

## **USO DE RSB EM ESCALA PILOTO PARA PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE TRATAMENTO ANAERÓBIO**

**Luiz Fernando Cybis e Karine Pickbrenner**

*Av. Bento Gonçalves, 9500 - Caixa Postal 15029 - Porto Alegre - RS - CEP: 91501-970 - Brasil - Tel: (051)33166567 - Fax: (051)33191157 - e-mail: lfcybis@ufrgs.br.*

### **RESUMO**

Este trabalho relata o estudo de pós-tratamento de efluentes originários de tratamento anaeróbio, objetivando a remoção de nutrientes. Foram utilizados dois sistemas de reatores sequenciais em batelada (RSB), em escala piloto, tratando o efluente de um UASB. Um sistema era composto por dois reatores conectados em série, sendo o primeiro um pré-fermentador alimentado por esgoto bruto e o segundo um RSB alimentado pelos efluentes do pré-fermentador e do UASB. O outro sistema foi composto por um RSB alimentado somente pelo efluente do UASB. Os dois sistemas foram operados com ciclos operacionais de 8 horas (3 ciclos diários). Além da já esperada eficiência deste tipo de tecnologia na remoção de DQO, os resultados demonstram de razoável a boa eficiência na remoção de fósforo para os dois sistemas testados. O processo de nitrificação não se desenvolveu possivelmente devido à inibição das bactérias nitrificante por sulfetos produzidos no tratamento anaeróbio. Com isso o processo de desnitrificação também não pode ocorrer. Com o decorrer do experimento ocorreram problemas de sedimentabilidade do lodo, associados com a baixa carga orgânica afluente e com a inibição por sulfetos.

### **PALAVRAS CHAVE**

Lodos Ativados; Pós-tratamento; Reator Sequencial em Batelada; RSB; Remoção Biológica de Nutrientes.

### **INTRODUÇÃO**

Tem-se observado nos últimos anos uma acelerada deterioração da qualidade das águas, resultante, entre outros motivos, da descarga em quantidades crescentes de efluentes nos cursos d'água. A remoção efetiva de poluentes, particularmente os nutrientes carbono, nitrogênio e fósforo é de vital importância no controle da poluição crescente dos mananciais.

O tratamento anaeróbio de esgotos domésticos mostra-se eficiente em termos de remoção de matéria orgânica, mas apresenta problemas, entre outros, relacionados com o conteúdo de nitrogênio e fósforo que acarretam obstáculos para a disposição final do efluente em corpos d'água.

Os processos biológicos de nitrificação, desnitrificação e remoção de fósforo têm-se mostrado promissores no controle da presença de nitrogênio e fósforo nos efluentes (Sedlak, 1991; Tchobanoglous and Burton, 1991; EPA, 1993; WRC, 1984). Considerando-se que no esgoto doméstico fresco o nitrogênio está presente principalmente na forma orgânica, admite-se que o processo

de remoção de nitrogênio ocorrerá em três estágios: a conversão de nitrogênio orgânico para amônia (amonificação), a oxidação da amônia a nitrato na presença de oxigênio (nitrificação) e, por fim, a conversão de nitrato a nitrogênio gasoso utilizando um composto orgânico como agente redutor na ausência de oxigênio (desnitrificação). Já o mecanismo de remoção biológica de fósforo é baseado na capacidade de certas bactérias de acumular fósforo em excesso. Este fenômeno ocorre quando se utilizam sistemas anaeróbios/aeróbios combinados com regimes de excesso e escassez de matéria orgânica, criando condições favoráveis ao desenvolvimento de bactérias removedoras de fósforo.

Os RSB têm sido investigados para o pós-tratamento dos efluentes anaeróbios (Cybis e Pickbrenner, 2000; Van Haandel e Guimarães, 2000). A característica fundamental de um reator sequencial em batelada (RSB) é a flexibilidade das etapas de um ciclo. Tal característica permite o estabelecimento de condições de processo que promovam a remoção biológica de nutrientes. O RSB obedece a um ciclo de operação pré-determinado, composto por cinco etapas básicas: enchimento, reação, clarificação, retirada do efluente e repouso. Antes de começar o enchimento, já existe no reator a biomassa que permaneceu da fase anterior. Na etapa de reação, o liquor é misturado e/ou aerado, de acordo com o objetivo do processo biológico. Na fase de sedimentação, sem mistura, os sólidos são sedimentados, para então, durante a próxima fase, de retirada, o efluente clarificado ser removido. Depois dessa fase, o liquor permanece no reator em repouso até o começo do próximo ciclo. A retirada do excesso de lodo, que determina o tempo de residência celular (idade de lodo) aplicado no sistema, pode ser feita no final da etapa de reação ou durante o descanso (Ketchum, 1996).

A fermentação é uma maneira de produzir tais substratos, principalmente ácidos graxos voláteis de cadeia curta. Devido à versatilidade do sistema, os RSB podem também ser utilizados como fermentadores. Tanto o processo de desnitrificação como a remoção biológica de fósforo dependem da presença de matéria orgânica prontamente biodegradável. Danesh e Oleskiwicz (1996), realizaram um trabalho experimental em laboratório com dois RSB ligados em série: o primeiro foi utilizado como um pré-fermentador e o segundo como um sistema de lodos ativados alimentado pelo efluente do primeiro. Eles obtiveram concentrações de ortofosfato ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) no efluente abaixo de 0,5 mg/L.

Este trabalho insere-se dentro de uma linha de pesquisa desenvolvida em duas escalas diferentes. Primeiramente, em escala de laboratório, desenvolveu-se um sistema de RSB tratando o efluente anaeróbio produzido por um RSBA<sub>n</sub>, alimentado por esgoto sintético caracteristicamente doméstico (Cybis e Pickbrenner, 2000). Este artigo se propõe a descrever o experimento subsequente, feito em escala piloto, tendo como principal objetivo a análise do efeito da mudança de escala na performance de RSB tratando o efluente anaeróbio de um UASB com vistas à remoção biológica de nutrientes. Além disso, passou-se a usar esgoto real em vez de esgoto sintético utilizado no experimento em escala de bancada.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em dois RSB (RSB1 e RSB2) alimentados com efluente de um UASB, objetivando a remoção biológica de nutrientes.

Cada RSB constituiu-se de um cilindro de ferro, com altura de 1,5m e diâmetro de 0,8m. Os dois RSB foram operados com o volume de trabalho de 600 litros e volumes de alimentação e descarte de 400 litros por ciclo operacional. Com o objetivo de aumentar a concentração de ácidos graxos voláteis (AGV) no afluente ao RSB1, introduziu-se um RSB operando como um pré-fermentador de esgoto bruto. Este reator foi operado com um volume de trabalho de 300 litros e

volumes de alimentação e descarte de 200 litros. Dessa forma o RSB1 foi alimentado por duas correntes totalizando 400 litros: efluente do UASB (200 litros) e efluente do pré-fermentador (200 litros). O RSB2 teve seu volume total de alimentação (400 litros) composto pelo efluente do UASB. Os três reatores (pré-fermentador, RSB1 e RSB2) foram operados com ciclos de 8 horas, perfazendo 3 ciclos diários. A configuração esquemática do experimento e os ciclos operacionais aplicados podem ser observados na Figura 1 e Tabela 1, respectivamente.

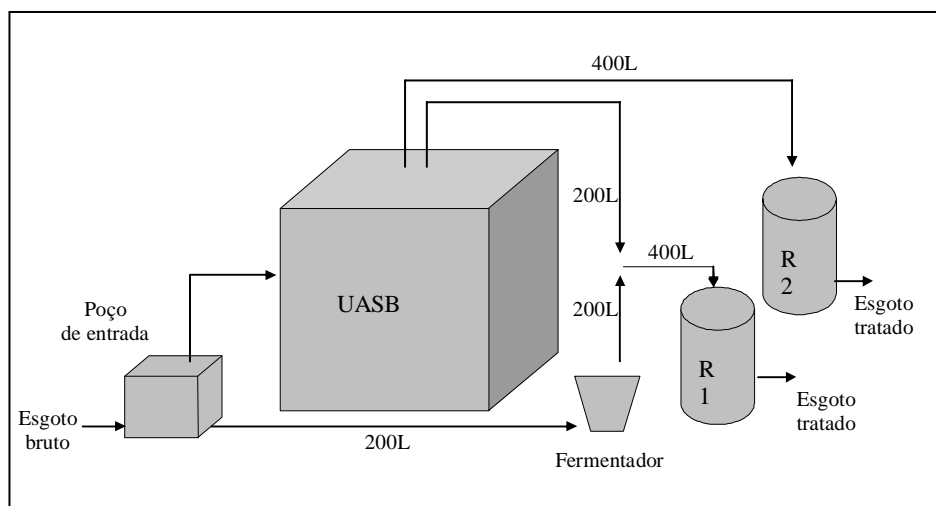


Figura 1 - Configuração do sistema composto por 1 RSBA e 3 RSB

Tabela 1 - Ciclos operacionais do pré-fermentador e dos RSB

Pré-fermentador – Ciclo de 8 horas		
Tempo	Fase	Obs.
8 h	Enchimento contínuo	
3 h	Reação Anaeróbia	M
1 h	Sedimentação	S/M e S/A
15 min	Retirada	S/M
RSB 1 e RSB2 – Ciclo de 8 horas		
30 min	Enchimento	S/M e S/A
1 h	Reação Anaeróbia	M e S/A
2 h	Reação Aeróbia	M e A
2 h 30min	Reação Anóxica/Anaeróbia	M e S/A
15 min	Reação Aeróbia	M e A
45 min	Sedimentação	S/M e S/A
30 min	Retirada	S/M e S/A
30 min	Descanso	

Obs.: M-reação c/ mistura; A-reação com aeração; S/M-reação s/ mistura; S/A-reação s/ aeração

Na partida do experimento os dois RSB foram inoculados com lodo proveniente de uma estação de tratamento de esgoto em atividade, do tipo lodo ativado em batelada. A concentração de SSV inicialmente resultante nos RSB foi na faixa de 1500-2000 mg/L.

As alimentações de afluentes e descartes de efluentes foram realizadas por bombas dosadoras. Para a mistura foram utilizados misturadores de baixa rotação, e a aeração com bolhas finas foi realizada por um compressor de ar alimentando difusores de membrana localizados na base inferior do reator. Os sistemas (bombas, misturadores, bóias de nível e aeração) foram controlados por um conjunto de timers analógicos. O descarte do lodo excedente foi realizado manualmente e inicialmente os sistemas foram operados com uma idade de lodo de 30 dias.

O experimento foi monitorado por meio de análises físico-químicas convencionais de coletas realizadas numa frequência de duas vezes por semana. Os seguintes parâmetros foram analisados: pH, DQO, Sólidos Totais, Sólidos Fixos, Sólidos Voláteis, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Suspensos Voláteis, NTK, Nitrogênio Amoniacal, Nitratos, Nitritos, Alcalinidade Total, Ortofosfatos e Fósforo Total. Todas as análises foram feitas seguindo as recomendações de APHA, AWWA, WPCF (1995). Além disso, foi realizado um perfil temporal de acompanhamento de um ciclo operacional completo para o RSB1 e RSB2 quanto aos parâmetros NTK, Nitrogênio Amoniacal, Nitratos, Nitritos, Ortofosfatos, DQO, pH e Oxigênio dissolvido.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O experimento foi desenvolvido durante um período de sete meses, compreendido entre os meses de janeiro a agosto. Os resultados médios obtidos nesse período podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados médios

Parâmetro	Esgoto bruto	Efluente			
		UASB+ Pré-	UASB	RSB1	RSB1
pH	6,98	6,96	6,92	7,32	7,51
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	110,61	171,87	181,92	138,85	187,46
SST (mg/L)	121,42	40,49	45,11	37,05	41,16
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	281,11	122,41	110,55	56,15	73,99
DBO (mg O <sub>2</sub> /L)	145,00	90,00	57,50	53,69	37,23
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	20,99	5,25	4,36	4,87	4,78
Amônia (mgNH <sub>3</sub> -N/L)	14,72	21,71	23,69	17,26	16,57
Nitrato (mgNO <sub>3</sub> -N/L)	0,83	0,05	0,09	0,16	0,10
Nitrito (mgNO <sub>2</sub> -N/L)	0,25	0,00	0,00	1,67	1,84
Ortofosfato (mgPO <sub>4</sub> -P/L)	2,96	3,05	3,44	2,10	2,27
Coliformes Totais (NMP/100mL)	1,29E+08	1,37E+07	6,70E+06	1,90E+06	5,38E+06
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	1,26E+07	1,00E+06	2,40E+06	2,71E+05	6,79E+05

O sistema de RSB traz consigo a necessidade de automação em termos de equipamentos mecânicos. Ocorreram vários problemas no decorrer da pesquisa, principalmente em função de ser um experimento piloto desenvolvido numa estação de tratamento de esgoto real (UASB) e não contar com operadores em tempo integral. Por se tratar de um sistema de lodos ativados, o efeito principal percebido esteve relacionado a problemas enfrentados com a aeração. Períodos sem aeração em plantas desenvolvidas com o objetivo de remoção de nutrientes afetam primeiramente o desenvolvimento de bactérias nitrificantes que são bastante sensíveis a tais mudanças. Além disso, quanto à remoção biológica de fósforo, períodos sem oxigênio dissolvido interrompem a sequência de absorção de ortofosfatos do meio líquido durante a fase aeróbia. Dessa forma, ocorre um desequilíbrio do processo com conseqüente perda de eficiência. Este fato pode ser observado na Figuras 2 e 3, onde ocorrem situações em que as concentrações de ortofosfatos no efluente se apresentam bem maiores que no afluente.

Outro problema enfrentado por duas vezes no decorrer da pesquisa foi a alimentação dos RSB com efluente do UASB atingindo o manto de lodos. Tal situação provocou um aumento exacerbado nas concentrações de SSV e concentrações de OD abaixo das mínimas requeridas para os processos biológicos. Em tais ocasiões, optou-se pela reinoculação do lodo nos dois RSB.

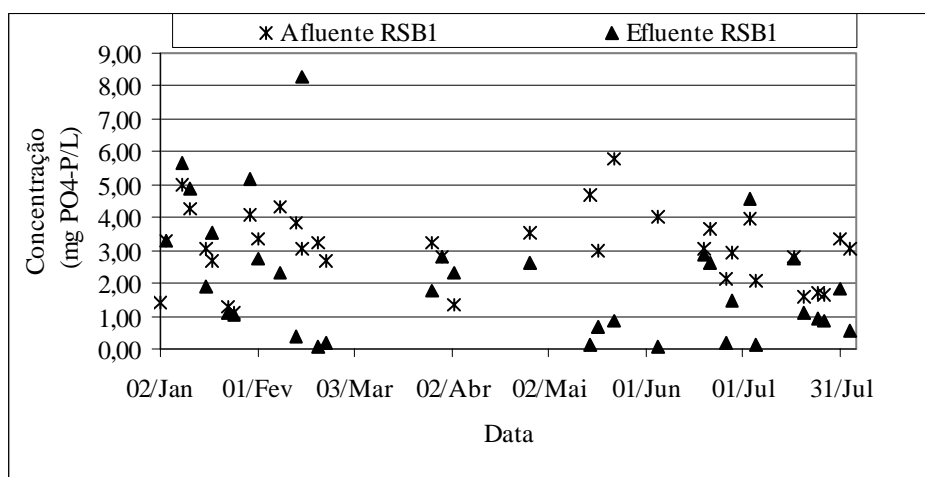


Figura 2 - Variação temporal da concentração de ortofosfato afluente e efluente no RSB1

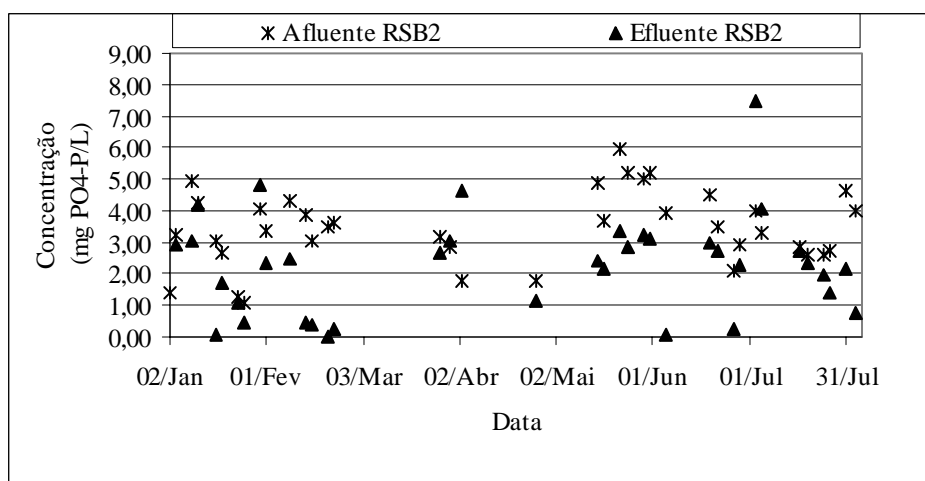


Figura 3 - Variação temporal da concentração de ortofosfato afluente e efluente no RSB2

Todos os modelos desenvolvidos para remoção biológica de fósforo mostram a importância da disponibilidade de produtos de fermentação para os organismos acumuladores de fósforo. Quanto maior a quantidade, principalmente de acetato e propionato na zona anaeróbia, maior será a remoção de fósforo. É importante que a matéria orgânica no afluente ao sistema de tratamento esteja disponível na forma solúvel (DBO solúvel), de forma a permitir a fermentação. Hong *et al.* (1982) *apud* Sedlak (1991) citam uma relação mínima recomendável para o afluente de 15:1 (DBO:ortofosfato). Segundo recomendações da WRC (1984), caso a concentração de DQO solúvel no afluente seja inferior a 60 mg/L, é pouco provável uma remoção efetiva de fósforo; caso seja superior a 60 mg/L, a remoção de fósforo pode ser alcançada, desde que se eliminem os nitratos da fase anaeróbia. Neste experimento, valores observados em algumas ocasiões estiveram muito próximos destes limites, o que pode explicar a alternância nos valores das eficiências.

As Figuras 2 e 3 demonstram que o processo de remoção biológica de fósforo se desenvolveu com eficiência em pontos dispersos, não se mostrando dessa forma como um sistema confiável. Os resultados demonstram que aproximadamente 40% e 30% dos valores de ortofosfato no efluente do RSB1 e RSB2, respectivamente, foram menores ou iguais a 1 mg/L. Os baixos valores de DQO (Figuras 4 e 5) no afluente aos dois RSB explicam os pontos de baixa eficiência.

Nos perfis de acompanhamento de ortofosfato para os dois reatores (Figuras 6 e 7), pode ser observado que houve liberação de ortofosfatos durante a fase anaeróbia inicial, principalmente no

RSB1, com provável formação de PHB (polihidroxibutiratos), e conseqüente absorção de ortofosfatos durante a fase aeróbia. As maiores taxas de liberação ocorreram no RSB1, alimentado pelo pré-fermentador, vindo em concordância com os resultados de maiores eficiências para este reator acima descritos.

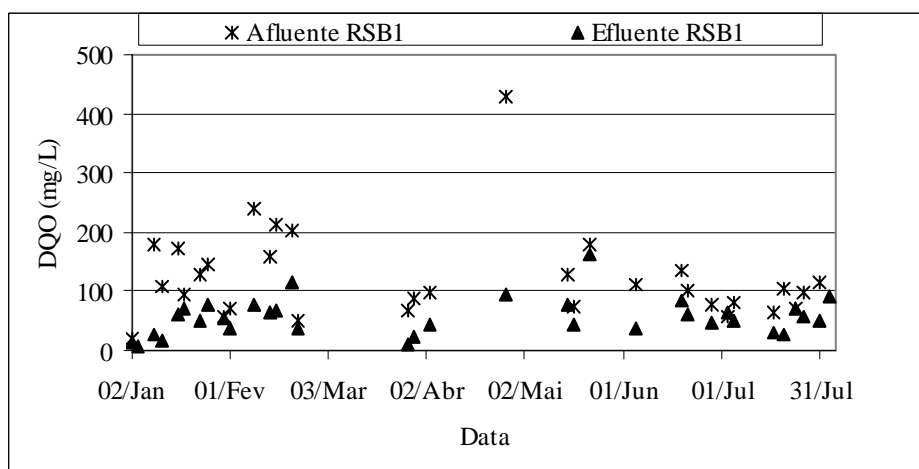


Figura 4 - Variação temporal da concentração de DQO afluente e efluente no RSB1

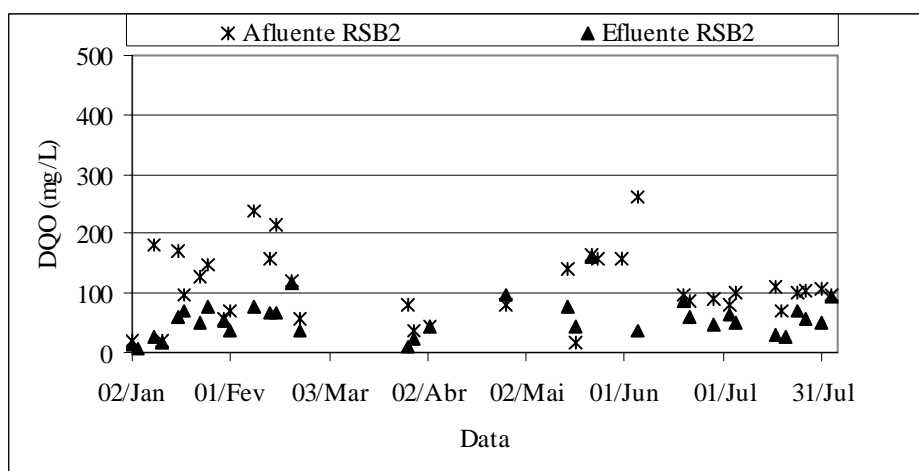


Figura 5 - Variação temporal da concentração de DQO afluente e efluente no RSB2

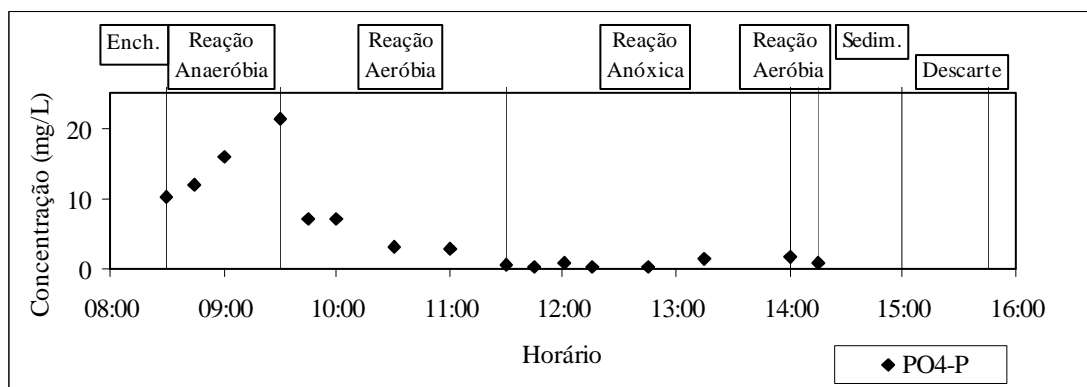


Figura 6 - Perfil de ortofosfatos RSB1

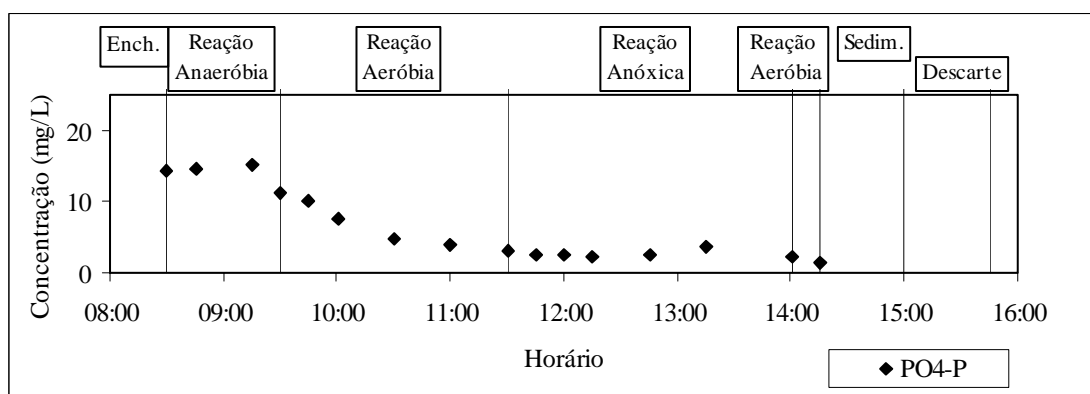


Figura 7 - Perfil de ortofosfatos RSB2

Resultados observados na tabela 2 e comprovados pelo perfil de acompanhamento do grupo nitrogênio (figuras 8 e 9), demonstram a completa ineficiência do processo de nitrificação para os dois reatores. Em ambos os reatores, o consumo de nitrogênio constatado pode ser explicado pelas necessidades das bactérias. Não existe evidência alguma de nitrificação.

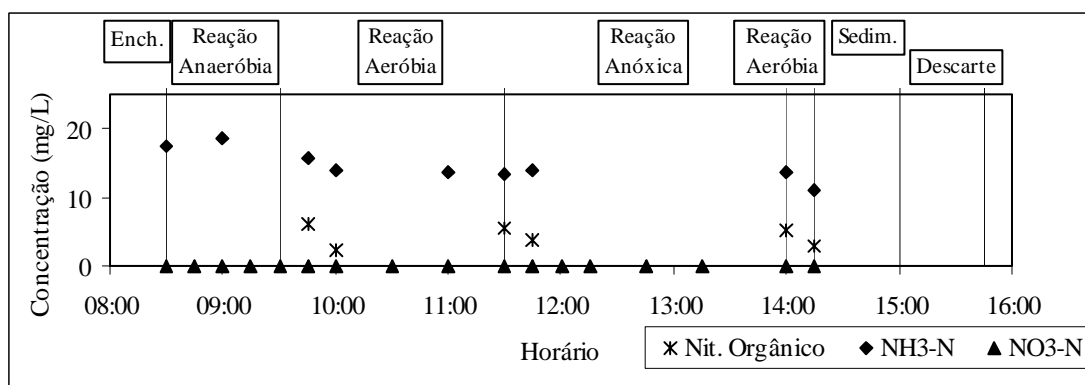


Figura 8 - Perfil do grupo nitrogênio RSB1

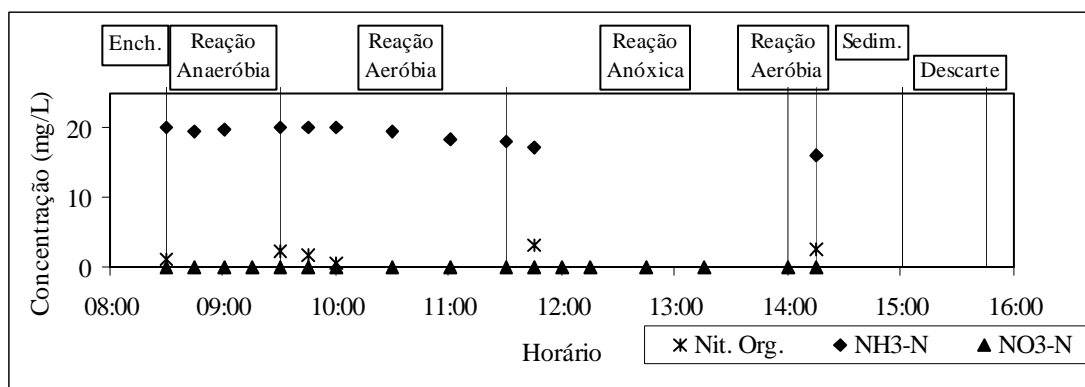


Figura 9 - Perfil do grupo nitrogênio RSB2

No experimento anterior, em escala de laboratório, Cybis e Pickbrenner (2000), diferentemente que agora, constataram que a existência de nitrogênio oxidado na fase anaeróbia leva à ocorrência da desnitrificação em detrimento da liberação de fósforo. Somente após a redução de todo o nitrogênio oxidado é que o processo de liberação de fósforo ocorre. No experimento em escala piloto aqui descrito, isto não ocorreu em razão do não estabelecimento do processo de nitrificação.

Observando-se os perfis de pH e OD (figuras 10 e 11) confirma-se a não ocorrência do processo de nitrificação durante o primeiro período aeróbio. Cybis e Pickbrenner (2000), no experimento em escala de laboratório, através de acompanhamento “on line” de parâmetros como pH e OD, detectaram pontos de completa nitrificação. Em termos de pH isso apareceu como um ponto de mínimo local e para OD como um ponto de aumento abrupto da sua concentração. Estas observações confirmam as relatadas em Cybis (1993).

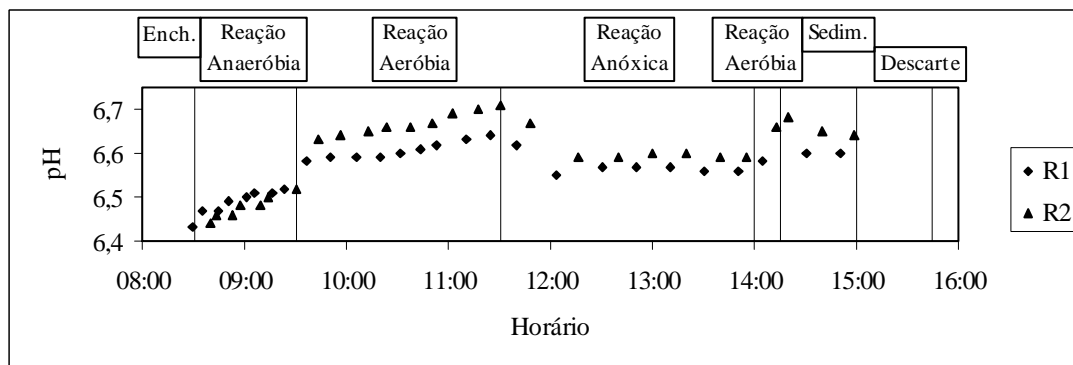


Figura 10 - Perfil de pH RSB1 e RSB2

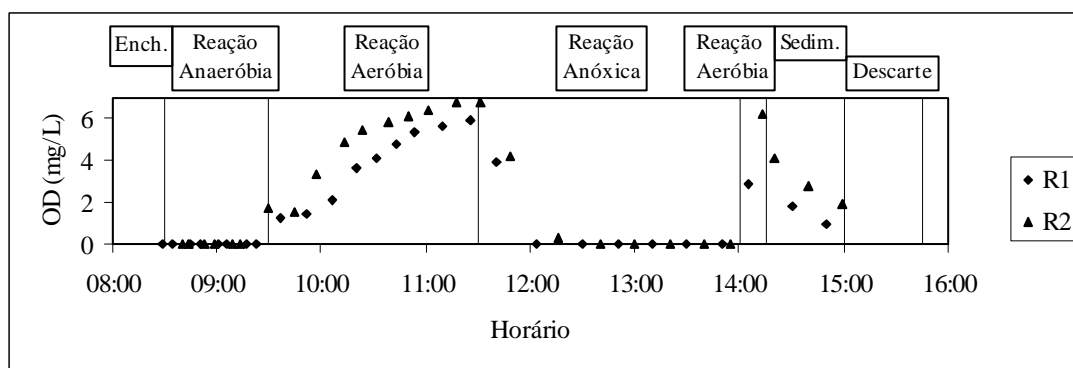


Figura 11 - Perfil de oxigênio dissolvido RSB1 e RSB2

As bactérias nitrificantes, como todas as autotróficas, são organismos particularmente muito suscetíveis à efeitos de toxicidade. A presença de substâncias tóxicas causa uma mudança nas condições ambientais para a população das nitrificantes e, dessa maneira, é indesejável em plantas projetadas para a remoção de nutrientes. Estas bactérias normalmente constituem uma pequena fração da biomassa total em lodos ativados, devido as suas baixas taxas de crescimento. Consequentemente, bastam pequenas diminuições em suas taxas de crescimento para que as nitrificantes sejam lavadas do sistema. Os inibidores que afetam a nitrificação podem ser divididos em dois grupos: i) aqueles que afetam especialmente as bactérias nitrificantes, como a tiouréia e outros orgânicos similares e ii) aqueles que afetam a taxa de crescimento das bactérias em geral, como os sulfetos, cianetos, metais pesados, fenol, etc (IWPC, 1987).

Hjuler (1992 unpublished) *apud* Haling-Sorensen e Jorgensen (1993) apresentam sulfetos como inibidores de nitrificação em quaisquer concentrações. Em função dos afluentes aos dois sistemas de RSB originarem-se ao menos parcialmente no reator UASB, é razoável se supor que os mesmos contenham sulfeto. Tais fatos levam a concluir que possivelmente o processo de nitrificação foi inibido pela presença de sulfetos no afluente aos dois RSB.

Cybis e Pickbrenner, 2000, utilizaram RSB para pós-tratamento de efluente anaeróbio, utilizando um RSBA (reator sequencial em batelada anaeróbio) alimentado com esgoto sintético caracteristicamente doméstico, para produzir o efluente anaeróbio. Nestes trabalhos foram obtidos ótimos resultados em termos de nitrificação (maiores que 80%), utilizando o mesmo lodo de inocu-



lação do presente experimento. O esgoto sintético utilizado (Torres, *et alli.*, 1996, *apud* Cybis e Pescador, 1999) não possuía enxofre em sua constituição, não havendo dessa maneira formação de sulfetos no reator anaeróbio.

Trabalhos realizados com pós-tratamento de efluentes industriais (Malaspina *et al.*, 1995; Keller *et al.*; 1997; Pochana and Keller, 1999,) apresentaram resultados de boas eficiências em termos de remoção de nutrientes, o que parece demonstrar que a inibição da nitrificação não ocorre em sistemas com altas concentrações de matéria orgânica.

Como era esperado para o sistema de tratamento empregado e observado na tabela 2, as remoções de coliformes apresentaram-se baixas, em média 2 unidades log para os dois sistemas empregados. Nenhum dos efluentes atende ao limite máximo de 1000 coliformes fecais/100 mL.

Inicialmente operou-se os dois RSB com uma idade de lodo de 30 dias. Observou-se uma diminuição progressiva da concentração de SSV. De modo a estancar esta diminuição, passou-se a controlar os dois reatores somente pela concentração de sólidos suspensos voláteis no liquor.

Ocorreram problemas sérios de sedimentabilidade. As baixas cargas orgânicas aplicadas e a possível inibição por sulfeto explicam a ocorrência da má sedimentabilidade, principalmente para o sistema alimentado somente pelo UASB. Em sistemas de lodo ativado onde somente estão presentes bactérias formadoras de flocos, ou seja, flocos que têm somente a chamada “microestrutura”, os flocos são pequenos, esféricos e compactos. Nestas circunstâncias, especialmente quando a biofloculação não foi bem desenvolvida, os flocos podem quebrar-se com a turbulência da aeração. Este tipo de floco formado é chamado de “pin flocc” ou “pinpoint flocc”. Os flocos maiores sedimentam-se rapidamente e os pequenos agregados quebram-se dos grandes flocos, sedimentando-se lentamente e criando turbidez no efluente (Jenkins *et al.*, 1993).

## CONCLUSÕES

A possibilidade de acoplamento dos processos biológicos anaeróbios e aeróbios merece mais investigação em razão das potenciais vantagens com a adoção de um sistema híbrido, tais como: diminuição dos custos com aeração; diminuição da produção de lodo; diminuição ou mesmo eliminação da necessidade de leitos de secagem; melhoria da qualidade dos efluentes quando comparado com a opção anaeróbia; etc.

Neste trabalho utilizou-se da tecnologia dos reatores sequenciais em batelada para pós-tratamento dos efluentes do UASB de uma ETE local. Concluiu-se:

- a) Foram obtidas boas remoções de matéria orgânica;
- b) Ocorreu uma alternância de períodos de boas e más remoções biológicas de fósforo;
- c) Em média, 40% do tempo foram obtidos efluentes com menos de 1 mg/L de fósforo para o RSB1, e 30% para o RSB2;
- d) A maior eficiência do RSB1 é tentativamente vinculada à existência do pré-fermentador;
- e) Não ocorreu nitrificação, e em função disto, nem desnitrificação nos dois sistemas testados;
- f) Atribuiu-se a falta de nitrificação a uma possível toxicidade do efluente do UASB, em termos da presença de sulfetos no mesmo

- g) Ocorreram problemas de sedimentabilidade, identificado como característico do “pin-floc”, o que foi provavelmente causado pela baixa carga orgânica aplicada e pela já comentada inibição por sulfetos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, AWWA, WPCF (1995). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 19<sup>th</sup> edition, American Public Health Association, 1995, Washington. D.C.
- CYBIS, L.F. de A.. *An Innovative Approach to the Control of Sequencing Batch Reactors Used for Nitrification and Denitrification*. Tese de Ph.D. University of Leeds, Leeds, Inglaterra, 240 p. 1993.
- CYBIS, L.F. e PESCADOR, F.S.. Tratamento de Esgotos em Reatores Sequenciais em Batelada Anaeróbios (RSBAn). 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Rio de Janeiro, 1999.
- CYBIS, L.F. e PICKBRENNER, K.. *Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios*. Coletânea de Trabalhos Técnicos. Vol. 1, p. 157-164. Belo Horizonte, 2000.
- DANESH, S. e OLESZKIEWICZ, J.A.. Use of a new anaerobic-aerobic sequencing batch reactor. *Water Sci. Tech.*, **35**(1),137-144, 1997.
- EPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Manual. Nitrogen Control. Technology Transfer*. Cincinnati, 311 p., 1993.
- HALING-SORENSEN, B e JORGENSEN, S.E.. *The removal of nitrogen compounds from wastewater*. Elsevier. Amsterdam, London, New York, Tokio, p117, 1993.
- IWPC. *Unit processes activated sludge*. Maidstone, Kent, 137p., 1987.
- KELLER, J., SUBRAMANIAM, K., GÖSSWEIN, J., e GRENNFIELD, P. F.. Nutrient removal from industrial wastewater using single tank sequencing batch reactors. *Water Sci. Tech.*, **35**(6),137-144, 1997.
- KETCHUM, L. H.. Design and physical features of SBR reactors. *First IAWQ Specialized Conference on Sequencing Batch Reactor Technology*. Munich, Germany, 1996.
- MALASPINA, F., STANTE, L., CELLAMARE, C. M., e TILCHE, A.. Cheese whey and cheese factory wastewater treatment with a biological anaerobic-aerobic process. . *Water Sci. Tech.*, **32**(12),59-72, 1995.
- POCHANA, K. e KELLER, J.. Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND). *Water Sci. Tech.*, **39**(6),61-68, 1999.
- SEDLAK, R. (ed). *Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater. Principles and practice*. Lewis Publishers. Estados Unidos, 240 p., 1991.
- TCHOBANOGLOUS AND BURTON.. *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse*/Metcalf & Eddy, Inc. Series: McGraw-Hill Series in Wastewater Resources and Environmental Engineering. 3rd Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, N.Y., USA. 1991.
- VAN HAANDEL, A. E GUIMARÃES, P.. *Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios*. Coletânea de Trabalhos Técnicos. Vol. 1, p. 143-156, Belo Horizonte 2000.
- WRC. *Theory, design and operation of nutrient removal activated sludge processes*. Water Research Commission. África do Sul, 1984.