

FILTRAÇÃO TERCIÁRIA PRECEDIDA DE COAGULAÇÃO – FLOCULAÇÃO PARA REMOÇÃO DE TURBIDEZ E FÓSFORO DO EFLUENTE DE UMA ETE UASB + BFs¹

Luciana Secolo Morgan², José Venâncio dos Santos Neto³, Fabrícia Fafá de Oliveira⁴, Ricardo Franci Gonçalves⁵, Patrícia Lee Wigner⁶, Wesley Gabrieli de Souza⁷, Elaine Claudino da Silva⁸, Rachel Chiaba⁹, Licia Mesquita¹⁰ Bianca Barcellos Bazzanella¹¹

RESUMO

O presente trabalho descreve a avaliação de um sistema associando tratamento físico-químico com filtração descendente em meio granular, visando a remoção adicional de turbidez e fósforo do efluente produzido por um sistema associando reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB) e Biofiltros Aerados Submersos (BFs), a níveis inferiores a 5 UNT e 2 mgP/L. Ensaios de teste de jarros foram conduzidos a fim de selecionar o produto químico a ser utilizado nos teste em escala piloto. Foram testados quatro produtos comerciais: sulfato de alumínio, cloreto férrico, cloreto de polialumínio e um coagulante orgânico. Cloreto férrico foi selecionado por produzir efluentes dentro da qualidade esperada, com menor índice de produção de lodo. Os ensaios em escala piloto foram conduzidos em filtros instalados na ETE UFES, localizada no campus da Universidade Federal do Espírito Santo, em Vitória (ES – Brasil). Os resultados em escala piloto indicam uma boa aptidão dos filtros de areia na remoção de turbidez, mesmo sem a adição de coagulante, e sob taxas de filtração de até 10 m³/m².h. Turbidez no efluente abaixo de 5 UNT foi obtida pelos três filtros consistentemente. A adição de cloreto férrico em dosagens de 5 e 10 mg/L não contribuiu significativamente na remoção de turbidez. Para a remoção de fósforo, doses de cloreto férrico variando entre 20 e 190 mg/L foram aplicadas. Os resultados indicam que a remoção de fósforo nos níveis desejados, só é alcançada com doses Fe⁺³:P de 5,8, 5,7 e 4,4, para os filtros FT1, FT2 e FT3, respectivamente.

Palavra-chave: coagulação, reúso, fósforo

INTRODUÇÃO

A utilização de reatores UASB para o tratamento de esgotos no Brasil é uma realidade. Fatores tais como, clima favorável, facilidade de operação, baixa produção de lodo e baixos custos de implantação e manutenção foram fundamentais para a difusão dessa tecnologia no país. Entretanto, em grande parte dos casos, a qualidade do efluente produzido por este tipo de reator não atende aos requisitos de qualidade exigidos pelos órgãos ambientais reguladores.

O lançamento de efluentes em corpos d'água com baixa capacidade de diluição pode, muitas vezes, exigir um polimento do efluente produzido pela associação anaeróbio-aeróbio, denominado tratamento terciário, para uma remoção adicional de sólidos, e nutrientes como nitrogênio e fósforo (associados ao problema de eutrofização).

Dentre os processos aplicáveis ao tratamento terciário de esgotos visando remoção de sólidos, incluem-se micropeneiramento, processos de membrana, e coagulação seguida de sedimentação, filtração ou flotação. Para a remoção de fósforo cita-se a precipitação química, processos de adsorção, troca iônica, cristalização, dentre outros.

Um sistema bastante utilizado em países da Europa é o que associa a precipitação química do fosfato, utilizando sais de ferro ou alumínio, à filtração em meio granular, empregando areia e/ou antracito, para a remoção conjunta de sólidos suspensos e fósforo, com excelentes resultados relatados. Os objetivos principais nesses países, geralmente, são de proteger os corpos d'água sensíveis ao lançamento de nutrientes, ou de produzir efluentes passíveis de reuso para diversos fins, tais como irrigação, torres de resfriamento e descarga de vasos sanitários.

No presente trabalho estão relatados estudos realizados a fim de avaliar a eficiência da filtração rápida descendente em areia na remoção adicional de turbidez do efluente produzido por uma ETE associando reator UASB e biofiltros aerados submersos (BFs). Também foi avaliada a associação da precipitação química seguida de filtração, na remoção de fósforo desse mesmo efluente. O produto químico utilizado foi selecionado em ensaios de teste de jarros, e a filtração foi feita em três filtros em escala piloto, com diferentes configurações.

OBJETIVOS

Objetivo geral

- ✓ Essa pesquisa tem por objetivo estudar a filtração terciária precedida de uma etapa de coagulação – floculação, para remoção de turbidez e fósforo do efluente de uma Estação de Tratamento de Esgoto associando reator UASB e Biofiltros Aerados Submersos (BFs).

Objetivos específicos

- ✓ Selecionar doses e tipos de coagulantes em testes de jarros para a remoção de turbidez e fósforo do efluente produzido por uma Estação de Tratamento de Esgoto associando reator UASB e Biofiltros Aerados Submersos (BFs)
- ✓ Caracterizar o comportamento dos filtros terciários operando com água limpa (comportamento hidrodinâmico)

- ✓ Estudar o desempenho de filtros terciários descendentes submetidos a diferentes cargas hidráulicas na remoção de turbidez
- ✓ Estudar o desempenho de filtros terciários na remoção de turbidez, sob diferentes dosagens de coagulante
- ✓ Estudar o desempenho da filtros terciários na remoção de fósforo sob diferentes dosagens de coagulantes
- ✓ Avaliar a produção de lodos na etapa de filtração terciária

MATERIAL E MÉTODOS

Considerações gerais

Os experimentos relativos a este trabalho foram desenvolvidos no período de 25/03/2002 a 03/07/2003, e foram divididos em duas fases, sendo a primeira os ensaios em teste de jarros, e a segunda os estudos nos filtros em escala piloto.

Teste de jarros:

- ✓ Ensaios preliminares para definição das faixas de dosagens a serem testadas para cada um dos produtos selecionados;
- ✓ Ensaios definitivos com as faixas de dosagens estabelecidas, para definição do produto a ser utilizado na fase de filtração em escala piloto.

Filtros em escala piloto:

- ✓ Definição e caracterização física do material a compor o leito filtrante;
- ✓ Avaliação do comportamento hidráulico dos filtros, sob diferentes taxas de filtração, utilizando água limpa;
- ✓ Estudo das condições ótimas de lavagem dos filtros, utilizando efluente filtrado;
- ✓ Filtração sem adição de produtos químicos para avaliar a eficiência dos filtros na remoção de turbidez, e a evolução da perda de carga com a retenção de sólidos;
- ✓ Filtração com adição de diversas dosagens de coagulante, sob diferentes taxas de filtração, a fim de avaliar a performance dos filtros na remoção de fósforo.

A ETE Experimental da UFES

De acordo com os objetivos da pesquisa, os estudos foram realizados utilizando efluente secundário produzido pela Estação Experimental de Tratamento de Esgoto da UFES (ETE UFES), localizada no Campus da Universidade Federal do Espírito Santo, em Goiabeiras, Vitória-ES. Esta estação promove o tratamento a nível secundário, de esgoto sanitário, proveniente de uma estação elevatória pertencente à Companhia Espírito-Santense de Saneamento (CESAN), localizada em um bairro vizinho ao campus universitário. A ETE UFES foi projetada para tratar esgotos de uma população de até 1.000 habitantes, através da associação de reator UASB e biofiltros aerados submersos.

Ensaio de Teste de Jarros

Os testes foram conduzidos com quatro produtos comerciais, quais sejam: um coagulante inorgânico pré-polimerizado à base de cloreto de polialumínio, marca PANFLOC, produzido pela Pan-Americana S.A. Indústrias Químicas; um polímero orgânico-catiônico de baixo peso molecular, de origem essencialmente vegetal, denominado TANFLOC, produzido pela indústria TANAC S.A.; um Sulfato de Alumínio, marca F-666, líquido, e; um Cloreto Férrico, 38 % de teor mínimo de FeCl_3 , ambos produzidos por Indústrias Químicas Cataguases Ltda. As características principais dos produtos testados encontram-se listadas na Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 – Características principais dos produtos testados no teste de jarros

PRODUTO	FORNECEDOR	CARACTERÍSTICAS	
Sulfato de Alumínio F-666 (líquido) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$	Indústrias Químicas Cataguases Ltda	Densidade (g/cm^3).....	$1,32 \pm 0,01$
		Teor mínimo em Al_2O_3 ...	7,5 %
		Teor máx. de Fe_2O_3	1,25 %
		Teor máx. de acidez livre (% em massa como H_2SO_4)	0,5 %
		Teor máx. de alcal. livre (% Al_2O_3)	0,4 %
		Teor máx. de insolúveis (% em massa) ..	6,0 %
Cloreto Férrico (líquido)	Indústrias Químicas Cataguases Ltda	Densidade (g/cm^3)....	$1,44 \pm 0,02$
		Teor mínimo de FeCl_3	38,0 %
		Teor máx. de acidez livre (% em massa como HCl)	0,7 %
		Teor máx. de insolúveis (% em massa)	0,5 %
		Teor máximo em Ferro Ferroso (Fe^{+2})	0,5 %
Tanfloc (Coagulante Orgânico)	TANAC S/A	Polímero catiônico Líquido pH (xarope)	1,7 – 2,3
PANFLOC TE Hyperplus (à base de Cloreto de Polialumínio PAC)	Pan-Americana S/A Indústrias Químicas	Densidade a 25°C (g/cm^3).....	1,34 g/mL
		Concentração.....	646 g/L
		% de Al_2O_3	23,5
		Teor de sólidos (g/L).....	671

Fonte: Fornecedores dos produtos

Foram conduzidos testes preliminares, com o intuito de determinar a faixa de trabalho, com base na turbidez final. Nestes testes, foram avaliadas faixas amplas de dosagens do produto conforme relatos na literatura e, de acordo com a turbidez final apresentada, a faixa era reduzida. Após a definição das faixas de dosagem de cada produto, foram realizados os testes de jarros definitivos, avaliando outros parâmetros além da turbidez.

O protocolo utilizado para os ensaios de Teste de Jarros (figura 1) tinha as seguintes características:

- ✓ 2 minutos de mistura rápida, a 105 rpm;
- ✓ 10 minutos de mistura lenta, a 30 rpm;
- ✓ 30 minutos de sedimentação.

As amostras eram coletadas no mesmo dia do ensaio, no topo do biofiltro aerado submerso de número 3 (BF3), e encaminhadas ao laboratório de saneamento do Núcleo Água da UFES para realização dos ensaios. O volume de amostra coletado

era de 48 litros, utilizando-se de baldes de plástico previamente lavados. Antes de distribuir as amostras nos jarros, era realizada a homogeneização das mesmas, utilizando bastão de vidro, e a leitura do pH e temperatura.



Figura 1 – Aparelho utilizado nos ensaios de teste de jarros

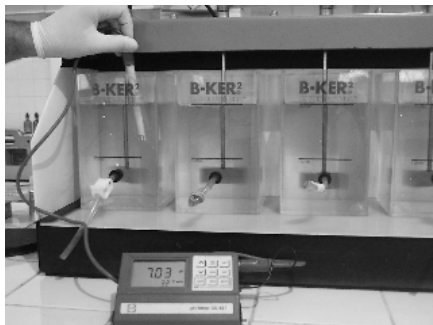
A Figura 2 – Apresenta algumas fotos relativas aos ensaios de Teste de Jarros.



Coleta de amostras do BF1



Homogeneização das amostras



Leitura do pH



Coleta do sobrenadante



Flocos sedimentados



Flocos sedimentados (detalhe)

Figura 2 – Ensaios de teste de jarros

Ensaio em escala piloto

Os ensaios foram realizados em três filtros, com operação em paralelo, e diferenciados entre si pela altura do leito filtrante. Os filtros foram projetados de modo a tratar efluente secundário proveniente dos biofiltros aerados submersos da ETE UFES. A Figura 3 apresenta os filtros terciários em escala piloto.



Figura 3 – Filtros terciários em escala piloto

O efluente dos filtros terciários era conduzido até o reservatório final da ETE UFES, onde era diluído com o efluente produzido pelos outros BFs secundários e encaminhado à destinação final.

As amostras eram conduzidas imediatamente ao laboratório, para execução das análises. A partir das alíquotas horárias coletadas, eram preparadas amostras compostas, relativas aos seguintes tempos de filtração:

- ✓ T1 = Tempo para o FT3 atingir a perda de carga limite;
- ✓ T2 = Tempo para o FT2 atingir a perda de carga limite;
- ✓ T3 = Tempo para o FT1 atingir a perda de carga limite.

As análises de turbidez, pH e alcalinidade eram efetuadas logo após a chegada das amostras. Para as demais análises, quando não executadas imediatamente, procedia-se à conservação das amostras, seguindo as recomendações da CETESB e EPA, para sua posterior execução. Medições horárias do pH e da temperatura do efluente do BF já coagulado também eram efetuadas, no segundo compartimento da câmara de mistura.

Procedimentos analíticos

Todas as análises efetuadas, tanto na etapa de teste de jarros, quanto na etapa piloto, seguiram os procedimentos e metodologias recomendadas pelo “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” 19ª ed. (1995) e pela norma técnica L.5.202 da CETESB.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teste de Jarros

Inicialmente foram realizados ensaios para determinação das melhores faixas de doses a serem estudadas para 4 produtos diferentes: Sulfato de Alumínio (SA), Cloreto Férrico (CF), Tanfloc e TE hiperplus (TE), utilizando pH e turbidez como parâmetros.

Para o Sulfato de Alumínio e o TE Hiperplus a melhor concentração do coagulante foi de 10 a 40mg/L com intervalo de 5mg/L, para o Cloreto Férrico 20 a 70mg/L com intervalo de 10mg/L, já para o Tanfloc 40 a 90mg/L com intervalo de 10mg/L. Dosagens calculadas em função do agente (Al_2O_3 , $FeCl_3$).

Com a concentração de cada coagulante definida foram realizados novos testes de jarros. Para cada ensaio foram monitorados os seguintes parâmetros: Turbidez; Demanda Química de Oxigênio total e filtrada, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Sólidos Suspensos Totais, Fósforo total, Coliforme Fecais, E.coli, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Totais, Índice Volumétrico de Lodo e Fósforo Total.

Os resultados obtidos nos ensaios de teste de jarros mostraram que os coagulantes à base de alumínio se mostraram mais eficientes, sendo o TE Hiperplus o mais eficaz. Essa diferença na eficiência se faz devido a quantidade de produto necessária para que ocorra a mesma remoção de um determinado parâmetro. A correlação entre as diferentes dose dos produtos está relacionada na tabela 2.

Produto	Dose do agente $Al_2O_3/FeCl_3$ (mg/L)	Dose Produto (mg/L)	Dose Cátion Fe^{3+}/Al^{3+} (mg/L)
TANFLOC (TAN)	-	40	-
TANFLOC (TAN)	-	50	-
TANFLOC (TAN)	-	60	-
TANFLOC (TAN)	-	70	-
TANFLOC (TAN)	-	80	-
TANFLOC (TAN)	-	90	-
Cloreto Férrico (CF)	20	53	7
Cloreto Férrico (CF)	30	79	10
Cloreto Férrico (CF)	40	105	14
Cloreto Férrico (CF)	50	132	17
Cloreto Férrico (CF)	60	158	21
Cloreto Férrico (CF)	70	184	24
TE Hiperplus (TE)	10	43	5
TE Hiperplus (TE)	15	65	8
TE Hiperplus (TE)	20	87	11
TE Hiperplus (TE)	25	109	13
TE Hiperplus (TE)	30	130	16
TE Hiperplus (TE)	40	174	21
Sulfato de Alumínio (SA)	10	133	5
Sulfato de Alumínio (SA)	15	200	8
Sulfato de Alumínio (SA)	20	267	11
Sulfato de Alumínio (SA)	25	333	13
Sulfato de Alumínio (SA)	30	400	16
Sulfato de Alumínio (SA)	40	533	21

Tabela 1: Co-relação entre as doses do agente x dose do produto x dose do cátion Escala Piloto

Para a taxa de $10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, a eficiência média de remoção da turbidez, para um mesmo tempo de filtração (tempo de colapso do FT3), foi superior a 65% para os três filtros, nas condições com dosagens de coagulante de 0 até 20 mgCF/L, produzindo efluentes com turbidez média de 3,9 a 6,9 UT para o FT1, 2,7 a 5,1 UT para o FT2 e 2,2 a 4,3 UT para o FT3. Para as condições testadas com dosagens de coagulante acima de 20 mgCF/L, apenas na condição com dosagem de 50 mgCF/L a eficiência de remoção média de turbidez manteve-se acima de 55% para os três filtros. Com o aumento da dosagem de coagulante, houve uma tendência de queda na eficiência média de remoção da turbidez, permanecendo abaixo de 50% para todas as demais condições testadas, com exceção do FT3, dose 30 mgCF/L, o qual

teve uma eficiência média de remoção de 61%. Isto pode ser explicado devido ao aumento do teor de sólidos dissolvidos no efluente, normalmente produzido quando da utilização de cloreto férrico como coagulante, além da elevada presença de “cor”, a qual pode influenciar a leitura da turbidez. O FT3 apresentou maior eficiência de remoção da turbidez para todas as condições avaliadas, sendo que a maior eficiência média foi alcançada na condição com dosagem de 10 mgCF/L (86% - turbidez média efluente = 3UT) e o efluente de melhor qualidade média foi alcançado na condição sem adição de coagulante (2 UT – eficiência média de remoção = 80%). Para a faixa de dosagem de coagulante de 0 a 20 mg/L, a diferença média entre a eficiência de remoção da turbidez entre o FT3 e o FT2 foi de 4%, e entre o FT3 e o FT1 foi de 12%.

A remoção de fósforo foi avaliada, visando atingir níveis inferiores a 1 mgP/L. Os resultados durante a etapa de Teste de jarros indicaram uma dose molar de 3,4 (Fe : P-PO₄) como suficiente para atingir esta concentração. Entretanto, para os testes realizados em escala piloto, quando foi avaliada a filtração com taxa de 10m³/m².h e dosagens de cloreto férrico variando de 20 a 190 mgCF/L, os resultados obtidos para amostras compostas referentes ao tempo de colapso dos filtros (perda de carga limite), não atingiram o nível desejado (Figuras 12 e 13 e Tabela 8). As maiores eficiências de remoção ocorreram para uma dose molar de 3,63 Fe:P-PO₄ (73% para o FT3, 79% para o FT2 e 59% para o FT1), quando ocorreram também os menores níveis de P-PO₄ no efluente (1,91, 1,00 e 1,27 mgP-PO₄/L para os filtros FT1, FT2 e FT3, respectivamente). Para esta condição, os tempos de filtração foram, para o FT1, 5,6 h para uma perda de carga de 182cm; para o FT2, 4,0 h para uma perda de carga de 142cm e para o FT3, 1,8 h para uma perda de carga de 102cm. Como a dosagem do produto era feita sem se considerar a concentração de fósforo afluente no dia da campanha, uma faixa de dose molar compreendida entre 2,59 e 3,52 mol Fe / mol P-PO₄ não foi avaliada.

CONCLUSÕES

Do presente trabalho pode-se concluir que:

- ✓ Todos os quatro produtos químicos avaliados demonstraram, em ensaios de teste de jarros, boa aptidão na remoção de turbidez do efluente de sistema UASB + BFs, com destaque para os produtos à base de alumínio. Na remoção de fósforo, somente o coagulante orgânico (TANFLOC) não foi eficiente. O cloreto férrico apresentou menores índices de produção de lodo que os produtos à base de alumínio, considerando uma remoção de SST equivalente.
- ✓ Sulfato de alumínio foi o coagulante que apresentou maior eficiência na remoção de coliformes termotolerantes, sem entretanto alcançar níveis inferiores a 10³ NMP/100mL. Os demais produtos não foram capazes de promover uma remoção significativa de coliformes termotolerantes.
- ✓ A remoção de turbidez do efluente produzido pelo sistema UASB + BFs através de filtração rápida descendente em escala piloto, mostrou-se eficiente, com produção de efluentes abaixo de 5 UNT em todos os filtros, mesmo com aplicação de taxas de filtração mais elevadas, da ordem de 10 m³/m².h.
- ✓ A turbidez do efluente, na filtração com adição prévia de cloreto férrico em dosagens de 5 e 10 mg/L, não foi significativamente afetada, continuando a

produzir efluentes com turbidez inferior a 5 UNT, com exceção do FT1, que produziu efluentes com turbidez entre 5 e 7 UNT.

- ✓ Na filtração sem adição de cloreto férrico, as maiores durações de corrida estimadas foram alcançadas quando utilizada taxa de filtração de $8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, possivelmente por essa taxa promover uma melhor distribuição dos sólidos retidos no leito. Os tempos previstos para alcançar um incremento de perda de carga de 2 metros, nessas condições, foram de aproximadamente 18 horas para os três filtros. A adição de cloreto em dosagens de 5 e 10 mg/L ocasionou uma redução na duração prevista das corridas de filtração, com efeitos mais significativos para a taxa de $10 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$.
- ✓ As estocagens relativas de sólidos estimadas com base no modelo proposto por Tchobanoglous (1991) variaram entre $2,0 \text{ kgSST}/\text{m}^3$ leito e $6,4 \text{ kgSST}/\text{m}^3$ leito, sendo que os maiores valores foram obtidos com os filtros de menor espessura de leito, indicando uma retenção de sólidos nas camadas superficiais do filtro.
- ✓ A adição de cloreto férrico em dosagens maiores (20 mg/L e acima), sob taxa de $10 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, para remoção de fósforo, causou efeitos indesejáveis na turbidez e concentração de SST do filtrado, bem como significativas reduções nas durações das corridas de filtração. De acordo com a curva teórica ajustada aos dados experimentais, para alcançar uma concentração de fósforo total no efluente abaixo de 2 mg/L, seriam necessárias doses $\text{Fe}^{+3}:\text{P}$ de 5,8, 5,7 e 4,4, para os filtros FT1, FT2 e FT3, respectivamente. Estes valores são muito superiores aos normalmente encontrados na literatura, que são entre 1 e 3 ($\text{Fe}^{+3}:\text{P}$).
- ✓ Os estudos para estabelecimento do protocolo de lavagem indicaram uma completa limpeza dos filtros, utilizando lavagem com ar e efluente filtrado, simultaneamente, durante 8 minutos, seguidos de 2 minutos de lavagem com efluente apenas, em fluxo ascendente. As taxas para lavagem foram de $25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ para o efluente filtrado e de $200 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ para o ar.
- ✓ A partir do protocolo de lavagem estabelecido foi estimada a produção de lodo, com base na eficiência média de remoção de sólidos dos filtros e na duração de corrida prevista, para a filtração sem adição de cloreto férrico. O percentual de efluente consumido para lavagem e o volume produzido durante a corrida de filtração variou entre 2,8 e 4,6 %, estando de acordo com o recomendado na literatura (abaixo de 5 %). A concentração prevista de sólidos no lodo variou entre 343 e $915 \text{ g}/\text{m}^3$.

AGRADECIMENTOS

- ✓ Pesquisadores do Núcleo Água;
- ✓ Rede ProSab;
- ✓ CNPq;
- ✓ CESAN;
- ✓ UFES;
- ✓ FINEP

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIN, A. et al., **Effluent Pretreatment by iron coagulation applying various dose-pH combinations for optimum particle separation**. Wat. Sci. Tech., vol. 38, No. 6, p. 27-34, 1998.

CHERNICHARO et al., **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. 1ª edição, PROSAB, Belo Horizonte, 2001.

CLARK, T. et al., **Phosphorus removal by chemical precipitation in a biological aerated filter**. Water Research, vol. 31, nº 10, p. 2557-2563, 1997.

DI BERNARDO, L., **Métodos e técnicas de tratamento de água**, volume II. ABES, Rio de Janeiro, 1993.

EPA, **Chemical aids manual for wastewater treatment facilities**. USEPA, USA, 1979.

MORSE, G. K. et al., **Review: Phosphorus removal and recovery technologies**. The Science of the Total Environment, 212, p. 69-81, 1998.

NETTO, J. M. A. et al., **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água. Volume 2 – Tratamento de Água**. CETESB/ASCETESB. 3ª ed., São Paulo, 1987.

SINELLI, P. H., **Remoção de fósforo de efluente de tratamento anaeróbio por processo físico-químico**. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica – USP, São Paulo, 2002.

VON SPERLING, M., **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – vol. 1 - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Belo Horizonte, 1996.