

COSTA, T.B., HOFFMANN, H., HOSSA, C.L., COSTA, R.H.R. (2005):

**Remoção biológica de Nitrogênio e Fósforo utilizando Reator Seqüencial em Batelada com enchimento escalonado.**

*V Congreso de la IV Región de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, (AIDIS), Asunción (Paraguay, 2005*

**REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO E FÓSFORO UTILIZANDO REATOR EM BATELADA SEQÜENCIAL COM ENCHIMENTO ESCALONADO**

**Tatiana Barbosa da Costa  
Clésio Leonel Hossa  
Heike Hoffman  
Rejane Helena Ribeiro da Costa (\*)**

**(\*) ENDEREÇO:** Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental  
Campus Universitário – Trindade  
CEP: 88.010-970, Florianópolis, SC, Brasil.

E-mail: [rejane@ens.ufsc.br](mailto:rejane@ens.ufsc.br)

Telefone: + 48-331-9770

Fax: + 48-234-6459

**RESUMO**

O presente trabalho relata resultados de experimentos realizados em reator em batelada seqüencial (RBS) com enchimento escalonado, a fim de remover biologicamente o carbono, nitrogênio e fósforo (ortofosfato) de esgoto doméstico. O reator piloto utilizado no experimento possui volume máximo de trabalho de 1,3 m<sup>3</sup>. Sua operação segue o conceito dos reatores em bateladas seqüenciais, sendo diferenciado apenas na fase de enchimento (alimentação), que era feita de forma escalonada. Foram testadas quatro etapas de funcionamento do reator, com mudanças das condições operacionais. As cargas orgânicas aplicadas em termos de DQO<sub>total</sub> variaram de 0,72 a 2,14 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia e o tempo de retenção hidráulica variou entre 6 e 8 horas. A partir dos dados obtidos na pesquisa, observou-se que o reator em batelada seqüencial apresentou uma eficiência média nas etapas de 82,0% de remoção de DQO<sub>total</sub>, 97,4% de remoção de DBO<sub>5</sub>, 94,4% no processo de nitrificação, 71,4% em desnitrificação e 64,5% de eficiência no processo de biodesfosfatação. O Índice Volumétrico de Lodo médio no período de estudo foi de 89 mL/g. Estes resultados demonstram que o RBS apresenta-se como uma boa alternativa para o tratamento de esgoto doméstico com flutuações de carga.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reator em Batelada Seqüencial (RBS), esgoto doméstico, nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação.

**INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos, têm sido realizadas pesquisas que procuram por processos de tratamento de esgotos que ocupem espaço físico reduzido, pois em geral, as grandes cidades, devido ao seu "crescimento", não possuem mais espaço reservado para a implantação de estações de tratamento. O objetivo principal do tratamento de esgotos é proteger, de maneira econômica e socialmente aceitável o meio ambiente e a saúde pública. Em vários países do mundo existem legislações que exigem um padrão de lançamento dos esgotos nos corpos receptores. No Brasil, o órgão responsável pelos padrões de qualidade das águas naturais e os padrões de lançamento de esgoto no corpo receptor é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) através da Resolução 357/2005. No

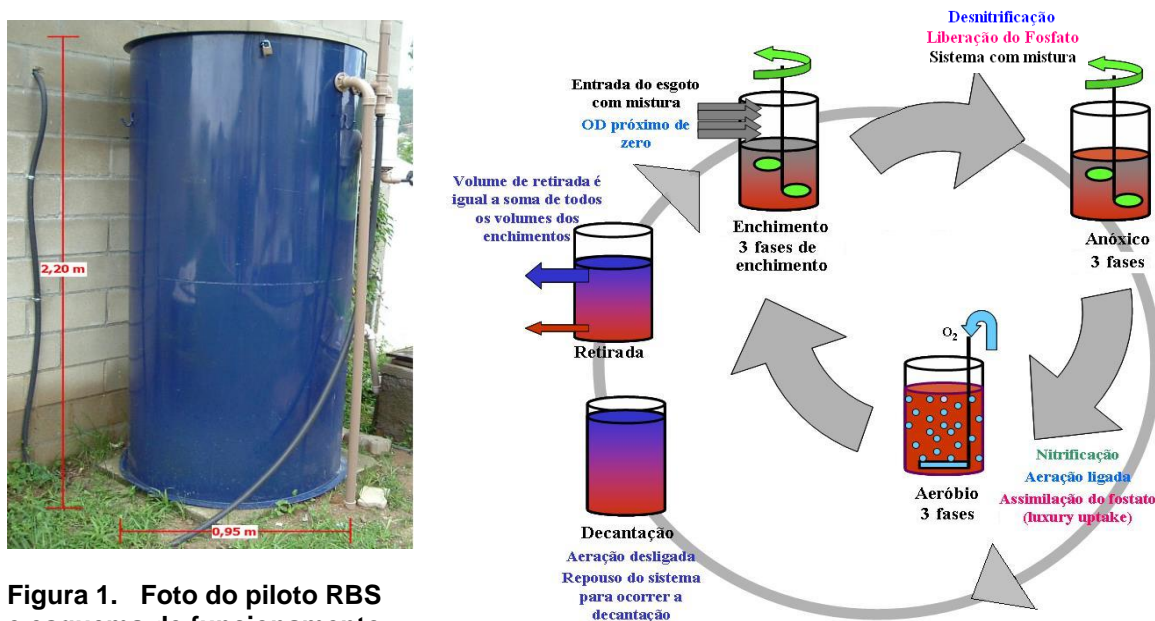
Estado de Santa Catarina, o Governo implantou o Decreto 14.250/ 1981, que estabelece os padrões de lançamento dos esgotos nos corpos receptores.

O tratamento de águas residuárias em reator em batelada seqüencial (RBS) tem despertado grande interesse, devido à: pequenas áreas ocupadas pelas unidades de tratamento, redução de custos em relação aos processos contínuos e possibilidade de remoção conjunta de matéria carbonácea e dos nutrientes fósforo e nitrogênio, este nas suas várias formas, em um único ciclo de operação (SHEKER et al., 1993; MORGENROTH & WILDERER, 1998; van LOOSDRECHT & JETTEN, 1998; LEE et al., 1997; MOREIRA et al., 2002). A característica fundamental dos processos descontínuos como o reator RBS é a magnitude da flexibilidade do processo, que é função da habilidade para simplificar o ajuste do tempo dos ciclos operacionais nos casos de variações de carga (WILDERER et al., 1997).

Neste trabalho foi estudado um RBS do tipo lodo ativado com enchimento escalonado, objetivando o desenvolvimento de uma tecnologia moderna de tratamento de esgotos para remover carbono, nitrogênio e fósforo de esgoto doméstico.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi montado em escala piloto no Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos (LABEFLU) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico (ENS/CTC), localizado em anexo ao Restaurante Universitário da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizada em Florianópolis, SC, Brasil. A figura 1 mostra foto do reator piloto estudado e o funcionamento do reator feito com alimentação escalonada.



**Figura 1. Foto do piloto RBS e esquema de funcionamento**

O esgoto doméstico utilizado como substrato era proveniente da rede coletora de esgotos da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), o qual era bombeado de um poço de visita por um conjunto motor-bomba de marca Schneider, BCS-94 -  $\frac{3}{4}$  CV Mono 60Hz e levado a um tanque de armazenamento com volume de 5m<sup>3</sup>, o efluente era então novamente bombeado para o reator piloto através de uma bomba com deslocamento positivo de marca Netzsch modelo 2NP15A.

A figura 2 mostra o esquema de todo o sistema de tratamento. A aeração nas fases aeróbias se mostrou suficiente para manter o sistema em mistura completa. Já nas fases anóxica/anaeróbia, o compressor de ar era acionado, através de válvulas ligadas à automação, a cada 10 min por um período de 5 segundos apenas, mantendo então, o sistema em mistura completa.

O efluente do reator era removido por meio de um conjunto elevatório semelhante ao da alimentação. O sistema era todo automatizado. No interior do reator estavam instaladas bóias para desligar os conjuntos elevatórios, uma para o nível superior, capaz de desligar a bomba da alimentação e a outra para o nível inferior, a fim de evitar uma descarga desnecessária. Para o controle do tempo de cada fase dos ciclos existia um painel de automação com comandos elétricos, observado na figura 2, com “timers” analógicos ligados aos conjuntos elevatórios, à válvula solenóide e ao sistema de agitação.

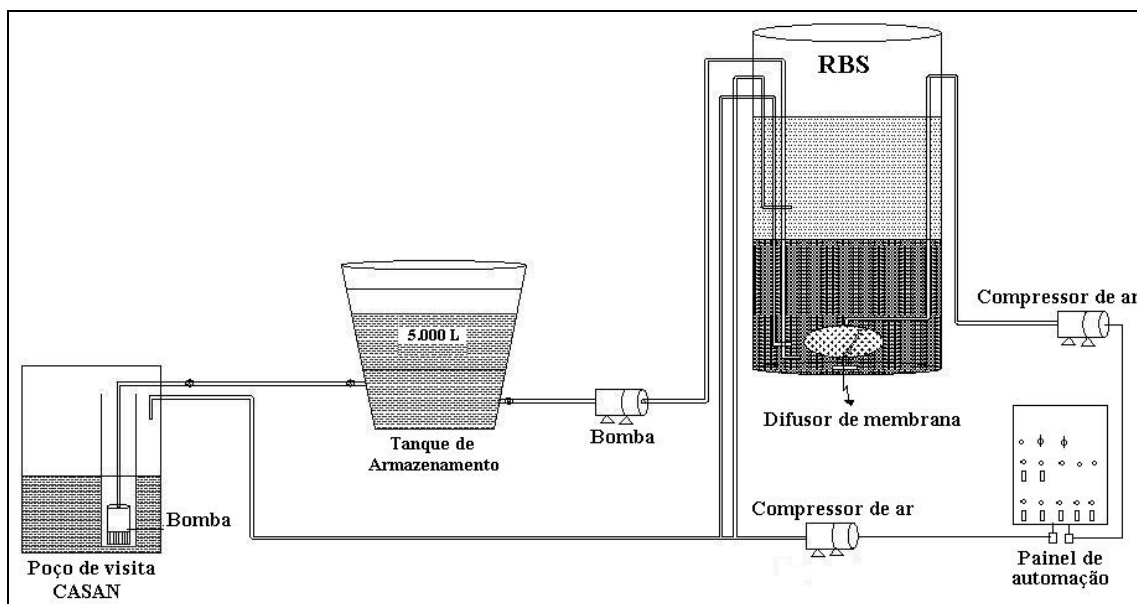


Figura 2. Esquema do sistema de tratamento piloto.

Foram realizados diversos ensaios, aqui divididos em 4 etapas (E-8 a E-11), durante o período de estudo (20/05/04 a 31/08/04), sendo testados diferentes tempos de ciclos, tempos das fases e diferentes condições operacionais, conforme mostra a tabela 1.

Foram determinadas as seguintes variáveis: alcalinidade total,  $DQO_{total}$ ,  $DBO_5$ , fósforo total, índice volumétrico de lodo, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, oxigênio dissolvido, pH, temperatura, segundo métodos do *Standard Methods* (1998).

Tabela 1. Resumo das condições operacionais de estudo.

Etapa	Duração do ciclo (h)	Nº Ench. /ciclo	Vesgoto /ench. (L)	Vesgoto (L/dia)	Volume máx. do reator (L)	Carga orgânica aplicada (kgDQO/m <sup>3</sup> .dia)
E-8	6	3	100/100/100	1200	1300	0,72
E-9	8	3	100/100/100	900	1300	2,14
E-10	6	3	150/75/75	1200	1200	1,63
E-11	6	3	120/60/60	960	1200	1,27

Diariamente eram efetuados o monitoramento do pH, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura no próprio reator. As outras variáveis eram analisadas 3 vezes por semana nos pontos de entrada e saída do reator.

## RESULTADOS

A temperatura durante as etapas realizadas variou de 17,4 a 24,1 °C, período da estação de inverno na região. As maiores temperaturas foram medidas no início da tarde. O pH na entrada do sistema (afluente) permaneceu na faixa de 6,20 a 7,19 e na saída (efluente) variou de 6,14 a 7,47. Nos períodos em que o pH encontrava-se abaixo de 7, foi adicionada cal virgem. O oxigênio dissolvido (OD) na última fase de aeração variou de 1,66 a 5,81 mgOD/L.

Ocorreram variações nas eficiências de nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação ao longo das diferentes etapas testadas, devido, principalmente, às condições operacionais aplicadas e também pela composição do esgoto utilizado como substrato. São apresentadas nas Figuras 3 a 6 o comportamento das variáveis de  $DQO_{total}$ ,  $DBO_5$ ,  $NH_4-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $NO_3-N$ ,  $PO_4-P$  a cada etapa realizada, a fim de avaliar os processos biológicos da remoção de carbono, nitrogênio e fósforo e identificar a melhor condição operacional aplicada.

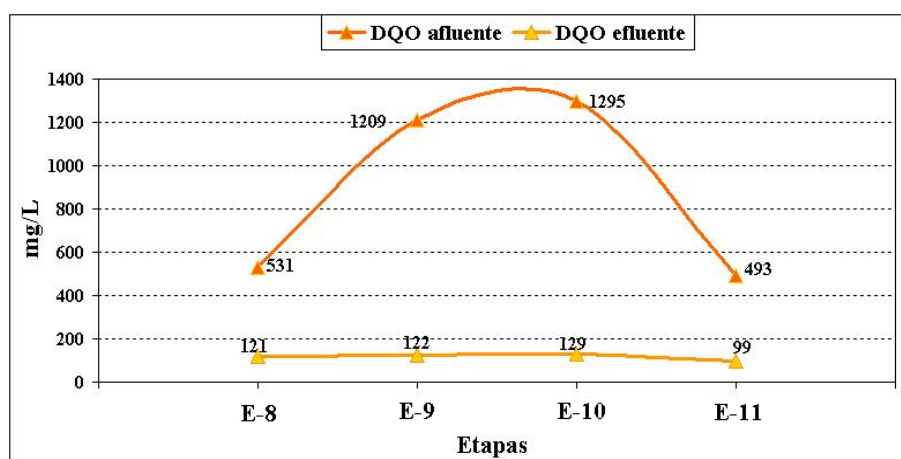


Figura 3. Médias dos resultados de  $DQO_{total}$  afluente e efluente em cada etapa no RBS.

A  $DQO_{total}$  apresentou médias do afluente que variaram de 531 a 1295 mg/L, identificando uma grande mudança nas características do esgoto utilizado como substrato. Percebe-se que o reator piloto apresentou-se com capacidade para trabalhar as grandes flutuações de carga de  $DQO_{total}$ , pois os resultados de  $DQO_{total}$  efluente foram bastante estáveis, não ultrapassando a média de 129 mg/L. Observa-se que as etapas 9 e 10 apresentaram as maiores eficiências de remoção de  $DQO_{total}$ , haja vista que apresentaram as maiores médias na  $DQO_{total}$  afluente.

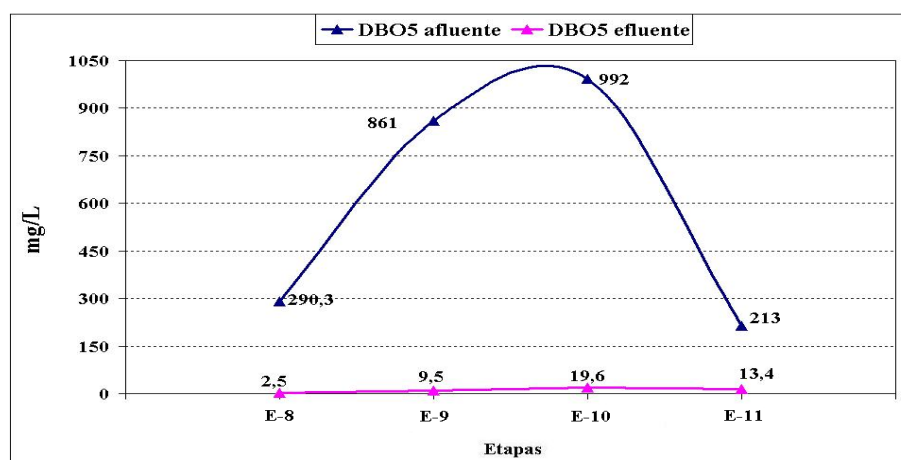


Figura 4. Médias dos resultados de  $DBO_5$  afluente e efluente em cada etapa no RBS.

As médias da  $DBO_5$  do afluente tiveram comportamento parecido ao obtido com a  $DQO_{total}$ . Observa-se na Figura 4 que a média da  $DBO_5$  do afluente variou de 213 a 992 mg/L. Nas E-9 e E-10 foram encontrados os maiores resultados de  $DBO_5$  para o afluente, fazendo com que nestas etapas fossem

encontradas as melhores eficiências de remoção de  $\text{DBO}_5$ . Para o efluente, a média de  $\text{DBO}_5$  não ultrapassou 19,6 mg/L, ou seja, em todas as estratégias foram alcançados valores abaixo do recomendado pelo Decreto 14.250/81 de Santa Catarina, o qual exige concentração de  $\text{DBO}_5$  abaixo de 60 mg/L ou 80% de remoção.

Através da Figura 5 é possível verificar que em termos de remoção de  $\text{DBO}_5$ , em todas as etapas foram obtidas eficiências acima de 90%.

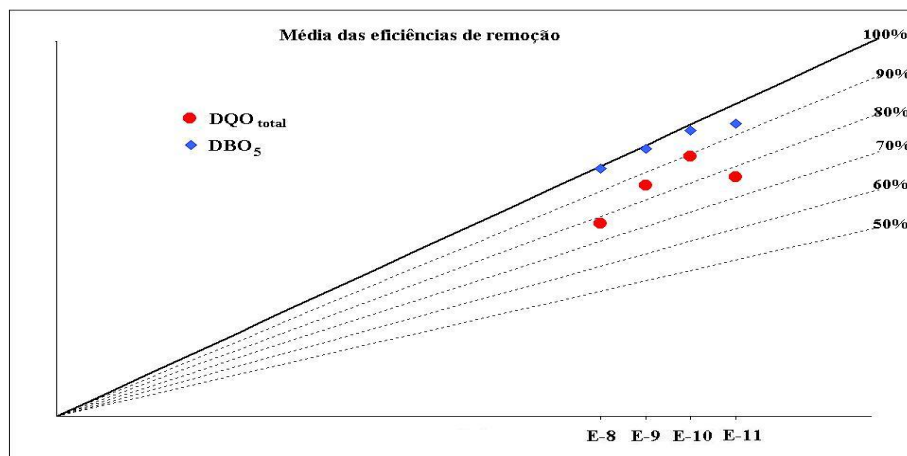


Figura 5. Médias das eficiências de remoção de  $\text{DQO}_{\text{total}}$  e  $\text{DBO}_5$  em cada etapa.

Para a  $\text{DQO}_{\text{total}}$  o RBS trabalhou com eficiência média acima de 70% no período de estudo. Verifica-se ainda na figura 5, que a E-10 alcançou uma eficiência média de 90% de remoção de  $\text{DQO}_{\text{total}}$ , evidenciando-se como a melhor etapa em termos de remoção de carbono.

Na figura 6, encontram-se as médias dos valores obtidos para os compostos de nitrogênio durante as etapas experimentais.

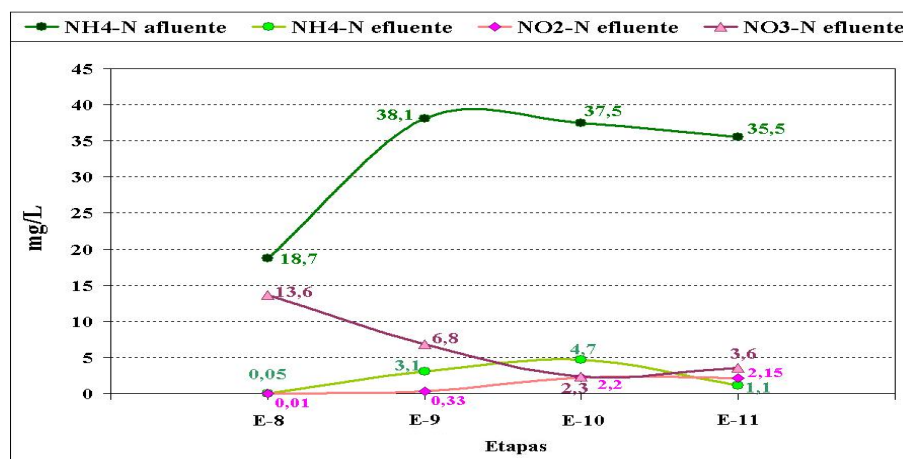


Figura 6. Médias dos valores de  $\text{NH}_4\text{-N}$  afluyente e efluente,  $\text{NO}_2\text{-N}$  e  $\text{NO}_3\text{-N}$  efluente em cada etapa.

Observa-se na figura 6, o comportamento quase constante da amônia afluyente nas etapas estudadas, com exceção da E-8 que obteve média de 18,7  $\text{NH}_4\text{-N/L}$ , bem abaixo das outras médias encontradas. Independente da carga de amônia afluyente, o reator obteve uma nitrificação estável em todas as estratégias, alcançando médias de amônia abaixo de 5  $\text{mgNH}_4\text{-N/L}$ , o que torna-se condizente com o recomendado pela Resolução do CONAMA nº 357/2005.

As médias de nitrito no efluente mantiveram-se baixas ( $< 1\text{mgNO}_2\text{-N/L}$ ) nas primeiras duas etapas, já nas etapas 10 e 11 as concentrações médias de nitrito foram de 2,20 e 2,15  $\text{mgNO}_2\text{-N/L}$ , respectivamente, indicando uma provável inibição das bactérias responsáveis pela oxidação do nitrito a nitrato.

As médias de nitrato variaram bastante a cada etapa, em decorrência das variações da eficiência de desnitrificação. Observa-se pela figura 6 que durante a etapa 10 foi obtida a menor média de nitrato, 2,3 mg/L, alcançando eficiência média de desnitrificação de 85% aproximadamente.

Os problemas ocasionados com a nitrificação foram principalmente devido a baixa alcalinidade do esgoto afluente. A alcalinidade não se mostrou suficiente, especialmente no caso da nitrificação total, para manter o pH próximo de 7,0. Na maioria das etapas foi necessário adicionar aproximadamente 50 mgCa/m<sup>3</sup> esgoto.

A figura 7 apresenta as médias de fosfato afluente e efluente obtidas em cada etapa de estudo.

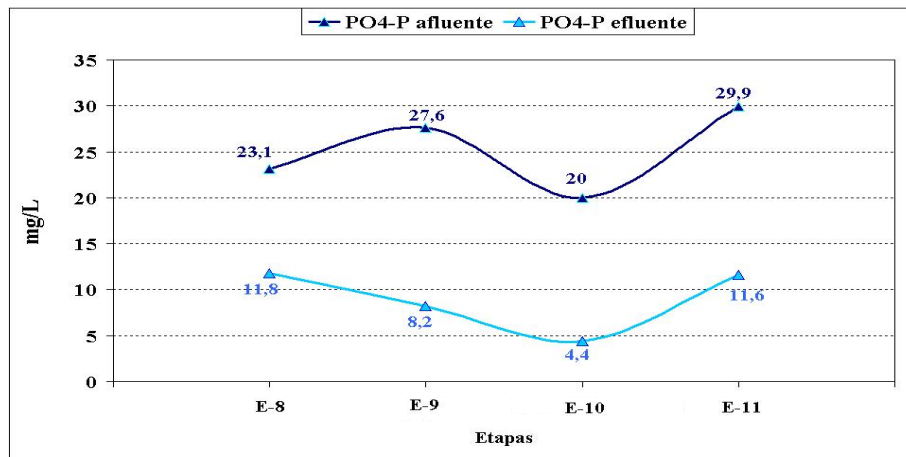


Figura 7. Médias dos valores de PO<sub>4</sub>-P afluente e efluente em cada etapa.

O comportamento do fosfato afluente foi muito variável, alcançando médias mínimas de 20,0 mg/L e máximas de 29,9 mg/L, como mostra a figura 7. Observa-se também que, as médias obtidas para o efluente do reator foram variáveis, alcançando médias mínimas de 4,4 e máximas de 11,8 mg/L. As menores médias foram obtidas durante a etapa 10.

Na figura 8 observa-se as médias das eficiências de nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação alcançadas em cada etapa de estudo.

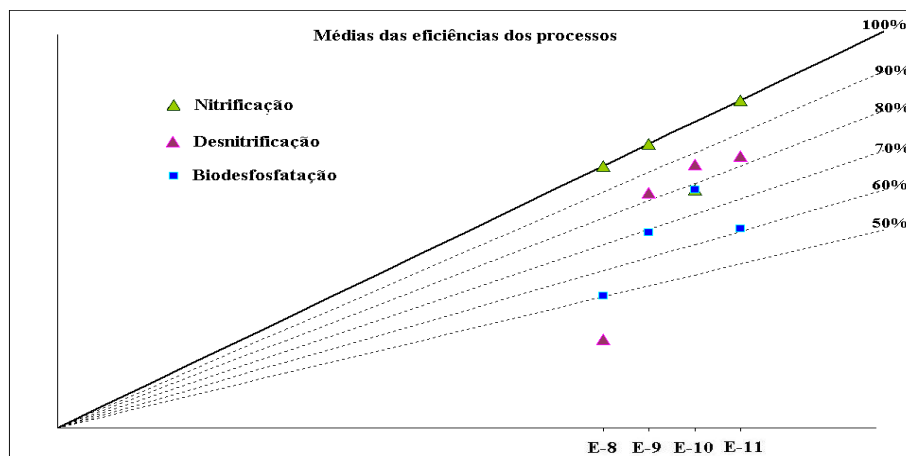


Figura 8. Médias das eficiências dos processos de nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação.

Durante as 4 etapas do período de estudo, o reator apresentou uma percentagem acima de 80% de eficiência de desnitrificação, com exceção da E-8 (figura 8).

A figura 8 mostra ainda que as eficiências de biodesfosfatação variaram bastante ao longo de todas as etapas realizadas, sendo que durante a E-10 foi obtida uma eficiência de 85%, aproximadamente. Ressalta-se que durante esta etapa houve grande eficiência na desnitrificação, verificando-se que a

remoção de nitrato influencia na biodesfosfatação, ou seja, baixas concentrações de  $\text{NO}_3\text{-N}$  favorecem a eficiência da biodesfosfatação. Esses resultados confirmam observações MANNING & IRVINE (1985), ALÉM SOBRINHO e SAMUDIO (2000) e MARCHETTO et al. (2003), os quais mostraram que altas concentrações de nitrato interferem na remoção biológica de fosfato.

Na tabela 2, observa-se os resultados de índice volumétrico de lodo obtidos neste estudo e os valores padrões citados por von SPELING (1997) para o grau de decantação versus IVL.

Tabela 2. Resultados e interpretação do IVL.

	25/05/04 E-8		24/06/04 E-9		10/08/04 E-10		30/08/04 E-11	
Volume de lodo (mL)	0 min	1000	0 min	1000	0 min	1000	0 min	1000
	30 min	380	30 min	390	30 min	300	30 min	200
IVL (mL/g)	109		108		81		59	
Padrão e Interpretação do IVL (mL/g) (von SPERLING, 1997)	0-50		50-100		100-200		200-300	
	Ótima Decantabilidade		Boa Decantabilidade		Média Decantabilidade		Ruim Decantabilidade	

Comparando-se os resultados obtidos na análise de índice volumétrico de lodo (IVL) com os valores citados por Von Sperling (1997) o reator nas etapas 8 e 9 trabalhou na faixa de média decantabilidade. Na etapa 10, período em que houve formação de flocos bastante densos, a média do IVL foi de 81 mL/g, caracterizando o sistema de boa decantabilidade. No período da etapa 11, ainda com a presença de flocos densos, o IVL foi menor do que na etapa anterior, sendo classificado como de ótima decantabilidade do lodo.

## CONCLUSÕES

O sistema mostrou-se como uma combinação muito eficiente no desempenho de remoção biológica de carbono, nitrogênio e fósforo de esgoto doméstico, desde que adequadamente operado. A biodesfosfatação alcançou maior eficiência no período em que a desnitrificação obteve as melhores eficiências (E-10), comprovando que os nitratos interferem no processo de remoção de fosfato. Independente dos ensaios realizados, o RBS mostrou-se capaz de tratar cargas orgânicas volumétricas aplicadas compreendidas entre 0,72 a 2,14 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia e tempo de duração dos ciclos de 6 e 8 horas. Considerando o conjunto de variáveis e as condições operacionais impostas, a E-10 apresentou-se como a melhor etapa, conseguindo obter uma remoção, em conjunto, de carbono, nitrogênio e fosfato de esgoto doméstico. As condições operacionais impostas durante a E-10 foram: tempo de duração do ciclo – 6h; 3 fases de enchimento (volumes de 150 L no primeiro enchimento e 75 L nos demais); volume de esgoto tratado – 1200 L/d; e carga orgânica volumétrica aplicada de 1,63 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia.

## AGRADECIMENTOS

Pela concessão de bolsas à CAPES (Mestrado) e ao CNPq (Iniciação Científica e Pesquisador Visitante).

À empresa Rotária do Brasil Ltda., por disponibilizar todo o material de equipamento do sistema piloto estudado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALÉM SOBRINHO, P. & SAMUDIO, E.M.M. N. Estudo sobre remoção biológica de fósforo de esgoto sanitário, através do processo de lodos ativados operando em bateladas. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **Anais...** ABES, Porto Alegre, 2000. CD ROM.
- CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005. Diário Oficial da União, 18/03/2005.
- GOVERNO DE SANTA CATARINA. Decreto nº 14.250, de 5 de Junho de 1981. Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de Outubro de 1980, Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br/pesquis/PesquisaDocumentos.asp>>. Acesso em 10/10/2004.
- LEE, S. E. et al. Comparison of phosphorus removal characteristics between various biological-nutrient removal process. **Water Science and Technology**. New York, USA, v. 36, n. 12, p. 61-68, 1997.
- MANNING, J. F. & IRVINE, R. L. The biological removal of phosphorus in sequencing batch reactors. **Journal of the Water Pollution Control Federation**, v. 57, n. 1, p. 87-93, 1985.
- MARCHETTO, M; CAMPOS, J. R. e REALI, M. A. P. Remoção de fósforo de efluente de reator anaeróbio em reator com aeração intermitente seguido por flotação por ar dissolvido. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.8, n. 1, p. 77-83, 2003.
- MOREIRA, M. P.; YAMAKAWA, C. S e ALEGRE, R. M. Adição de fonte de carbono no início da fase anóxica na remoção de macronutrientes e DQO por lodo ativado usando RBS no tratamento de água residuária avícola. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7, n. 1, 2002.
- MORGENROTH, E. & WILDERER, P. A. Sequencing Batch Reactor Technology: concepts, design and experiences. **Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management**, v. 12, n. 5, p. 314-321, 1998.
- SHEKER, R.E.; ARIS, R.M. & SHIEH, W.K. The Effects of Fill Strategies on SBR Performance under Nitrogen Deficiency and Rich Conditions. **Water Science and Technology**, New York, USA, v. 28, n.10, p.259-266, 1993.
- **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20<sup>th</sup> Ed., APHA, AWWA, WEF, Washington, DC, 1998.
- van LOOSDRECHT, M.C.M. & JETTEN, M.S.M. Microbiological Conversions in Nitrogen Removal. **Water Science and Technology**, New York, USA, v.38, n.1, p.1-7, 1998.
- Von SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. V.4, Lodos Ativados**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1997, 416p.
- WILDERER, P.A. IRVINE, E. R. L. e GORONSZY, M. C. Sequencing batch reactor technology. IWA Publishing, London, **Scientific and Technical**, Report n. 10, 1997.