Esgoto Bruto + Lodo (~2.500mgSSV/L) Etapa II
0,0 mgFeCl ₃ /L	5,5±0,5 mgP/L	5,5±0,5 mgP/L
60 mgFeCl ₃ /L	4,4±0,3 mgP/L	5,3±0,2 mgP/L
80 mgFeCl ₃ /L	3,7±0,2 mgP/L	4,3±1,2 mgP/L
100 mgFeCl ₃ /L	3,9±0,7 mgP/L	4,1±0,4 mgP/L
120 mgFeCl ₃ /L	2,5±0,5 mgP/L	2,8±1,0 mgP/L
150 mgFeCl ₃ /L	1,2±0,2 mgP/L	2,2±0,7 mgP/L
170 mgFeCl ₃ /L	0,6±0,1 mgP/L	1,0±0,5 mgP/L
200 mgFeCl ₃ /L	0,4±0,2 mgP/L	0,8±0,6 mgP/L
n	10	10

Os resultados mostram que para se obter concentrações menores que 1,0 mg/L de fósforo são necessárias altas dosagens no caso do teste foi obtida em dosagens superiores a 170 mgFeCl₃/L, este valor foi utilizado como base para aplicação no estudo e adotou-se a aplicação do coagulante diretamente no

tanque de aeração, devido à presença de uma zona de boa mistura devido a aeração e por meio da agitação proveniente de um misturador.

Remoção de Matéria Orgânica

A investigação experimental foi realizada em duas condições, sendo a primeira (Etapa I) sem adição de coagulante e a segunda (Etapa II) com adição do coagulante. A Tabela 3 mostra as concentrações médias de DQO no esgoto bruto e no efluente obtidos durante as etapas.

Tabela 3: Resultados das concentrações de DQO.

VARIÁVEIS	DQO - ETAPA I			DQO - ETAPA II (Coagulante = 170mg/L)		
	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Efic. (%)	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Efic. (%)
MÉDIA	493	86	80	543	50	91
MÁXIMO	1165	212	99	820	110	98
MÍNIMO	188	4	54	280	8	82
DP	282	69	16	173	35	6
CV	0,57	0,80	0,20	0,32	0,70	0,1
n	10	10	10	10	10	10

Ao analisarmos os dados da Tabela 2, nota-se uma boa remoção de DQO em ambas as etapas, resultando um efluente com concentrações médias de DQO de 86 mg/L e 50 mg/L nas etapas I e II, respectivamente. Os resultados mostram que na etapa II a adição do coagulante contribuiu para uma melhora da qualidade do efluente, onde resultou uma eficiência de remoção de DQO de 91%, esse fato pode ser relacionado a sedimentabilidade do lodo tendo em vista a melhora da floculação no tanque de aeração devido ao coagulante. Apesar do processo de lodo ativado com aeração prolongada comumente atingir eficiências superiores a 90%, quando operado com baixa concentração de oxigênio dissolvido pode se obter uma redução na eficiência de remoção de DQO no processo devido a má formação do floco que muitas das vezes saem com o efluente tratado (BUENO, 2011), uma das maneiras de se melhorar essa floculação é aumentando a aeração na porção final dos tanques ou nesse caso melhorando a floculação com adição de coagulantes como demonstrado. O aumento da eficiência devido a melhores condições de floculação por meio da adição de coagulantes é relatado no estudo de Vidal (2009) onde, obteve aumento na eficiência de remoção de DQO de 70% para 93%, utilizando sulfato de alumínio em concentrações entorno de 120 mg/L e de 50% para 83% com cloreto férrico com dosagens entorno de 75 mg/L.

A Figura 2 mostra os resultados da avaliação da remoção de matéria orgânica em termos de DQO durante a série histórica do estudo. A Figura 1(A) apresenta os resultados de concentração afluente e efluente ao processo de tratamento sem adição de coagulante e a Figura 1(B) com adição de coagulante. A Figura 1(C e D) mostram a eficiência do processo.

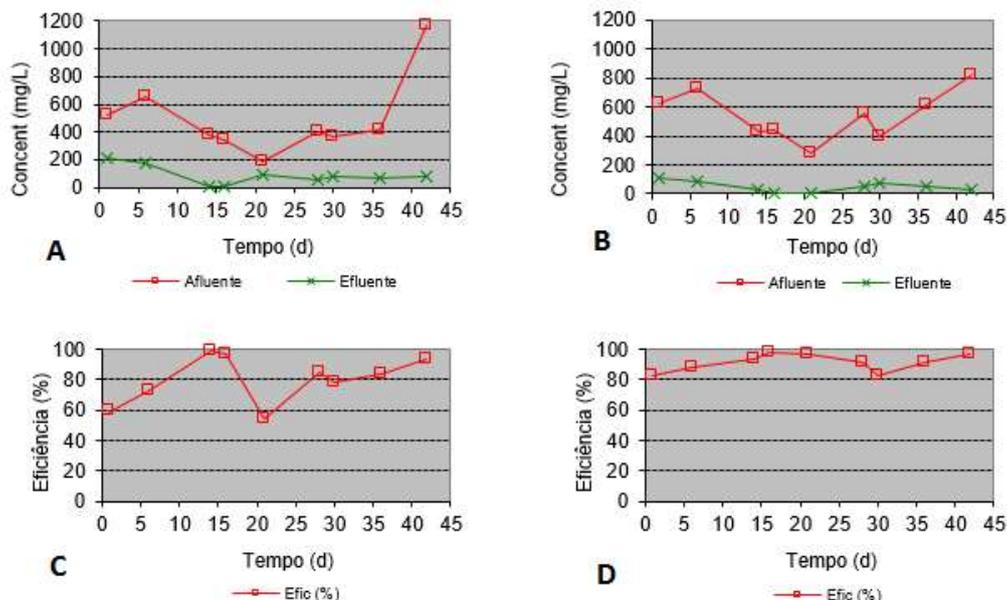


Figura 2: Séries históricas de DQO e eficiências da Etapa I (A e C) e Etapa II (B e D).

Observa-se na Figura 1 (B) com adição de coagulante que os resultados de DQO no efluente são relativamente baixos e ao compararmos as eficiências Figura 1 (D) e (C), nota-se que o experimento com adição de coagulante manteve-se estável praticamente em todo o período de estudo, com eficiência superior a 80%.

Remoção de Material Nitrogenado

As concentrações de nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) no esgoto bruto se resultaram menores que 0,5 mgN/L que para todos os efeitos foram desprezados. Na Tabela 4 e 5 observam-se as concentrações médias de NKT e NH_3^- no esgoto bruto e no esgoto tratado durante as Etapas I e II.

Tabela 4: Resultados das concentrações de NKT e NH_3^- obtidos durante a Etapa I

VARIÁVEL	ETAPA I					
	Afluente (mgN/L)		Efluente (mgN/L)		Efic. (%)	
	NKT	NH_3^-	NKT	NH_3^-	NKT	NH_3^-
MÉDIA	72	59	11	6	81,6	89,0
MÁXIMO	100	85	20	12	94,5	96,0
MÍNIMO	37	33	4	2	59,7	81,5
DP	22,0	18,7	4,6	2,9	11,7	5,5
CV	0,3	0,3	0,4	0,5	0,1	0,1
N	10		10		10	

Tabela 5: Resultados das concentrações de NKT e NH_3^- obtidos durante a Etapa II

VARIÁVEL	ETAPA II (Coagulante = 170mg/L)					
	Afluente (mgN/L)		Efluente (mgN/L)		Efic. (%)	
	NKT	NH_3^-	NKT	NH_3^-	NKT	NH_3^-
MÉDIA	76	68	11	7	85,0	74,7
MÁXIMO	100	93	25	12	95,6	91,3
MÍNIMO	58	48	4	2	58,3	50,0
DP	15,0	15,9	6,0	3,2	11,0	15,1
CV	0,2	0,2	0,6	0,5	0,1	0,2
N	10		10		10	

Os resultados mostram um efluente com baixas concentrações de NKT e NH_3^- em ambas as etapas. Na etapa I as concentrações foram de 11 e 6 mgN/L e na etapa II de 11 e 7 mgN/L de NKT e NH_3^- , respectivamente. Esses valores são típicos de um processo de lodo ativado com nitrificação. A adição do coagulante não teve nenhum benefício na remoção de nitrogênio. As Figuras 3 e 4 mostram as series temporais das concentrações e das eficiências de NKT e NH_3^- obtidas durante todo o estudo. Nota-se uma boa eficiência de NKT e NH_3^- em ambas as etapas com valores de 83% e 75%, respectivamente. Em um estudo similar, Gaspar (2005), atingiu valores de eficiência média de remoção de NKT sempre acima de 95%. Esses valores evidenciam a ocorrência de nitrificação no sistema.

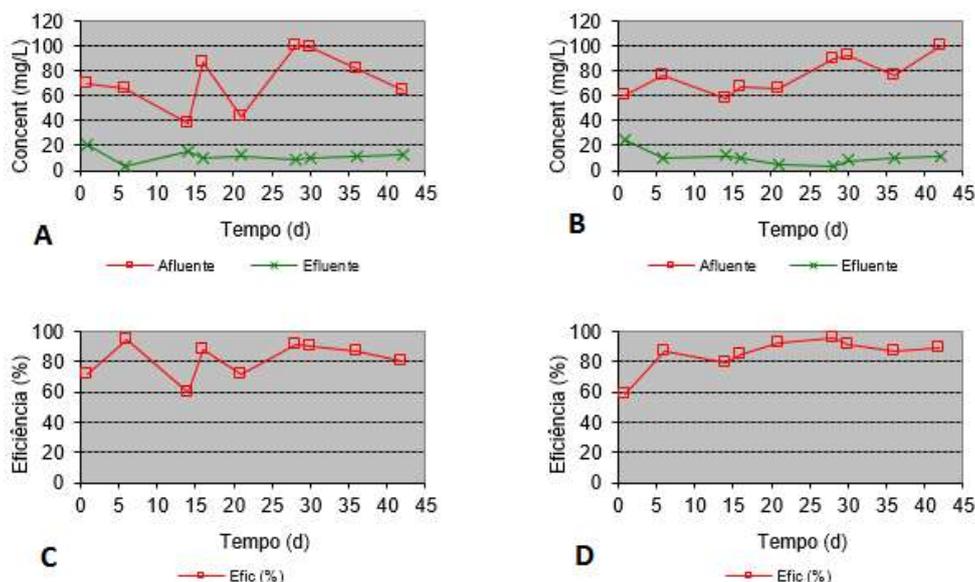


Figura 3: NKT - Série histórica (A) Etapa I e (B) Etapa II e eficiência de remoção (C) Etapa I e (D) Etapa II.

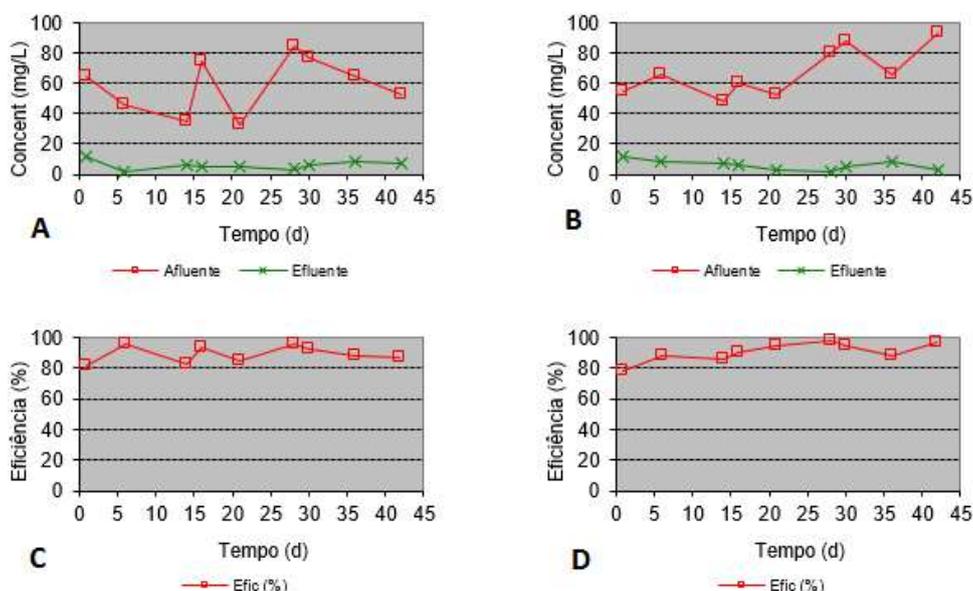


Figura 4: NH_3 - Série histórica (A) Etapa I e (B) Etapa II e eficiência de remoção (C) Etapa I e (D) Etapa II.

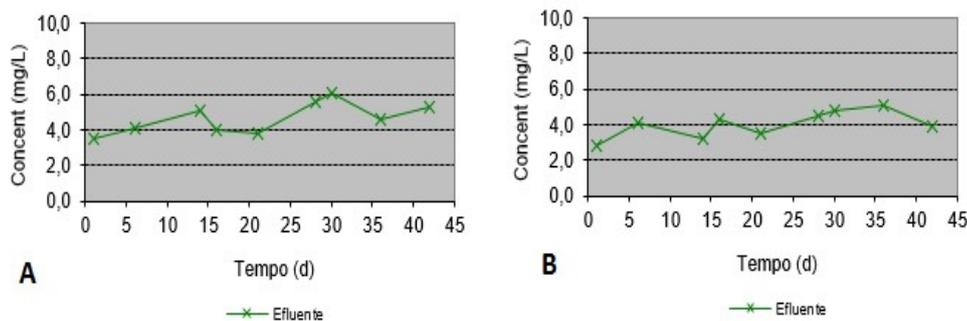


Figura 5: Nitrato no efluente - série histórica (A) Etapa I e (B) Etapa II

Na Figura 5 são apresentados os resultados das concentrações de nitrato no efluente obtidas durante a fase experimental. Observa-se na Figura 5 que, em praticamente em todo o período de estudo, as concentrações de nitrato no efluente foram menores que $10,0 \text{ mgN-NO}_3\cdot\text{L}^{-1}$. Os resultados médios das concentrações foram de $4,2$ e $3,8 \text{ mgN-NO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, nas Etapas I e II, respectivamente. Estes resultados denotam a expressiva eficiência do processo de desnitrificação, resultando em concentrações médias de N-NO_3 no efluente sempre abaixo de $10,0 \text{ mgN-NO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, que é o padrão para águas classe 2 estabelecidos na Resolução CONAMA 357/2005.

Os resultados médios da concentração de alcalinidade no esgoto à entrada e à saída do processo de lodo ativado foi de 237 e $229 \text{ mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ e no efluente de 135 e $127 \text{ mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$, nas Etapas I e II, respectivamente. Considerando que $1,0 \text{ mgNH}_4^+$ demanda $3,57 \text{ mg/L}$ de alcalinidade em CaCO_3 para os processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação. Quando as variações de nitrito e nitrato são negligenciadas, podemos observar que o balanço de alcalinidade no sistema é compatível. Este resultado confirma que todo o processo bioquímico envolvido aconteceu. Dependendo da concentração de amônia e da alcalinidade no afluente, torna-se necessário a introdução de alcalinizante artificial, para não ocorrer limitações no processo de nitrificação e desnitrificação dentro do reator.

Remoção de Fósforo

As Tabelas 6 e 7 apresentam as concentrações médias de fósforo total no esgoto bruto e no efluente na Etapa I e II.

Tabela 6: Resultados das concentrações de fósforo total obtidos na Etapa I

VARIÁVEIS	Fósforo (total)		
	Afluente (mgP/L)	Efluente (mgP/L)	Eficiência (%)
MÉDIA	9,4	6,2	33,0
MÁXIMO	11,5	7,5	43,0
MÍNIMO	6,8	4,3	22,0
DP	1,6	1,0	6,9
CV	0,2	0,2	0,2
N	10	10	10

Tabela 7. Resultados das concentrações de fósforo total obtidos na Etapa II

VARIÁVEIS	Fósforo (total)		
	Afluente (mgP/L)	Efluente (mgP/L)	Eficiência (%)
MÉDIA	10,4	1,5	86,0
MÁXIMO	11,0	3,5	92,0

VARIÁVEIS	Fósforo (total)		
	Afluente (mgP/L)	Efluente (mgP/L)	Eficiência (%)
MÍNIMO	9,0	0,8	68,2
DP	0,8	0,8	7,6
CV	0,1	0,6	0,1
N	10	10	10

A concentração média de fósforo no esgoto bruto foi de 9,4 mgP/L e 10,4 mgP/L na Etapa I e II, respectivamente e as concentrações médias no efluente da Etapa I foi de 6,2 mgP/L e de 1,5 mgP/L na Etapa II. Esses resultados mostram claramente o benefício da adição do coagulante no tanque de aeração em relação a remoção de fósforo. A dosagem de 170 mgFeCl₃/L diretamente no tanque de aeração resultou em um efluente com baixa concentração de fósforo o que resultou em uma eficiência de remoção na ordem de 86% em relação aos 33% da Etapa I, sem adição do coagulante. A Figura 7 mostra a série temporal e as eficiências de remoção de fósforo obtidas durante a Etapa I e II obtidas durante o estudo.

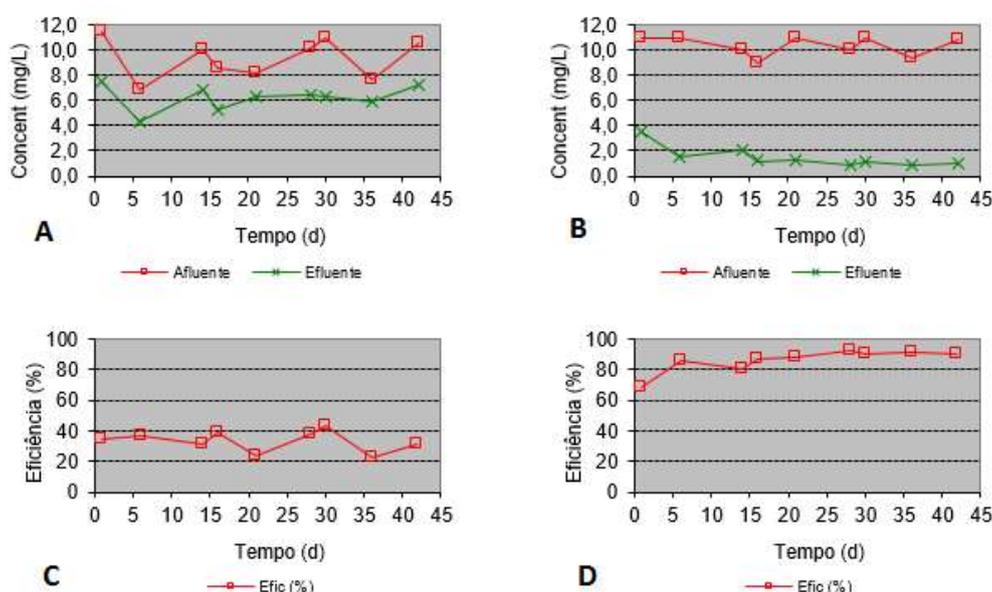


Figura 6: Fósforo - Série histórica (A) Etapa I e (B) Etapa II e eficiência de remoção (C) Etapa I e (D) Etapa II.

Nota-se que, na Etapa I a eficiência foi praticamente todo o período <40% (Figura 6-C), evidenciando mais uma vez a baixa remoção desse composto em sistemas de lodo ativado convencionais. Na Figura 6-B observa-se que logo nos primeiros dias de aplicação do coagulante o sistema apresenta um efluente com baixas concentrações de Fósforo praticamente menor que 2,0 mgP/L em todo o estudo, o que resultou em eficiências superiores a 80% durante a série histórica, o que pode ser observado na Figura 6-D. Esses valores demonstram o benefício da adição do coagulante no tanque de aeração. Se realizado um melhor ajuste na dosagem do coagulante é possível se atingir um efluente com concentrações menores que <1,0mgP/L, atendendo os padrões de lançamento de esgotos que é muito restritivo.

Segundo a EPA (2002) entre os fatores que mais afetam a quantidade de cloreto férrico requerida estão: alcalinidade e pH final da água residuária; constituintes iônicos como sulfato, sódio, fluoreto, etc.; quantidade e natureza dos sólidos em suspensão; microrganismos e outras espécies coloidais; relação Fe/P; a intensidade da mistura e outras condições físicas existentes nas instalações de tratamento.

CONCLUSÃO

Em termos gerais pode se concluir que a remoção biológica via nitrificação e desnitrificação simultânea pode ser obtida sob baixas concentrações de oxigênio dissolvido na ordem de 0,3 a 0,8 mg/L, com boa eficiência e estabilidade operacional, a adição de coagulante diretamente no tanque de aeração traz uma melhora na floculação do lodo biológico o que permite melhorar a sedimentação do lodo no decantador, resultando em um efluente mais clarificado. Outro aspecto importante é a possibilidade de se remover fósforo com alta eficiência, nesse estudo preliminar a remoção foi superior a 80%, resultando em concentrações menores que 1,5 mgP/L. Essa concentração ainda é elevada não atendendo há muitos padrões de lançamento que são bem restritivos. No entanto, há possibilidade de ajustes nas dosagens para se atingir os limites recomendados.

REFERÊNCIAS

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA Nº 357**, de 17 de março de 2005. Brasília: DOU, 2005.

BUENO, R. F.. **Nitrificação e desnitrificação simultânea em reator com biomassa em suspensão e fluxo contínuo de esgoto**. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ESTADOS UNIDOS. **Environmental Protection Agency (USEPA). Onsite Wastewater Treatment Systems Manual**. EPA/625/R-00/008. Office of Researched Development. Cincinnati, 2002.

FERREIRA, A. L. T. S.. **Remoção biológica simultânea de fósforo e nitrogênio de esgoto sanitário em reatores sequenciais em batelada**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

GASPAR, P. M. F.. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB em sistema de lodos ativados visando a remoção biológica do nitrogênio associada à remoção físico-química do fósforo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
DOI: <http://doi.org/10.11606/D.3.2003.tde-18122003-131000>

POCHANA, K.; KELLER, J.. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND). **Water Sci Technol**, v.39, n.6, p.61-68, 1999.

RYBICKI, S.. **Phosphorus removal from wastewater: A literature review**. Stockholm: Royal Institute of Technology, 1997.

SANTOS, H. R.. **Coagulação/Precipitação de efluentes de reator anaeróbio de leito expandido e de sistema de lodo ativado precedido de reator UASB, com remoção de partículas por sedimentação ou flotação**. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS G. V. R.. **O Comportamento do sistema de lodo ativado: Teoria e aplicações para operação e projetos**. Campina Grande: Epigraf, 1999.

VIDAL, C. M. S.; CAMPOS, J. R.. Coagulação associada à microfiltração para o tratamento avançado de esgoto sanitário. **Ambiência**, v.5, n.1, p.101-114, 2009.

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.