



BIODESFOSFATAÇÃO NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO, UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A PROTEÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

H. Hoffmann¹, J. Weitz², T. B. Costa¹, D.B. Wolff¹, C. Platzer³, R.H. R. Costa¹

¹Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, CTC – Universidade Federal de Santa Catarina. Campus universitário, Trindade, CEP 88040-970 Florianópolis SC
Telefone (0xx48) 331 9597 – (0xx48) 331 9823 – Email: heike@ens.ufsc.br

²FH Offenburg

³Rotária do Brasil Ltda

RESUMO: Este trabalho apresenta uma metodologia para avaliar a remoção biológica de fósforo em sistemas de lodo ativado. Foram determinadas a quantidade de fósforo armazenado no lodo e a quantidade de fósforo que o lodo pode retirar e re-armazenar. A metodologia foi empregada para analisar o lodo de uma estação do tipo valo de oxidação, na qual observou-se uma capacidade de retirar 4 mg PO₄-P/ L. Um reator piloto RSB foi inoculado com este lodo com o objetivo de aumentar a capacidade para a retirada do fósforo, funcionando em regime adaptado para a biodesfosfatação. Inicialmente foi obtida a retirada de 13 mg PO₄-P/L. Foram avaliados os fatores que influenciam a biodesfosfatação para otimizar este processo, que é muito importante para a proteção de recursos hídricos.

PALAVRAS CHAVE: Biodesfosfatação, Cinética, Lodo ativado contínuo, Lodo ativado em batelada.

ABSTRACT: This work presents a method for determination of the enhanced biological phosphorus removal capacity. The capacity of an activated sludge to uptake and release phosphorus were analyzed. A method was used to characterize the sludge of a full size treatment plant with sludge stabilization. A luxury uptake of 4 mg PO₄-P / L was observed. The same sludge was used in a sequencing batelada pilot plant with an anaerobic phase, to improve the luxury P-uptake with an adapted regulation. The luxury uptake of sludge could be improved to 13 mg PO₄-P /L. The process performance was studied to optimize the very important process of enhanced biological phosphorus removal.

1 INTRODUÇÃO

Apesar da existência de problemas em saneamento básico no Brasil, a questão da remoção de nutrientes ainda é pouco considerada, especialmente o fósforo. As fontes e quantidades de fósforo nos esgotos são bastante variadas, podendo-se citar as excreções humanas, restos de alimentos e também pela presença de despejos industriais, cargas não

pontuais e detergentes. Estes últimos influenciam significativamente os teores de fósforo nos esgotos, podendo ser responsáveis pela metade da contribuição de fósforo pelos esgotos domiciliares (Von Sperling, 1997).

O aporte elevado desse nutriente em rios, lagos e represas provoca o crescimento excessivo da vegetação aquática, causando um desequilíbrio indesejável do balanço de oxigênio da massa líquida e favorecendo a eutrofização de

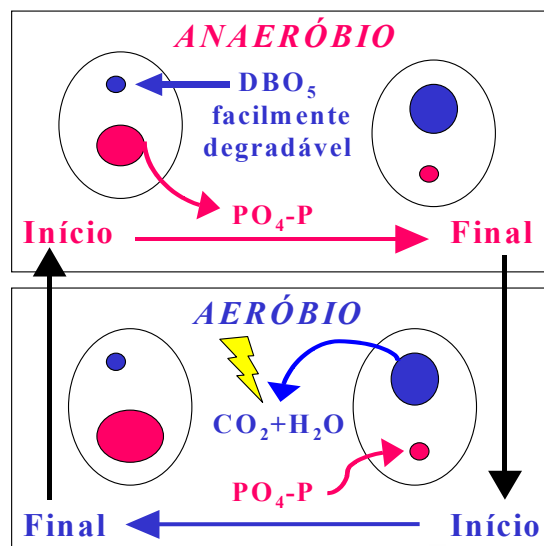
corpos d'água. Recentemente, verificou-se que a presença de algas tóxicas, bem como as cianobactérias, provocam problemas adicionais. Segundo Chorus & Bartman (1998), as águas afetadas com o crescimento extensivo das algas tóxicas não são mais apropriadas para uso doméstico. A eliminação do fósforo nas estações de tratamento de esgoto é o fator mais importante para evitar os problemas da eutrofização.

Até 1980, a única possibilidade de remoção de fósforo de esgoto era a precipitação química, um processo caro e até hoje raramente utilizado no Brasil. O processo muito mais econômico é a biodesfosfatação, desenvolvida inicialmente nos EUA e na África do Sul (Vacker *et al* 1967; Levin *et al.* 1972; Barnard, 1974, Metcalf e Eddy, 2003). O processo depende de mudanças contínuas entre condições aeróbias e anaeróbias no reator biológico, utilizando a capacidade natural de um grupo de bactérias heterotróficas que acumulam fosfato em excesso (Metcalf e Eddy, 2003; Von Sperling 1997). Condições anaeróbias com um excesso de substrato facilmente degradável, por exemplo ácidos graxos, induzem uma liberação de fosfato, como única possibilidade das bactérias para obter energia para o consumo do substrato. Realizada a liberação, os organismos capturam, em seguida, sob condições aeróbias, o fosfato em excesso “luxury uptake” (figura 1) e consomem cada vez mais, até uma remoção de quase 100% de fosfato do afluente (ATV manual, 1997).

O clima quente favorece a realização deste processo (Metcalf e Eddy, 2003) e, assim, a biodesfosfatação eventualmente ocorre em alguns sistemas de lodos ativados no Brasil, especialmente naqueles com fases extensas, sem aeração e com alta carga orgânica. A

biodesfosfatação exige altas concentrações de DBO_5 em situações anaeróbias, as quais são caracterizadas pela ausência de oxigênio e nitrato. A ausência de nitrato significa que não foi realizada a nitrificação ou a desnitrificação foi concluída antes da fase anaeróbia.

Figura 1. Princípio da remoção biológica de fosfato



O objetivo deste trabalho consiste em apresentar uma metodologia simples para a avaliação da capacidade de remoção biológica de fosfato de estações de tratamento de esgoto, através de análises com o lodo ativado destas estações.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Ensaios cinéticos

Foram realizados ensaios em batelada, desenvolvidos segundo Hulsbeck (1995), para avaliar a cinética do processo. Esses ensaios mostram a capacidade de remoção biológica de fosfato do lodo investigado.

Material:

- Lodo ativado de um sistema que possua capacidade de biodesfosfatação
- Pré-tratamento do lodo: 8 horas de alternância com e sem aeração e com agitação magnética, regulado por temporizador.
- Reator de 2 litros, Agitador magnético, Bomba de ar, Glicose ($C_6H_{12}O_6$) e Fosfato de amônio ($PO_4 NH_4$).

Análises iniciais do lodo ativado: SST, PO_4 -P, $DQO_{filtrada}$, NO_3 -N, NO_2 -N, NH_4 -N (Standard Methods, APHA-AWWA-WEF, 1998)

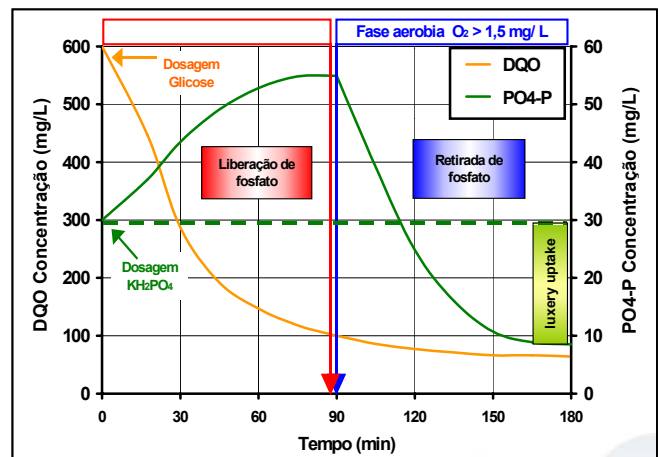
Início: Adicionar 1000 mg/L glicose (como substrato sintético) no lodo ativado do reator em agitação lentamente

Procedimento: A mistura do lodo e substrato (glicose) fica sob agitação lenta, de modo a evitar qualquer turbulência que permita a oxigenação do lodo, por até 120 min. A concentração de PO_4 -P e de $DQO_{filtrada}$ deve ser analisada e registrada no início e depois, no mínimo, a cada 15 min. Se houver a presença de nitrato no lodo (anóxico), o excesso de glicose garante uma desnitrificação, mas há necessidade de um controle da concentração de NO_3 -N até o ponto em que o nitrato desaparece (anaeróbio). A partir do início da fase anaeróbia, ocorre a liberação do fosfato em lodos com a capacidade de biodesfosfatação. Dependendo da concentração de DQO aplicada e da quantidade de fósforo já armazenada no lodo, este processo é mais ou menos significativo.

A figura 2 mostra um esquema da curva típica do ensaio. Na fase anaeróbia, as bactérias liberam o fosfato armazenado. Quando a concentração de fosfato atinge o ponto máximo (aproximadamente 90 min), a bomba de ar deve

ser acionada. Na fase com aeração (que dura pelo menos 90 min) as bactérias capturam todo o fosfato liberado e continuam a capturar mais, além do liberado. A diferença entre o valor capturado e o liberado do fosfato chama-se *luxury uptake*. A concentração de fosfato deve ser controlada no mínimo a cada 15 minutos até atingir o ponto mínimo, não necessariamente zero, mas com remoção constante e mínima.

Figura 2. Esquema do ensaio em “batelada” de liberação e retirada do fosfato



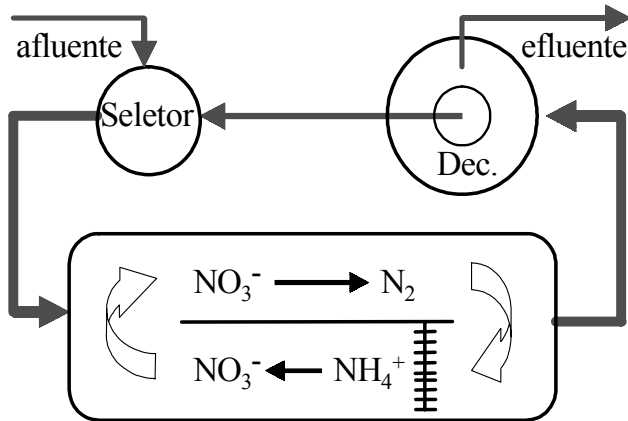
Dependendo da capacidade da atividade das bactérias, um ensaio demora de 2 a 3 horas. Se as bactérias apresentarem capacidade de biodesfosfatação, a concentração de fósforo no final da fase anaeróbia é maior do que no início, conforme observado na figura 2. O lodo com número crescente das bactérias que fazem a biodesfosfatação consome cada vez mais fosfato do que libera.

2.2 ETE do tipo valo de oxidação

Neste estudo, foi analisado o lodo ativado de uma estação de tratamento de esgoto em funcionamento contínuo, em escala real, do tipo valo de oxidação, situada em um balneário de

Santa Catarina. Este tipo de sistema, de aeração prolongada, permite o tratamento de cargas inferiores a $0,05 \text{ kg DBO}_5/\text{kg SST} \cdot \text{d}$. A figura 3 apresenta um esquema da ETE.

Figura 3: Configuração da ETE do tipo valo de oxidação, Dec= Decantador



No tanque “seletor” o esgoto bruto é misturado com o lodo do retorno, induzindo condições anaeróbias após a remoção de nitrato ainda não retirado neste lodo. Esta configuração corresponde ao fluxo “simultâneo”, conforme descrito por Metcalf e Eddy (2003); Von Sperling (1997) e ATV Manual (1999).

Especialmente durante a alta temporada de verão, quando ocorrem cargas aplicadas elevadas, o efluente final da estação possui baixas concentrações de fosfato, pois a configuração da estação corresponde com as exigências fundamentais para o processo da biodesfosfatação (figura 3).

A capacidade de biodesfosfatação do lodo foi verificada com ensaios em batelada, como descrito em 2.1. Em vista dos resultados, o demonstra o regime do reator piloto RSB, que funciona totalmente automatizado. Foram realizados ciclos de 8 horas, com 4 fases de

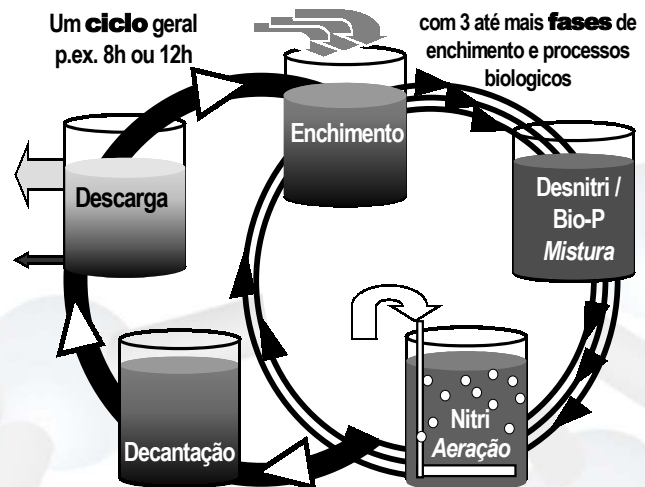
lodo desta ETE foi aplicado em um reator piloto do tipo lodo ativado por batelada para aumentar sua capacidade de armazenar fosfato.

2.3 Reator piloto do tipo RSB

A biodesfosfatação pode ser realizada também em reatores sequenciais por batelada (Finger & Cybis, 1999; Artan *et al*, 2001, Wilderer 2001).

O lodo da estação tipo valo de oxidação (figura 3) foi usado para inocular um reator piloto do tipo lodo ativado por batelada com um regime especialmente otimizado nas necessidades do processo de biodesfosfatação, como mostrado na figura 4.

Figura 4: Regime do reator piloto do tipo Lodo ativado sequencial por batelada (RSB).



O reator piloto possui um volume de $1,4\text{m}^3$ e tem capacidade para tratar esgoto doméstico para uma população de 8 pessoas. A figura 4 mostra o enchimento para realizar a remoção biológica de nutrientes. Cada um dos três ciclos realizados por dia recebeu 400 L de esgoto. Por ciclo, o



reator era alimentado em 4 fases, a primeira com 220 L e demais fases com 60 L. O volume do esgoto na primeira fase de enchimento era mais elevado que nas outras fases, porém a primeira fase anóxica era muito mais longa (85 min) que as outras fases (35 min) para garantir o tempo e a quantidade de substrato suficiente para a desnitrificação do lodo e obter em seguida a fase anaeróbia. O esgoto era pré-tratado num tanque séptico com tempo de retenção de 3 dias.

3 RESULTADOS

3.1 Ensaio com o lodo ativado do valo de oxidação

Foram feitos três ensaios em batelada do lodo ativado da estação em escala real, durante o verão 2003/2004. A Tabela 1 mostra os resultados.

Tabela 1: Resultados dos ensaios de liberação e retirada do fósforo do lodo do valo de oxidação

Data	Liberação mgPO ₄ P/L	Retirada mgPO ₄ P/L	“Luxury uptake” mgPO ₄ P/L
04/11/03	0,0	1,4	1,4
15/01/03	2,3	6,1	3,8
09/02/04	4,4	5,9	1,5

As concentrações de fósforo liberadas por litro foram variáveis, significando uma retirada e armazenamento de fósforo ainda instável. A capacidade teórica de retirada cresceu, resultando em armazenamento (“luxury uptake”) de 3,8 mg PO₄-P /L em janeiro.

Os resultados mostram que o lodo do valo de oxidação investigado obteve, devido à

configuração da estação (figura 3), uma certa capacidade de armazenar fósforo em excesso. Obviamente, o lodo mantém essa capacidade, mesmo que não armazene fósforo em excesso (como ocorreu no ensaio em novembro, mostrado na tabela 1).

A operação nesta estação do tipo valo de oxidação foi analisada durante um ano. Realmente, registrou-se uma diferença de até 50% de fósforo no balanço durante um ano entre afluente e efluente final. No crescimento “normal” da biomassa, Metcalf e Eddy (2003) calculam um teor de 2% de fósforo nas células enquanto que, na biodesfosfatação, este valor se encontra por volta de 8%.

Observou-se uma biodesfosfatação especialmente nos meses com concentrações elevadas de DBO₅ no esgoto bruto (até 600 mg/L), como acontece nessa região turística frequentemente na alta temporada de verão. Essa observação corresponde com a teoria da necessidade de substrato facilmente degradável para o processo, especialmente se existe uma concorrência com a desnitrificação.

3.2 Lodo ativado do reator piloto seqüencial por batelada

Os resultados obtidos em 3 meses de operação do reator piloto seqüencial por batelada são apresentados na figura 5.

Em decorrência da baixa concentração de sólidos totais (900 mg/L) inicial, a operação começou com uma carga orgânica aplicada de 0,2 kg DBO₅/ kg SST · d. Comparado com o lodo de origem (valo de oxidação), a carga foi elevada e demorou duas semanas até a estabilização da nitrificação. De início, o lodo

não conseguiu realizar a desnitrificação suficientemente, devido ao fato que a relação entre as concentrações de DQO (200-400 mg/L, figura 5) e de Amônio (35-45 mg/L) do esgoto influente, pré-tratado em tanque séptico, era muito baixa para garantir uma boa desnitrificação. As concentrações de nitrato no efluente final se mantiveram em torno de 15 mg $\text{NO}_3\text{-N/L}$ e o fosfato inicialmente quase não foi reduzido (figura 5).

Mesmo assim, a capacidade teórica de armazenar fosfato do lodo de origem do valo de oxidação aumentou com o regime novo no reator piloto. Isto foi obtido através da estratégia operacional adotada, isto é, depois do primeiro enchimento, quando foi realizada uma fase muito longa sem aeração e com alta carga orgânica. O primeiro ensaio em batelada de liberação e retirada de fosfato, realizado no dia 5/12/03 (tabela 2) mostrou uma retirada teórica muito elevada (*luxury uptake*: 10,3 mg $\text{PO}_4\text{-P/L}$) do lodo do RSB.

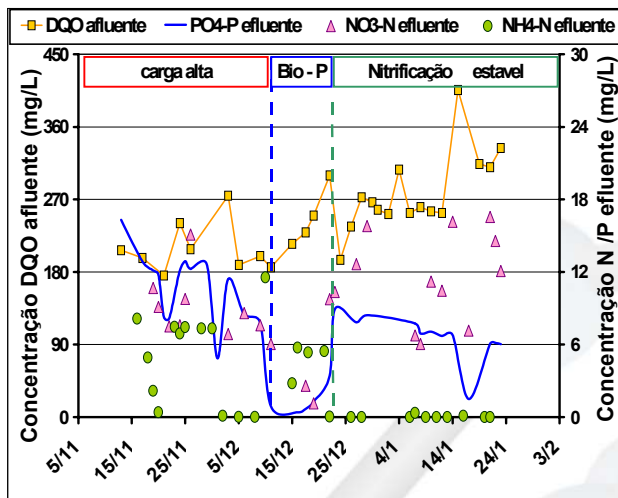


Figura 5. Resultados da remoção biológica de fósforo e os principais fatores de influência.

Entre o dia 11 e 20.12.03 o reator recebeu uma carga crescente com concentrações de DQO elevadas, adicionalmente problemas técnicos provocaram uma redução de oxigênio na fase aeróbia (máximo 0,8 mg $\text{O}_2\text{/l}$) e como consequência, a nitrificação piorou. A situação favoreceu a desnitrificação e a concentração de nitrato diminuiu. Neste período aconteceu uma excelente biodesfosfatação, atingindo 100 % de remoção biológica de fosfato com valor na saída inferior a 0,5 mg $\text{PO}_4\text{-P/L}$. O ensaio em batelada (tabela 2) do dia 18/12/03 mostrou que o lodo realmente possuía altas concentrações de fosfato armazenado, e conseguiu liberar 24,2 mg/L. Mais elevada ainda era a sua capacidade observada de retirar o fosfato, ele chegou em 37,2 mg $\text{PO}_4\text{-P/L}$, que significa um “*luxury uptake*” de 13 mg $\text{PO}_4\text{-P/L}$ de ou seja, 5,9 mg $\text{PO}_4\text{-P/g}$ SST.

Tabela 2: Resultados dos ensaios de liberação e retirada do fosfato do lodo do reator piloto RSB.

Data	Liberação mg $\text{PO}_4\text{P/L}$	Retirada mg $\text{PO}_4\text{P/L}$	Luxury uptake
05/12/03	0,5	10,8	10,3
18/12/03	24,2	37,2	13,0
09/02/04	3,8	5,5	1,7

Essa fase curta da biodesfosfatação terminou com o estabelecimento da nitrificação através de uma aeração mais eficiente a partir do dia 20.12.03 com resultado de forte produção de nitrato. Mesmo elevada, a concentração de DQO no afiuente tratado anaerobicamente não foi suficiente para manter a desnitrificação concomitantemente com a biodesfosfatação no reator. O lodo que não utilizou a biodesfosfatação perdeu sua alta capacidade de



armazenar e liberar o fosfato, como mostra o terceiro ensaio em batelada (tabela 2), a capacidade resistente corresponde com a capacidade de lodo da estação em escala real (tabela1).

Uma possível solução para realizar a desnitrificação e a biodesfosfatação com esgoto pré-tratado anaeróbico consiste na interrupção controlada do processo anaeróbico ao nível de hidrólise, feito por Álvarez *et al* (2001), com o objetivo de melhorar as condições para a desnitrificação no pós-tratamento biológico. A matéria orgânica (DBO₅), mesmo reduzida, aumenta sua degradabilidade até 75%.

4 CONCLUSÕES

O ensaio em batelada para avaliar a capacidade teórica de um lodo para fazer a biodesfosfatação mostrou ser um teste simples de realizar, com resultados significativos, que facilita a caracterização de um lodo de uma ETE e quantificam sua capacidade exata sem a influência de outros fatores.

Para a estação do tipo valo de oxidação, foi observado nos ensaios em batelada, que possui uma certa capacidade de realizar a biodesfosfatação. O regime de alta carga na fase inicial do reator seqüencial por batelada aumentou essa capacidade significativamente. O lodo, porém, perdeu sua capacidade de armazenar fosfato em excesso, com o aumento da concentração de nitrato devido a concorrência dos organismos heterotróficos que realizam a biodesfosfatação e desnitrificação.

Segundo os resultados obtidos, a biodesfosfatação pode ser integrada facilmente em sistemas de alta carga, que não tem uma produção de nitrato (sem nitrificação). Realizada

juntamente com os outros processos de remoção de nutrientes, como a nitrificação e a desnitrificação, precisa de uma oferta elevada de substrato facilmente degradável, que normalmente não é garantido no caso de esgoto pré-tratado anaerobicamente. Num pós-tratamento aeróbio, a nitrificação quase não pode ser evitada, e com isso espera-se problemas com a eficiência da desnitrificação.

Em geral, a biodesfosfatação é uma alternativa interessante para a remoção de fósforo, eficiente e com baixos custos. O processo pode ser realizado em todos os sistemas de lodos ativados de grande porte, inclusive nos sistemas menores, e por isso é extremamente interessante para sistemas descentralizados no Brasil, que podem contribuir efetivamente na proteção de corpos receptores de água.

5 BIBLIOGRAFIA

- ÁLVAREZ, J.A., ZAPICO, C.A., GÓMEZ, M.; PRESAS, J. SOTO, M.: Anaerobic Hydrolysis of an municipal wastewater in a Pilot Scale Digester. 3. *IWA conference, Melbourne, Australia, 2002*
- ARTAN, N., WILDERER, P. A., ORHON, D., MORGENROTH, E., ÖZGÜR, N.: The mechanism and design of sequencing batelada reactor systems for nutrient removal - the state of the art. *Water Sci. Techn* 43, (3), 53-60. 2001
- ATV Manual, ATV Handbuch "Biologische und weitergehende Abwasser-reinigung" 4. Auflage 1997, Ernst & Sohn, Berlin, Hrsg. Abwassertechn. Vereinigung e.V. Hennef, Alemanha, 1997



- BARNARD, J.L.: Cut P and N without chemicals, *Water and Wastes Eng. Vol. 11 S 33-36*, 1974
- CHORUS, I.; BARTMAN, J.: *Toxic Cyanobacteria in Water: A guide to their public health consequences, monitoring and management*, edited by I. Chorus and J. Bartram ed by WHO (World Health Organization) ISBN 0-419-23930-8, 1998.
- FINGER J. L., CYBIS L. F. Remoção biológica de fósforo em reatores seqüenciais em batelada. *20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro/RJ – Brasil*, 1999.
- HULSBEEK, J.: Bestimmung von Parametern zur Beschreibung der Prozesse bei der biologischen Stickstoff- und Phosphorentfernung. Abwasserreinigungsanlagen, *Veröffentlichung des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, H. 90*, 1995
- LEVIN, G.V. TOPOL, G.J.; TARNAY, A.G. SAMWORTH, R.B. Pilot plant tests of a phosphate removal process. *Journ. WPCF, Vol 44, S 1940-1954*, 1972
- METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse*. 3 rd . ed., McGraw-Hill, New York, USA, 1334p., 2003.
- VACKER D.; CONNELL, C.H. WELLS, W.N. Phosphate removal through municipal wastewater Treatment in San Antonio Texas. *Journ. WPCF, Vol. 39 S 750-771*, 1967.
- WILDERER P.A. Sequencing Batelada Reactor Technology. *IWA Publishing, London, Sci. Techn. Report No. 10*, 2001.
- VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 4. Lodos Ativados*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 406 p, 1997.