

## II-122 - REATOR HÍBRIDO EM BATELADAS SEQUENCIAIS PARA NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO NO TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

**Vanessa Santos Souto**

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental (UFSC).

**Delmira Beatriz Wolff** - Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Doutora em Engenharia Ambiental (UFSC) sanduíche com INSA, Toulouse-França. Pós-doutorado junto ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (UFSC). Professora adjunta do Centro Universitário Franciscano – UNIFRA, Santa Maria RS.

**Rejane Helena Ribeiro da Costa** <sup>(1)</sup>

Engenheira Civil pela UFPB, Mestre em Hidráulica e Saneamento EESC-USP São Carlos, SP, Doutora pelo INSA-Toulouse, França. Pós-doutorado na Université Montpellier 1, França. Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico/UFSC

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, CTC – UFSC - Campus universitário - Bairro Trindade - Florianópolis SC - CEP 88040-970 - E-mail: rejane@ens.ufsc.br

### RESUMO

Neste trabalho estudou-se a redução da matéria orgânica e nitrogenada de esgoto sanitário utilizando reator híbrido operado em bateladas sequenciais (RHBS), onde foram instaladas redes de nylon para fixação do biofilme. O reator tinha volume útil de tratamento de 1,42 m<sup>3</sup> e era totalmente automatizado, funcionando em regime de ciclos, intercalando fases de enchimento, anóxica, aeróbia, decantação e retirada. Diariamente eram realizados 3 ciclos com duração de 8 horas cada. Em cada ciclo eram realizados 3 enchementos escalonados. O período de estudo compreendeu 135 dias, quando foram aplicadas cargas de 0,51 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia e de 0,06 kgNH<sub>4</sub>-N/m<sup>3</sup>.dia. O monitoramento do reator foi realizado através de análises físico-químicas do meio líquido e observações microscópicas do material suporte e do lodo. O reator apresentou eficiências médias de: 89 % DQO<sub>T</sub>; 97 % DBO<sub>5</sub>; 29 % PO<sub>4</sub>-P; 77 % na nitrificação; 61 % na remoção do nitrogênio total e 80 % na desnitrificação. As concentrações médias de amônio no efluente tratado ficaram abaixo de 20 mgNH<sub>4</sub>-N/L, atendendo a Resolução nº 357/2005 do CONAMA. As observações microscópicas ajudaram no monitoramento das condições operacionais do RHBS e na maioria do período de estudo observou-se a presença de microrganismos indicadores de situações estáveis no tratamento, tais como: *Tecamebas*, *Vorticellas* sp, *Epistylis* sp, *Aspidiscas* sp e *Rotatorias* sp.

**PALAVRAS-CHAVE:** esgoto sanitário; reator híbrido; remoção de nutrientes; tratamento

### INTRODUÇÃO

No Brasil somente 33,5% dos domicílios são atendidos por rede geral de esgotamento sanitário sendo que cerca de 48% dos municípios brasileiros utilizam soluções precárias para disposição final do esgoto, como tanques sépticos e sumidouros, fossas secas, valas abertas e lançamento em cursos de água (IBGE, 2002), fator este responsável pela poluição dos recursos hídricos, o que pode afetar a biota e a disponibilidade de água para consumo doméstico e outros usos. Esta situação se verifica em numerosos bairros que se desenvolvem nas tangentes das grandes e médias cidades, os condomínios, ou os balneários com seus problemas específicos, que consistem na produção muito elevada de esgoto durante a temporada turística.

Visando minimizar os impactos ambientais causados pelo lançamento dos efluentes domésticos e atender a legislação ambiental vigente, têm-se buscado cada vez mais sistemas de tratamento de esgoto que sejam eficazes na remoção conjunta da matéria carbonácea e nitrogenada sem haver a necessidade de grandes áreas para sua instalação. Assim, a implantação de estações de tratamento descentralizadas, que possam ser realizadas em diferentes etapas, com possibilidade de distribuição dos investimentos, despontam como uma solução viável em médio e longo prazo para o atendimento a um maior contingente populacional do país. As exigências de sistemas descentralizados são diferentes daquelas de sistemas centralizados, sendo até, de certa forma, mais elevadas, como: baixos custos de investimento, baixos custos de operação, operação e



manutenção simples, funcionamento robusto e boa eficiência de remoção. Neste contexto, apresentam-se os Reatores Híbrido em Bateladas Sequenciais (RHBS) como uma alternativa para o tratamento descentralizado de esgoto sanitário. É um reator simplificado e mais compacto, que apresenta em um só reator biomassa aderida em meio suporte para a fixação da biomassa, e a biomassa floculada, funcionando com fluxo intermitente. Os reatores híbridos em bateladas agregam as vantagens dos dois tipos de sistemas, biomassa fixa e fluxo intermitente, apresentam maior velocidade de reação, são operados com menor tempo de detenção hidráulica e conseqüentemente menor volume de reatores, os processos biológicos e decantação ocorrem em um único reator, e são dotados de sistema de automação, o que possibilita a sua operação com custos mais baixos e segurança controlada (GEBARA, 1999; MÜLLER, 1998).

Este tipo de reator já vem sendo utilizado em outros países com elevadas eficiências e constituem uma alternativa no tratamento de águas residuárias com cargas elevadas e produção sazonal, e oferece vantagens como: possibilidade de utilização de suportes plásticos reciclados com baixa densidade, obtendo-se redução nos custos de energia (WOLFF, 2005), melhoria na decantabilidade do lodo, maior capacidade de retenção de biomassa no reator, possibilidade de reabilitação de instalações biológicas existentes para a remoção de nitrogênio e diminuição do volume requerido; além disso são de fácil operação quando comparado com sistemas convencionais de lodo ativado (ØDEGGARD *et al.*, 1994).

Em vista do exposto, este trabalho tem por objetivo estudar um reator híbrido, em bateladas sequenciais, com operação otimizada para remoção de carbono e nutrientes de esgoto sanitário.

## MATERIAIS E MÉTODOS

**Instalação experimental:** Neste estudo, foi utilizado um reator do tipo híbrido em bateladas sequenciais (RHBS), construído em forma cilíndrica, com altura total de 2,20 m, altura útil de 2 m e 0,95 m de diâmetro, totalizando um volume de 1,42 m<sup>3</sup>. A aeração era feita por meio de aeradores de membrana. Na base do reator foram instalados dois difusores de ar do tipo membrana circular com diâmetro de 0,20 m cada uma, que produziam bolhas finas. Esses difusores eram alimentados através de um compressor de ar, com capacidade de 100 L/min.

O esgoto doméstico bruto utilizado no RHBS era coletado na rede coletora pública de esgotos por um conjunto moto-bomba localizado em um poço de visita, de onde era bombeado para um tanque de armazenamento com volume de 5 m<sup>3</sup> e tempo de retenção hidráulica (TRH) de 1 a 2 dias. Após passar pelo tanque de armazenamento, o esgoto era bombeado diretamente para o RHBS. O efluente tratado era retirado do RHBS por meio de um conjunto de compressor semelhante ao da alimentação e em seguida devolvido para a mesma rede coletora pública.

O funcionamento do RHBS era automatizado, gerenciado por um software WinDops. A partir desse programa era possível inserir dados desejados para o funcionamento do RHBS, como número e tempo dos ciclos e dos enchimentos, fases e duração das reações (anóxica, aeróbia), tempo de decantação e de retirada do esgoto tratado, bem como o acionamento das bombas de entrada e saída, do compressor de ar e das sondas de níveis. Os dados inseridos nesse programa eram enviados para um CLP (Controlador Microprocessador) que ficava localizado no interior do painel de controle, executando todas essas funções.

Dentro do reator foram instaladas redes de nylon que serviram como material suporte para o crescimento da biomassa fixa (sistema híbrido). Estas redes foram fixadas em uma armação de aço inoxidável (85 cm de altura e diâmetro de 75 cm) formando retângulos paralelos uns aos outros. As redes forneceram uma área superficial específica para o desenvolvimento do biofilme de 4140 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup><sub>suporte</sub>.

Na figura 1 é mostrado o esquema do sistema de tratamento instalado junto ao Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos (LABEFLU)/UFSC.

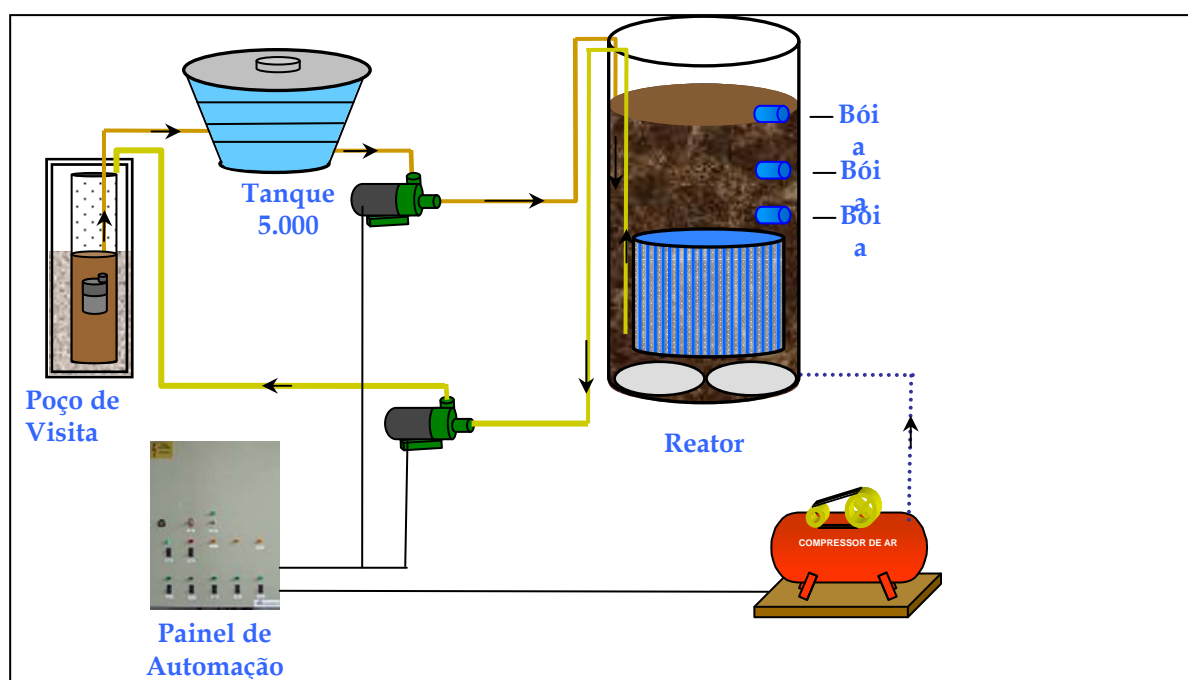


Figura 1: Esquema do Sistema de Tratamento do RHBS.

**Ciclos operacionais:** O reator foi operado em regime de ciclos, com fases de enchimento, anóxica, aeróbia, decantação e retirada. Diariamente eram realizados 3 ciclos com duração de 8 horas cada. Na *Fase de Enchimento*, o reator era alimentado com esgoto bruto proveniente do tanque de armazenamento. Durante todo o período de estudo, foram realizados 3 enchimentos escalonados em cada ciclo, totalizando 9 enchimentos por dia. Na *Fase Anóxica*, que se iniciava sempre depois de cada enchimento, a cada 15 minutos o ar era ligado durante 4 segundos. A *Fase Aeróbia* iniciava-se sempre depois da fase de desnitrificação com o acionamento das membranas de aeração para a realização da remoção carbonácea e da nitrificação. A *Fase de Decantação* era realizada sempre depois da última aeração de cada ciclo. O sistema de aeração era desligado e ocorria a separação do lodo em suspensão e do esgoto tratado. Na *Fase de Retirada* que ocorria após a decantação, era feita a retirada do esgoto tratado. Tinha duração de 15 a 20 min. O volume de esgoto tratado retirado do reator era igual à soma do volume dos 3 enchimentos realizados em um ciclo. Após a retirada, iniciava-se um novo ciclo.

**Condições operacionais e monitoramento:** Na operação do reator foi aplicada uma carga orgânica volumétrica -COV média de 0,51 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia e CN média de 0,06 kgNH<sub>4</sub>-N/m<sup>3</sup>.dia. O estudo foi realizado durante 135 dias de operação. Para o monitoramento do reator, foram coletadas amostras do esgoto bruto e da saída do reator três vezes por semana, sendo realizadas as seguintes análises: Demanda Química de Oxigênio total e filtrada (DQO<sub>T</sub> e DQO<sub>F</sub>) – método do refluxo fechado; Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>) - manométrico; nitrito, nitrato e fosfato (N-NO<sub>2</sub>, N-NO<sub>3</sub> e PO<sub>4</sub>-P), por cromatografia iônica - DIONEX DX 120; Sólidos Totais, Sólidos em Suspensão Total e Sólidos em Suspensão Voláteis - ST, SST e SSV (método gravimétrico), Nitrogênio Total Kjeldahl -NTK (método Macro – Kjeldahl) e nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub> - Nessler). Diariamente foram monitorados: oxigênio dissolvido (OD), pH e temperatura (°C) com sonda multiparâmetros (YSI) e alcalinidade (método titulométrico) durante as fases anóxicas, aeróbias e na entrada e saída do reator. Todas as análises seguiram o recomendado pelo Standard Methods (APHA, 1998). Quando necessário era adicionado cal no final das fases anóxicas ou durante as fases aeróbias para manter o pH sempre acima de 7,0, a fim de evitar que o processo de nitrificação não fosse limitado pela alcalinidade. Foram também realizadas observações no lodo e no material suporte por meio da microscopia ótica.



## RESULTADOS

São apresentados os resultados obtidos durante o período operacional, com 135 dias de monitoramento do reator. Na tabela 1 são apresentadas as condições operacionais aplicadas no reator.

**Tabela 1: Condições operacionais aplicadas no reator**

Condições Operacionais	Valores
Ciclos por dia	3 x 8 h
Número de enchimentos / ciclo	3
Volume de cada enchimento (L)	150
Esgoto Tratado (L/dia)	1350
Fases Anóxica (DN): Aeróbia (N) / ciclo	210 min: 210 min, 270min:150min ou 150min:270min.
COV (kg DQO/m <sup>3</sup> .dia)	0,51 ± 0,01
CN (kg NH <sub>4</sub> -N/ m <sup>3</sup> .dia)	0,06 ± 0,01
DQO <sub>T</sub> / NH <sub>4</sub> -N/ PO <sub>4</sub> -P	150:16:7

Trabalhou-se com vários tempos nas fases anóxicas e aeróbias, com o intuito de se otimizar a fase de nitrificação e/ou desnitrificação quando necessário.

Os valores de pH variaram entre 6,5 e 7,28 no início e entre 6,40 e 7,81 no final do ciclo. A temperatura e as concentrações de OD variaram em média de 19,52 °C e 0,41 mgO<sub>2</sub>/L no início e 19,49 °C e 2,27 mgO<sub>2</sub>/L no final dos ciclos, respectivamente.

### Remoção de Carbono

Na tabela 2 pode-se observar que o reator apresentou boa eficiência de remoção do carbono, mostrando seu potencial para trabalhar com cargas elevadas.

**Tabela 2: Remoção de Carbono**

Parâmetro	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência (%)
DQO <sub>T</sub>	538± 94	59± 37	89 ± 6
DQO <sub>F</sub>	395 ± 74	31± 27	92 ± 6
DBO <sub>5</sub>	223 ± 50	6, 6 ± 3,6	97 ± 1
COT	61 ± 16	13± 3,2	77,5 ± 7

As concentrações de DQO<sub>F</sub> no final dos ciclos oscilaram bastante apresentando valores entre 8 a 90 mg/L, por isso o desvio padrão da média apresentou valor elevado. Mesmo assim, as eficiências de remoção ao longo desta estratégia foram altas, oscilando entre 80 % a 98 %, com média de 92 ± 6 %. De acordo com Dold et al. (1980) citado por Cybis et al. (2003), a remoção elevada da DQO está ligada ao metabolismo das bactérias presentes no sistema, sendo que um terço da matéria orgânica afluente é oxidada e dois terços são incorporados ao lodo.

Pode-se observar na figura 2 o comportamento das concentrações de DQO<sub>T</sub> afluente e efluente e as eficiências de remoção ao longo do ciclo operacional. Verifica-se que, a despeito das oscilações da DQO<sub>T</sub> do esgoto bruto (DQO<sub>T</sub> afluente), o reator foi capaz de absorver essas variações, mantendo uma remoção mais estável de carbono, o que mostra a robustez deste sistema. Al-Sharekh e Hamoda (2001), utilizando um reator híbrido aerado com filme fixo submerso, trabalhando em fluxo contínuo com a mesma carga orgânica (0,5kgDQOP/m<sup>3</sup>.dia) obtiveram eficiência média de remoção de 75%.

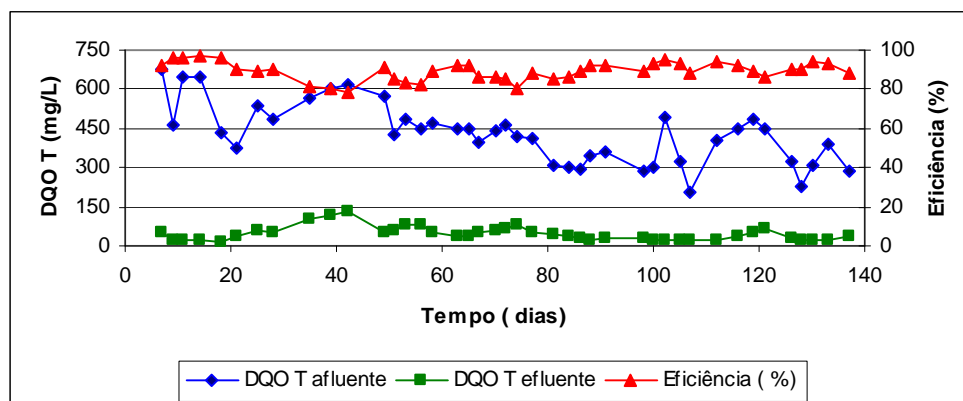


Figura 2: Concentrações de DQO<sub>T</sub> afluyente, efluente e eficiência de remoção

### Remoção de Nitrogênio e Fósforo

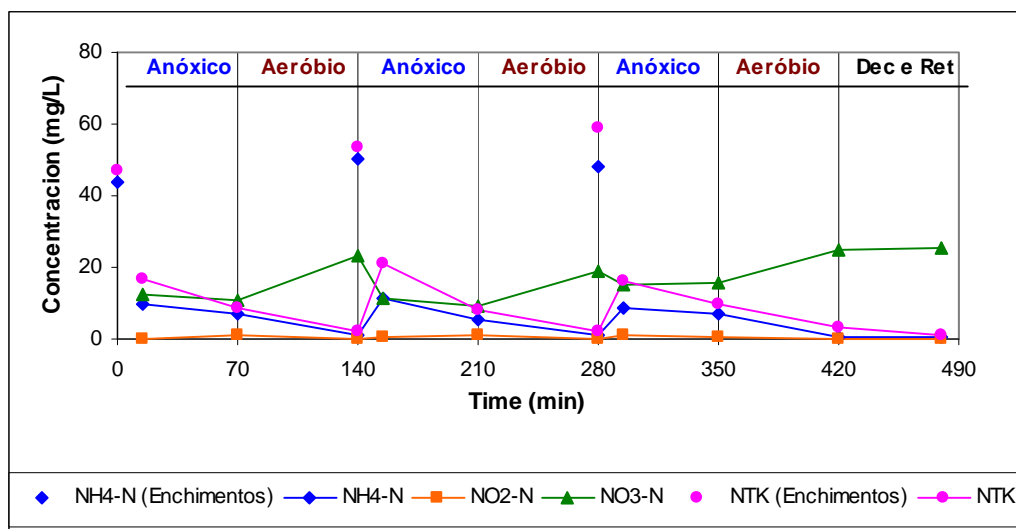
Na tabela 3 estão apresentados os valores obtidos na remoção de nitrogênio amoniacal e fosfato.

Tabela 3: Eficiências de remoção do nitrogênio e fosfato

Parâmetro	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência (%)
Alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	325 ± 51	136 ± 2,5	-
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	59 ± 9	14 ± 10	77 ± 16
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	-	0,42 ± 0,94	-
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	-	8,5 ± 7,3	-
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	24 ± 4	17 ± 7,5	29 ± 34
Eficiência de desnitrificação (%): 80 ± 15			
Eficiência de remoção do nitrogênio total (%): 61 ± 15			

Verifica-se que as concentrações de fosfato no final do ciclo ficaram em torno de 17 mgPO<sub>4</sub>-P/L, tendo uma redução de 29% em relação à concentração do fosfato no início do ciclo, provocado pela diluição do esgoto bruto com o esgoto remanescente no reator. A desnitrificação oscilou entre 41 e 97,6 %, com concentrações de nitrato no final do ciclo variando entre 0,15 e 25 mgNO<sub>3</sub>-N/L. Em relação à remoção do nitrogênio total, o reator apresentou eficiência média de 61 ± 15%. O reator obteve eficiência média de remoção de nitrogênio amoniacal de 77%, variando entre 52 a 99%. As concentrações de amônio no final dos ciclos oscilaram entre 0,48 e 27 mg/L, atendendo em média (14 ± 10mgNH<sub>4</sub>-N/L) a Resolução nº 357/05 do CONAMA. Em relação à desnitrificação, a eficiência ficou sempre acima de 80%.

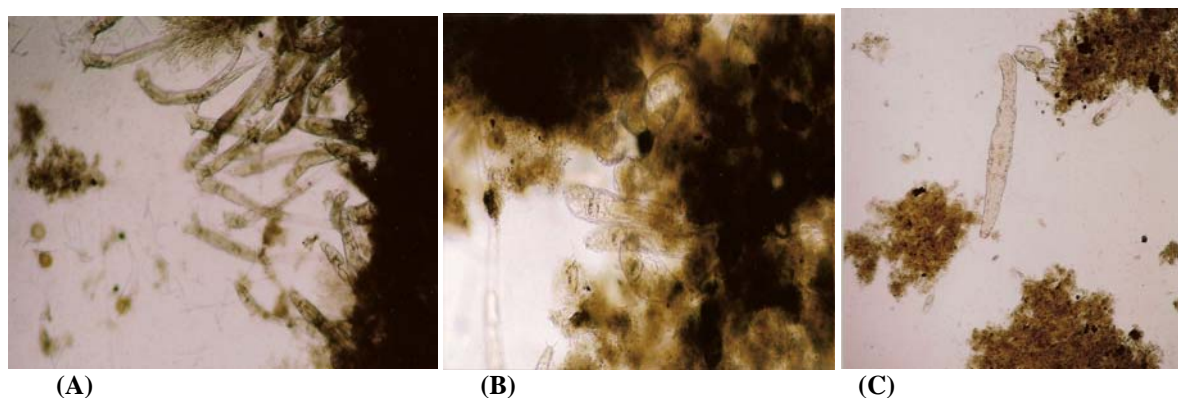
Na Figura 3 é mostrado o comportamento de NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N e NTK ao longo de um ciclo operacional monitorado (T= 130 dias de operação).



**Figura 3: Comportamento do NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NTK e NT ao longo de um ciclo (T= 130 dias de operação)**

Observa-se na Figura 3, para o ciclo efetuado aos 130 dias de operação do reator, que ao longo das fases aeróbias, as concentrações de NH<sub>4</sub>-N e NTK foram diminuindo ao mesmo tempo em que as de nitrato foram aumentando em consequência da nitrificação. Neste ciclo, o reator apresentou remoção de nitrogênio amoniacal com eficiências na ordem de 83 % (1ª fase), 85 % (2ª fase) e 91 % (3ª fase). A eficiência total obtida em relação à concentração aplicada de NH<sub>4</sub>-N foi de 99% gerando um efluente tratado com 0,63 mgNH<sub>4</sub>-N/L, atendendo a Resolução nº 357/05 do CONAMA. O NTK teve uma remoção de 98 % e apresentou uma concentração de 1,12 mgNTK/L no final do ciclo.

Durante o período de estudo, foram verificadas quase sempre as presenças de microrganismos indicadoras de situações estáveis de tratamento, como as *Vorticella* sp, *Epistylis* sp, *Rotíferos* sp e *Aspidisca* sp. Nas Figuras 4 (A, B e C) visualizam-se imagem do biofilme do reator, com a presença de *Rotatorias* sp e Zooglea (Figura 4A) *Vorticellas* sp (Figura 4B) e *Rotífero* sp (Figura 4C), indicando uma situação estável (JENKINS *et al.*, 1993; CETESB, 1997; CANLER *et al.*, 1999).



**Figura 4: Fotos do biofilme capturadas no microscópio óptico (x 100) (T= 133 dias de operação do reator)**

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos durante o período operacional, concluiu-se que:

- O RHBS mostrou-se eficiente na remoção do carbono e na nitrificação para cargas orgânicas volumétricas aplicadas em torno de 0,5 kgDQO/m<sup>3</sup>.dia e de 0,06 kgNH<sub>4</sub>-N/m<sup>3</sup>.dia.





- A eficiência na remoção do carbono foi em torno de 90% em termos de  $DQO_T$  e entre 70 e 98 % em termos de  $DQO_F$ . Em relação a  $DBO_5$ , todas as amostras atenderam o Decreto nº 14250/81 de SC, apresentando concentrações menores que 40 mg/L no final dos ciclos.
- A nitrificação teve eficiência variando em torno de 77 %, apresentando concentrações médias de  $NH_4-N$  no efluente final, abaixo do recomendado pela Resolução CONAMA nº 357/05 ( $< 20 \text{ mgNH}_4-N/L$ ). A desnitrificação apresentou eficiências oscilando de 80 a 97%.
- Em relação ao fosfato, o reator teve baixa eficiência, mostrando que, para alcançar a remoção conjunta de carbono, nitrogênio e fósforo, serão necessárias alterações nos ciclos operacionais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-SHAREKH, H.; HAMODA, M.F. Removal of organics from wastewater using a novel biological hybrid system. **Water Science and Technology**, v.43, nº1, p. 321-326, 2001.
2. APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. Washington, D, 20<sup>th</sup> Ed., 1998.
3. CANLER, J. P., PERRET, J. M., DUCHERE, P.; COTTEUX, E. **Aide ou diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées**. Edition CEMAGREF, France, 155p, 1999.
4. CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Microbiologia de Lodos Ativados**. Setor Treinamento, São Paulo, 1997.
5. CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução Nº357, de 17 de Março de 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 20/06/2005.
6. CYBIS, L. F.; SANTOS, A. V., GEHLING, G.R. Eficiência de reator seqüencial em bateladas (RSB) na remoção de nitrogênio no tratamento de esgoto doméstico com DQO baixa. **In. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. ABES, Joinville, SC, 2003. CDROM.
7. GEBARA, F. Activated Sludge Biofilm Wastewater Treatment System. **Water Research**, v. 33, n. 1, p.230-238, 1999.
8. JENKINS, D.; RICHARD, M.G.; DAIGGER, G.T. **Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming**. 2ªEd. Michigan: Lewis Publishers, 1993.
9. MÜLLER, N. Implementing biofilm carries into activated sludge process-15 years of experience. **Water Science and Technology**, v.37,nº9, p. 167-174, 1998.
10. ØDEEGARD, H. RUSTEN, B. and WESTRUM, T. A new moving bed biofilm reactor-applications and results. **Water Science and Technology**, v.29, nº 10-11, p. 157-165, 1994.
11. WOLFF, D. B. **Remoção biológica de carbono e nitrogênio de esgoto urbano em reatores híbridos utilizando dois materiais suporte flotantes**. Florianópolis, 2005. 216 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina.