



Vol. 3, No. 1, 62-73, 2010  
ISSN 0718-378X

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## MONITORAMENTO DE REATOR HÍBRIDO EM BATELADAS SEQUÊNCIAIS (RHBS) UTILIZANDO TESTES RESPIROMÉTRICOS

Luiz Gonzaga Lamego Neto <sup>1\*</sup>  
Jamile Wagner <sup>1</sup>  
Anderson Marconi Holtz <sup>1</sup>  
Rosane Hein de Campos <sup>1</sup>  
Rejane Helena Ribeiro da Costa <sup>1</sup>

### MONITORING OF A HYBRID SEQUENCING BATCH REACTOR BY RESPIROMETRY

#### ABSTRACT

This work studies the performance of a hybrid sequencing batch reactor (HSBR) in the treatment of domestic wastewater. The reactor's operation consisted of 3 daily cycles of 8 hours, with 3 step-feedings per cycle. The wastewater volume of each feeding was 180 L resulting in a total of 540 L treated wastewater per cycle. Nylon nets were used in the hybrid system as support material. Carbon degradation processes, nitrification-denitrification, and phosphorous biological removal were evaluated as well as the oxygen uptake rate by respirometry. The reactor presented average efficiencies of:  $84 \pm 8.8\%$  for CODT removal;  $78 \pm 15\%$  for nitrification;  $94 \pm 6.4\%$  for denitrification;  $45 \pm 30\%$  for PT removal; and  $44 \pm 31\%$  for PO<sub>4</sub>-P removal. The average oxygen uptake rate (OUR) varied between 18.7 and 32.3 mgO<sub>2</sub>/L.h. The reactor's sludge consisted of well structured and compact flocs with good settleability; the biofilm was dense with the presence of many amoebas and rotifers in its surface.

Keywords: hybrid sequencing batch reactor, nutrients removal, respirometry, domestic wastewater treatment.

---

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina

\* Contact Rua Professor Adriano Mosimann, 240 – Trindade – Florianópolis – Santa Catarina – CEP 88040-470 – Brasil Tel.:+55(48)23241828. e-mail: luizlamego@hotmail.com

## Resumo

Neste trabalho foi estudado o desempenho de um reator híbrido operado em bateladas sequenciais (RHBS) no tratamento de esgoto doméstico. A operação do reator consistia de 3 ciclos diários de 8 horas, sendo realizados três enchimentos escalonados por ciclo. O volume de esgoto para cada enchimento era de 180 L, resultando em um total de 540 L de esgoto tratado por ciclo. O material suporte empregado no sistema híbrido foi rede de nylon. Foram avaliados os processos de degradação carbonácea, nitrificação-desnitrificação e remoção biológica do fósforo, assim como a velocidade de consumo de oxigênio por meio de respirometria. O reator apresentou eficiências médias de:  $84 \pm 8,8$  % na remoção de  $DQO_T$ ;  $78 \pm 15$  % na nitrificação;  $94 \pm 6,4$  % na desnitrificação;  $45 \pm 30$  % na remoção de  $P_T$ ; e  $44 \pm 31$  % na remoção de  $PO_4-P$ . As velocidades médias de respiração celular ( $QO_2X$ ) variaram entre 18,7 e 32,3  $mgO_2/L.h$ . O lodo do reator era formado por flocos compactos e bem estruturados, com boa capacidade de sedimentação; o biofilme apresentou-se denso e com presença de muitas amebas e rotíferos em sua superfície.

**Palavras Chave:** reator híbrido em bateladas sequenciais, remoção de nutrientes, respirometria, tratamento de esgoto doméstico.

## Introdução

Na última década, o aprimoramento dos processos de tratamento de esgoto tem possibilitado a remoção de carbono e nutrientes conjuntamente em uma mesma unidade operacional. Dessa forma, tem-se melhorado o desempenho dos sistemas tradicionais de remoção de carbono para que se tornem também eficientes na remoção de nutrientes (Ødegaard, 2006). Os reatores operados em bateladas sequenciais (RBS) são constituídos por um único tanque e atuam tanto como reator biológico como decantador. Estes reatores funcionam em ciclos, que são divididos em fases diferentes (aeróbias/anóxicas), o que permite a remoção de carbono e nutrientes de forma combinada (Marchetto *et al.*, 2003; Artan & Orhon, 2005). Além disso, o emprego do enchimento escalonado neste tipo de reator, segundo Lin & Jing (2001), tem sua eficiência significativamente melhorada, comparativamente aos reatores RBS tradicionais.

Com finalidade de melhorar ainda mais o desempenho do tratamento de esgoto, surgiram os reatores que reúnem biomassa suspensa e fixa, chamados de “híbridos”. O emprego tanto da cultura fixa como da cultura floculada, permite um aumento da biomassa do sistema, devido à combinação de processos que envolvem microrganismos de rápido e lento crescimento, conseqüentemente aumentando a eficiência do tratamento (Ochoa *et al.*, 2002). Essa tecnologia de tratamento de esgoto utiliza instalações mais compactas e menores custos com

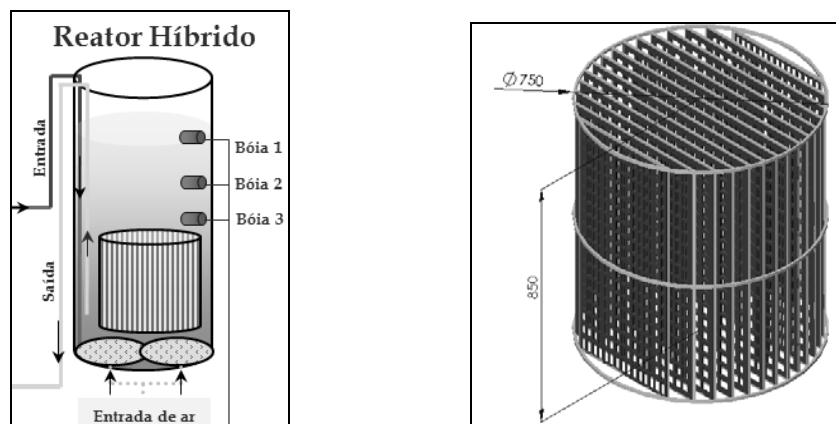
aeração. Outra vantagem desse processo é a possibilidade de remoção de nitrogênio e fósforo (Wolff *et al.*, 2005).

Um parâmetro importante para o monitoramento da eficiência destes processos de tratamento é a determinação da atividade da biomassa, bem como o estabelecimento das cargas máximas aplicadas, a partir da resposta das populações de microrganismos presentes (McCluskey *et al.*, 2005; McNicholl *et al.*, 2007). Diversos métodos são utilizados para estimar a atividade da biomassa, sendo a respirometria um método simples, eficaz e rápido, amplamente utilizado (Weiss *et al.*, 1999).

Neste trabalho são apresentados resultados do tratamento de esgoto doméstico utilizando um reator híbrido operado em bateladas sequenciais (RHBS), que consiste num reator de lodos ativados com acréscimo de um leito fixo para o desenvolvimento do biofilme. O desempenho deste reator foi avaliado por meio de medidas da sua eficiência na remoção de matéria orgânica e nutrientes (N, e P), conjuntamente, e medida do consumo de oxigênio pelos microrganismos presentes no RHBS via respirometria.

### Materiais e métodos

O reator piloto RHBS utilizado possuía altura útil de 2 m e diâmetro de 0,95 m, correspondendo um volume máximo de 1,43 m<sup>3</sup> (Figura 1A). Foi adicionado no interior do reator um suporte fixo de rede de nylon para a fixação do biofilme (Figura 1B). Na base do reator estavam instalados dois difusores de ar do tipo membrana, com diâmetro de 20 cm cada, alimentados por um compressor de ar. O reator foi operado de forma automatizada, seguindo o funcionamento dos reatores em bateladas sequenciais, com o tempo das fases dos ciclos pré-definido e controlado por meio de um painel de comandos elétricos analógicos.



**Figura 1:** Esquema do reator RHBS (A) e Detalhe do aparato para fixação do material suporte (B)

Cada ciclo era iniciado com uma fase de enchimento e logo após uma fase anóxica, para desnitrificação do nitrato remanescente do ciclo anterior e promoção da liberação bacteriana dos fosfatos, na sequência era realizada uma fase aeróbia, com objetivo de promover a oxidação do carbono, a nitrificação e a remoção do fósforo. Em seguida, estas 3 primeiras fases eram repetidas mais 2 vezes. Nas fases anóxicas, a cada 15 minutos o ar era ligado durante 4 segundos para manter sempre uma mistura homogênea dentro do reator. Após a última fase aeróbia era iniciada a fase final de decantação do lodo em suspensão e retirada do efluente tratado. Os tempos de cada fase estão apresentados na Tabela 1. Em cada ciclo eram tratados de forma escalonada 540 L de efluente, totalizando 1620 L por dia. O estudo do RHBS foi realizado em 175 dias de operação (de Fevereiro a Agosto de 2007), durante os quais foram efetuadas 56 coletas para monitoramento do esgoto bruto e do esgoto tratado (em torno de duas vezes por semana), e monitoramento completo de todas as fases em seis (6) ciclos operacionais.

**Tabela 1** – Síntese dos tempos de cada etapa do ciclo operacional.

FASE	TEMPO (MIN)			TEMPO TOTAL (MIN)
	I	II	III	
Enchimento	6	6	10	22
Anóxica	64	64	60	188
Aeróbia	70	70	70	210
Decantação		40		40
Retirada		20		20
	Duração total			480 (8 horas)

Foram realizados testes respirométricos utilizando-se dois métodos: diretamente no reator (*on-line*) e em bancada, adaptando-se ao RHBS a metodologia descrita por Schmidell (2001). No procedimento do teste *on-line* introduziu-se a sonda multi-parâmetro YSI 556 no interior do reator durante a fase aeróbia do ciclo e desligou-se a aeração após a estabilização do eletrodo, então mediu-se o consumo do oxigênio dissolvido (OD) pelos microrganismos até uma queda de  $\pm 2$  mg/L. Em seguida a aeração era novamente ligada e aguardava-se a estabilização do OD dentro do reator. Para o ensaio de bancada eram coletados 940 mL do “licor misto” no interior do reator durante a fase aeróbia, mantendo-se o pH entre 7,0 e 7,5 através da adição de solução básica (NaOH) ou ácida (HCl). A amostra era submetida à aeração usando uma bomba de aquário, e agitação por um agitador magnético, até a estabilização do eletrodo de OD, quando então a aeração era desligada até a queda de 2 mg/L de concentração de OD. Em seguida, a aeração era ligada novamente até a estabilização do OD na amostra. Então foram construídos respirogramas com o ajuste da melhor reta e utilizando o coeficiente angular da mesma para se obter o valor da velocidade de respiração celular ( $QO_2X$ ).

Para as análises físico-químicas das amostras, a metodologia adotada seguiu os procedimentos do “*Standard Methods*” (APHA, AWWA, WEF, 2005). Foram medidos: oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura, alcalinidade, demanda química de oxigênio total e filtrada (DQO<sub>T</sub> e DQO<sub>F</sub>), sólidos suspensos totais (SST), fosfato (PO<sub>4</sub>-P), fósforo total (PT), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (NH<sub>4</sub>-N), nitrito (NO<sub>2</sub>-N) e nitrato (NO<sub>3</sub>-N). A microfauna presente no reator RHBS foi analisada via microscopia ótica (Microscópio Olympus BX 40).

## Resultado

A média e o desvio padrão dos resultados das análises realizadas no esgoto doméstico afluente, que estão apresentados na Tabela 2, caracterizam como de baixa concentração em termos de matéria carbonácea e de alta concentração em termos de nutrientes (Jordão & Pessôa, 2005). A relação DBO/DQO média foi de 0,7, que, conforme Metcalf & Eddy (2003), indica um esgoto de fácil tratamento por meio biológico.

**Tabela 2** – Características do esgoto afluente - média e desvio padrão.

VARIÁVEIS	OD	T	pH	DQO <sub>Total</sub>	DBO <sub>5</sub>	NTK	NH <sub>4</sub>	PT
UNIDADE	[mg/l]	[°C]	-	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
MÉDIA	0,52	21,3	6,6	352	269	65	60	21
DESVIO PADRÃO	0,67	5,1	0,2	119	126	12	12	9,5

Nas Figuras 2 e 3 estão apresentados perfis temporais obtidos para OD e pH ao longo de 6 ciclos monitorados integralmente. Para o OD (Figura 2) observa-se que no final das fases anóxicas a concentração média era de  $0,53 \pm 0,83$  mg O<sub>2</sub>/L e, entre estes valores, 70% ficaram abaixo de 0,5 mg/L, valor este recomendado por Ferreira (2000) como ótimo para desnitrificação. Verifica-se também que durante as fases aeróbias a concentração de OD apresentou média de  $5,51 \pm 1,79$  mg O<sub>2</sub>/L, tendo 97,5% dos valores acima de 2 mg O<sub>2</sub>/L, que segundo Rittmann & McCarty (2001) é o valor mínimo requerido para que ocorra a velocidade máxima de nitrificação. Na Figura 3 verifica-se que há um aumento significativo do pH durante a primeira fase anóxica devido a adição de bicarbonato de sódio, este procedimento foi realizado para evitar a queda do pH em níveis indesejados para uma nitrificação eficiente, ao longo das fases aeróbias, devido ao consumo da alcalinidade. Durante as fases anóxicas o pH médio foi de  $7,31 \pm 0,40$ , encontrando-se dentro da faixa de 6,5 a 8,0, recomendada por Henze *et al.* (2001) e Jordão & Pessôa (2005) para velocidade máxima de desnitrificação. Durante a pesquisa, observou-se que 70% dos valores de temperatura apresentaram-se abaixo de 25°C, ficando próximos da faixa ideal para tratamento biológico, de 25 a 35 °C, segundo Jordão & Pessôa (2005).

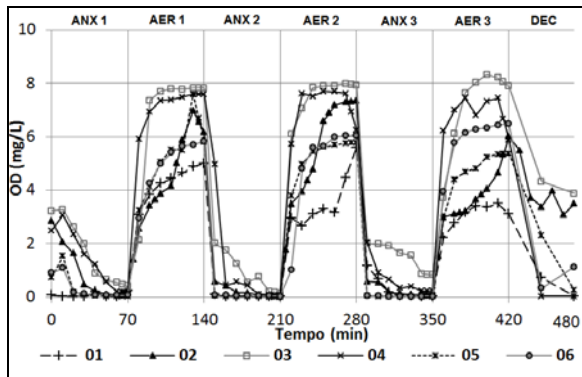


Figura 2 – Perfil de OD ao longo de 6 ciclos.

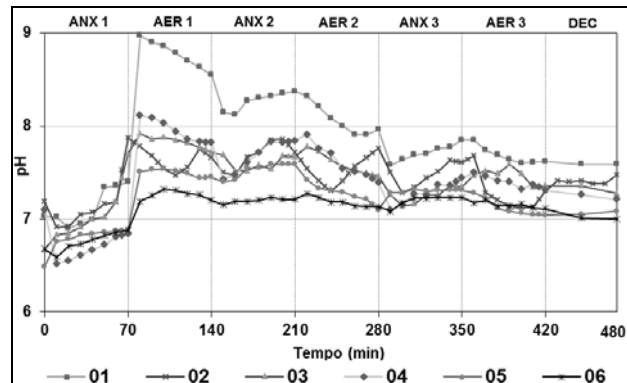


Figura 3 – Perfil de pH ao longo de 6 ciclos.

O efluente tratado apresentou uma concentração média de  $DQO_T$  de  $57 \pm 42$  mg/L, com eficiência de remoção média de  $84 \pm 8,8$  %. Quanto ao nitrogênio, a concentração média foi de  $14 \pm 11$  mg NTK/L e  $13 \pm 10$  mg  $NH_4-N$ /L no efluente tratado, com 80% dos valores de  $NH_4-N$  abaixo de 20 mg/L. A nitrificação e desnitrificação ocorreram com eficiência média de, respectivamente,  $78 \pm 15$  % e  $94 \pm 6,4$  %, indicando que o RHBS teve um ótimo desempenho nos processos de remoção do nitrogênio. Observa-se na Figura 4 o comportamento do nitrogênio ao longo de um ciclo padrão (Ciclo 02), que apresentou remoção de 99 % do  $NH_4-N$  e eficiência na desnitrificação de 99,5 %. Apesar dos resultados obtidos durante o estudo para eficiência na desnitrificação entre 70 e 90 %, algumas vezes o efluente tratado apresentou valores de  $NO_2-N$  ou  $NO_3-N$  elevados ( $> 10$  mg/L), indicando problemas com a desnitrificação. Este fato se deve a uma baixa relação  $DQO/NTK$ , que teve uma média de 5,3, sendo 79 % dos valores abaixo de 7,0, que é o valor recomendado por Henze *et al.* (2001) para ocorrência da desnitrificação. A presença de nitrito no efluente tratado indica que o processo de nitrificação não se dá até seu último estágio de oxidação, como relatado por Ye *et al.* (2009), em reator RBS escala real, para valores de pH acima de 8. Para esse autores, o pH é uma variável mais importante que a concentração de OD quando se quer trabalhar com remoção biológica de nitrogênio via nitrito.

Os valores de pH e alcalinidade ( $CaCO_3$ ), ao longo do mesmo ciclo monitorado (Ciclo 02), estão apresentados na Figura 5. A alcalinidade foi consumida nas fases aeróbicas do ciclo devido à liberação do íon  $H^+$  no processo de nitrificação, mas permaneceu acima de 140 mg  $CaCO_3/L$  devido a adição do bicarbonato de sódio, ficando sempre acima do valor mínimo de 70 mg $CaCO_3/L$ , valor este recomendado por Von Sperling (2002) para manter a biomassa estável em reator de lodo ativado. Durante as fases anóxicas, a alcalinidade foi recuperada através da desnitrificação, indicando a estabilidade do sistema híbrido nos processos de nitrificação e desnitrificação. Analisando conjuntamente os resultados obtidos para  $NH_4-N$  na Figura 4 e os valores de pH apresentados na Figura 5, verifica-se que, quando o processo de nitrificação se inicia (queda de  $NH_4-N$ ) o pH decresce, formando o característico “vale da amônia”, descrito por



Andreottola *et al.* (2005) e também reportado em Ye *et al.* (2009). Em seguida, observa-se um aumento do pH, indicando que o processo de nitrificação foi finalizado. Este comportamento de “queda” e “aumento” do pH, relacionado com alcalinidade, nas fases aeróbias, segundo Carucci *et al.* (1999) se dá quando todo o processo de nitrificação é completado, neste ponto tem-se valores máximos de CO<sub>2</sub>; porém, devido à oxidação completa do carbono orgânico do efluente, os microrganismos heterótrofos produzem menos CO<sub>2</sub>, e este então tende a diminuir via “stripping”.

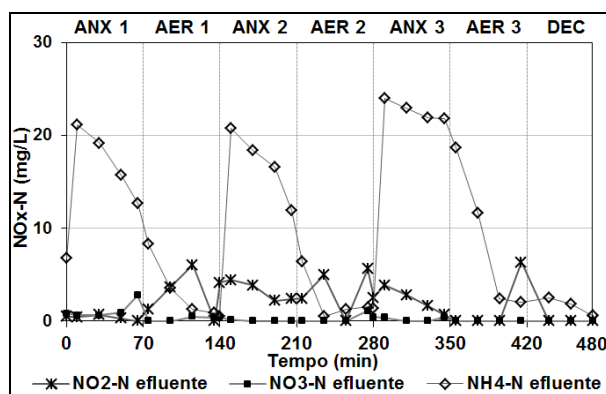


Figura 4 – NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N e NH<sub>4</sub>-N no ciclo 02.

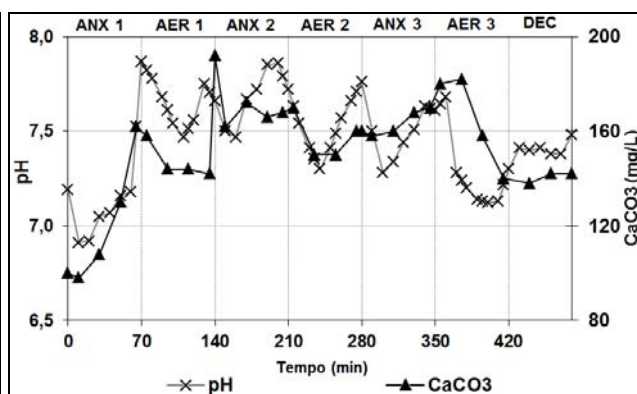


Figura 5 – pH e da alcalinidade no ciclo 02.

As concentrações médias de fosfato (PO<sub>4</sub>-P) e fósforo total (P<sub>T</sub>) no esgoto bruto foram de, respectivamente, 22 ± 8,0 mg/L e 21 ± 9,5 mg/L, acima dos valores normalmente encontrados em esgotos sanitários. As eficiências médias de remoção de PO<sub>4</sub>-P e P<sub>T</sub> foram de 44 ± 31 % e 45 ± 30 %, respectivamente, apresentando máximos em torno de 85 % nos meses de Fevereiro, Março e Junho, como pode ser observado na Figura 6. As concentrações médias de fosfato (PO<sub>4</sub>-P) e fósforo total (P<sub>T</sub>) no esgoto tratado foram de, respectivamente, 11 ± 7,1 mg/L e 12 ± 7,5 mg/L. O comportamento do PO<sub>4</sub>-P e da DQO<sub>T</sub> em um ciclo padrão monitorado (Ciclo 02) pode ser visualizado na Figura 7. Nas fases anóxicas, com o consumo da DQO, o fosfato apresentou um aumento, indicando uma liberação deste pelas bactérias fósforo-acumuladoras (BFA), em acordo com o descrito em Wu *et al.* (2009) e Rubino *et al.* (2003), decorrente de condições de anaerobiose nestas fases, quando a presença de nitrato foi quase nula e a concentração de oxigênio dissolvido foi próxima a zero. Durante as fases aeróbias, houve uma queda do fosfato pela assimilação do fosfato liberado na fase anóxica pelas bactérias BFA (Machnicka *et al.*, 2008; Marchetto *et al.*, 2003). A eficiência de remoção de PO<sub>4</sub>-P foi de 39 % e de P<sub>T</sub> foi de 31 %.

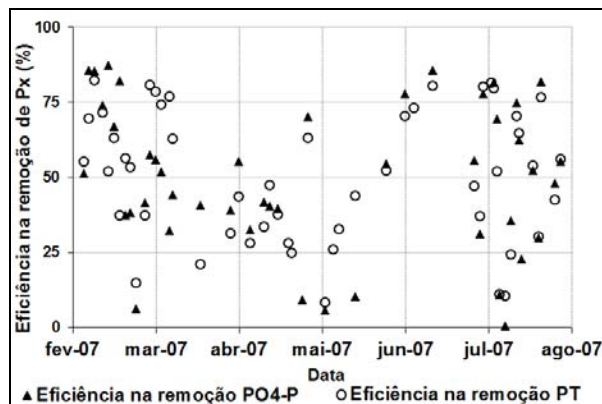


Figura 6 – Eficiência na remoção de PO<sub>4</sub>-P e P<sub>T</sub>.

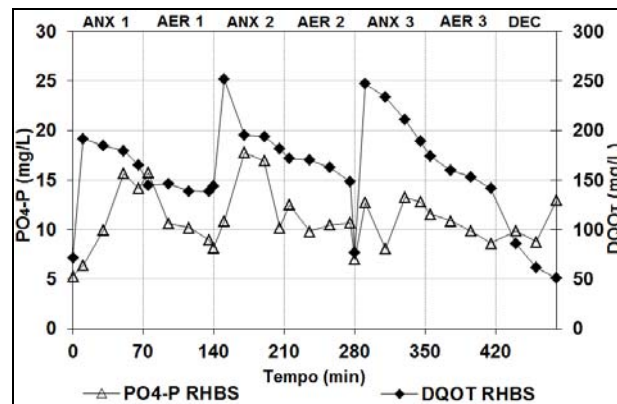


Figura 7 – PO<sub>4</sub>-P e DQO<sub>T</sub> no ciclo 02.

Os valores das concentrações médias de NH<sub>4</sub>-N e DQO<sub>F</sub> durante os testes respirométricos efetuados para os Teste 1 e 2 estão apresentados na Tabela 3. Os valores médios da velocidade de respiração celular (QO<sub>2</sub>X) e da velocidade específica de respiração (QO<sub>2</sub>) estão apresentados nas Tabelas 4, para testes *on-line* e em bancada, respectivamente.

Tabela 3: Resultados da média de NH<sub>4</sub>-N e DQO durante os testes respirométricos.

VARIÁVEL	UNIDADE	TESTE 1	TESTE 2
NH <sub>4</sub> -N	[mg/l]	8,2	7,1
DQO <sub>F</sub>	[mg/l]	51	74

Tabela 4: Resultados da média de QO<sub>2</sub>X e QO<sub>2</sub> dos testes respirométricos *on-line* e em bancada.

VARIÁVEL	UNIDADE	ON-LINE		BANCADA	
		TESTE 1	TESTE 2	TESTE 1	TESTE 2
QO <sub>2</sub> X	[mg O <sub>2</sub> /L.h]	18,7	29,1	20,1	32,3
X	[g SST/L]	-	-	3,31	3,28
QO <sub>2</sub>	[mg O <sub>2</sub> /g SST.h]	-	-	6,1	9,8

Os resultados para as velocidades médias de respiração celular (QO<sub>2</sub>X) obtidas nos testes respirométricos variaram entre 18,7 e 32,3 mg O<sub>2</sub>/L.h (Tabelas 4), estando a maioria abaixo da faixa normalmente encontrada em sistemas de lodo ativado, que de acordo com Van Haandel & Marais (1999) é de 30 a 100 mg O<sub>2</sub>/L.h. A velocidade específica de respiração (QO<sub>2</sub>) é obtida quando se conhece a concentração celular (X). Entretanto, para os testes respirométricos *on-line*, não foi possível determinar o valor de X no interior do reator por uma simples análise de



sólidos em laboratório, já que existe biomassa aderida ao material suporte. Desta forma, os valores obtidos no teste em bancada para  $QO_2$  variaram entre 6,1 a 9,8 mg  $O_2/g$  SST.h. A grandeza  $QO_2$  depende do microrganismo empregado, assim como da composição do meio e das condições experimentais (pH, temperatura, entre outros). Portanto, as células que estejam crescendo em altas velocidades apresentam elevadas velocidades de consumo da fonte de carbono, assim como elevadas velocidades de respiração (Schmidell, 2001). Desta forma, percebe-se que a baixa atividade da biomassa, em termos de  $QO_2$ , foi devida à baixa disponibilidade de DQO (Tabela 3) durante a realização dos testes respirométricos.

Costa *et al.* (2008) utilizando o mesmo reator RHBS para tratar esgoto doméstico, com cargas aplicadas variando entre 0,14 e 0,51 kg DQO/m<sup>3</sup>.dia e 0,02 e 0,06 kg  $NH_4-N/m^3$ .dia, obtiveram velocidade de respiração celular superiores, com valores variando entre 19,8 e 90,6 mg  $O_2/L.h$ , e velocidade específica de respiração variando entre 7,8 e 25,2 mg  $O_2/g$  SST.h, em testes respirométricos de bancada. Além disso, embora as amostras apresentassem concentrações celulares semelhantes, as velocidades de respiração celular e as velocidades específicas de respiração no Teste 2 foram maiores que no Teste 1, devido à maior disponibilidade de substrato (Tabela 3), ocasionando numa maior atividade das bactérias no Teste 2. As velocidades de respiração celular obtidas nos testes em bancada foram maiores do que nos testes *on-line* (Tabelas 4). Entretanto, sabendo-se que no teste respirométrico *on-line* a concentração celular era maior do que no teste em bancada, em função da biomassa aderida ao material suporte, esperava-se obter maiores taxas de consumo de oxigênio no teste *on-line* do que no de bancada. Esse fato é decorrente de que em bancada têm-se condições experimentais controladas de temperatura, pH, agitação e aeração. Outro fator que pode ter influenciado nesse resultado, é que o procedimento *on-line* requer o desligamento dos aeradores do reator o que, conseqüentemente, provoca a cessação da agitação a qual mantém a mistura completa do lodo. Apesar de o teste respirométrico durar poucos minutos, segundo Van Haandel & Marais (1999) a opção *on-line* somente é viável quando há um mecanismo que permita que o lodo permaneça em suspensão e completamente misturado enquanto se interrompe a aeração.

Nas observações microscópicas realizadas ao longo da pesquisa foi constatado que o lodo caracterizou-se por flocos compactos e bem formados, o que foi comprovado por sua boa sedimentação. Também observou-se a presença da *Vorticellas sp* nestes flocos de lodo, que, segundo Branco (1986), são ciliados fixos indicadores de boas condições de tratamento quando não predominantes, pois regulam o número de bactérias e contribuem para a formação do próprio floco e na remoção carbonácea. Outro microrganismo presente no lodo foi o *Rotíferos sp* que são indicadores de estabilidade biológica do lodo, com boa remoção de matéria orgânica e ocorrência de nitrificação (Canler *et al.*, 1999). Ocorreu também predominância de *Arcellas sp*, que indicam um ambiente nitrificante e de boas condições de depuração, e a presença da *Aspidisca sp* que também indica a ocorrência de nitrificação, de acordo com Figueiredo *et al.* (1997). As observações microscópicas feitas no suporte fixo revelaram um biofilme denso e

com presença de muitas Amebas e Rotíferos em sua superfície, indicando um sistema estável e capaz de realizar um bom tratamento de oxidação da matéria orgânica e nitrificação.

### Conclusões

O reator mostrou-se capaz de realizar o tratamento do esgoto doméstico em uma única unidade operacional, compacta e com operação simplificada e estável. Além de uma boa remoção de matéria orgânica (média de  $84 \pm 8,8\%$  na remoção de  $DQO_T$ ), o RHBS foi capaz de remover a matéria nitrogenada (média de nitrificação de  $78 \pm 15\%$  e de desnitrificação de  $94 \pm 6,4\%$ ) devido ao funcionamento em bateladas com enchimento escalonado. Durante as fases de reação aeróbia houve nitrificação, observando-se consumo de alcalinidade com conseqüente queda de pH e o característico “vale da amônia”, na fase de reação anóxica houve a recuperação da alcalinidade e ocorrência de desnitrificação. Apesar de não haver uma fase anaeróbia significativa, com os valores baixos de oxigênio dissolvido no final da fase anóxica foi possível o processo de remoção biológica de fósforo (média de  $44 \pm 31\%$  na remoção de  $PO_4-P$  e  $45 \pm 30\%$  na remoção de  $P_T$ ).

Além disso, a respirometria mostrou-se como uma alternativa complementar às análises laboratoriais, tratando-se de um procedimento simples que requer um curto tempo de realização, permitindo a análise imediata dos processos metabólicos que ocorrem no sistema de tratamento. Entretanto, dentre os métodos respirométricos utilizados, o de bancada mostrou-se mais confiável, uma vez que o método *on-line* não se mostrou adequado para o monitoramento do RHBS, tendo em vista que o reator não possuía um sistema de agitação independente da aeração.

### Referências Bibliográficas

- Andreottola, G. *et al.* (2005) Treatment of winery wastewater in a full-scale fixed bed biofilm reactor. *Water Science and Technology*, v. **51**(1), p.71-79.
- Apha; Awwa; Wef. (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21<sup>th</sup> ed. Washington DC: APHA, AWWA, WEF.
- Artan, N.; Orhon, D. (2005) *Mechanism and design of sequencing batch reactors for nutrient removal*. London: IWA Publishing. Scientific and Technical Report Series, Nº **19**.
- Branco, S. M. (1986) *Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária*. 3ª ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 640 p.
- Canler, J. P. *et al.* (1999) *Aide ou diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées*. Edition CEMAGREF, France.

- Carucci, A.; Chiavola, A.; Majone, M.; Rolle, E. (1999) Treatment of tannery wastewater in a sequencing batch reactor. *Water Science and Technology*, v. **40**(1), p.253-259.
- Costa, R.H.R., Souto, V.S., Prelhaz, A.T.S., Lamego Neto, L.G., Wolff, D.B. (2008) Utilization of a Hybrid Sequencing Batch Reactor (HSBR) as a Decentralized System of Domestic Wastewater Treatment. *Water Science & Technology*, **57**(12), p.1951-1956.
- Ferreira, E. S. (2000) Cinética química e fundamentos dos processos de nitrificação e desnitrificação biológica. In: XXVII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, *Anais...* AIDIS, Porto Alegre. CD-ROM.
- Figueiredo, M. G.; Domingues, V.B.R. (1997) *Microbiologia de Lodos Ativados*. Companhia de Saneamento Ambiental – CETESB. São Paulo, 48p.
- Henze, M. *et al.* (2001) *Wastewater treatment: Biological and Chemical Processes*. Springer.
- Jordão, E. P. & Pessoa, C. A. (2005) *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 4ª. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 932 p.
- Lin, Y.-F; Jing, S.-R.(2001) Characterization of denitrification and nitrification in a step-feed alternating anoxic-oxic sequencing batch reactor. *Water Environment Research*, v. **73**(5), p. 526-533.
- Machnicka, A.; Grübel, K.; Suschka, J. (2008) Enhanced biological phosphorus removal and recovery. *Water Environment Research*, v. **80**(7), p. 617-623.
- Marchetto, M.; Campos, J. R.; Realli, M. A. P. (2003) Remoção de fósforo de efluente de reator anaeróbico em reator com aeração intermitente seguido por flotação por ar dissolvido. *Engenharia sanitária e Ambiental*, v.**8**(1), p. 77-83.
- Mccluskey, C., Quinn, J.P., Mcgrath, J.W. (2005) An evaluation of three new-generation tetrazolium salts for the measurement of respiratory activity in activated sludge microorganisms. *Microbial Ecology*, **49**: 379–387.
- Mcnicoll, B.P., Mcgrath, J.W., Quinn, J.P. (2007) Development and application of a resazurin-based biomass activity test for activated sludge plant management. *Water Research*, **41**: 127-133.
- Metcalf & Eddy (2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4ª Ed. Mc Graw Hill, Inc. New York, USA.
- Ochoa, J.C., Colprim, J., Palacios, B., Paul, E. and Chatellier, P. (2002) Active heterotrophic and autotrophic biomass distribution between fixed and suspended systems in a hybrid biological reactor. *Water Science & Technology*, **46** (1-2), p.397-404.
- Ødegaard, H. (2006) Innovations in wastewater treatment: the moving bed biofilm process. *Water Science and Technology*, v. **53**(9), p.17-33.
- Rittmann, B.E.; Mccarty, P. L. (2001) *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. McGraw-Hill, New York.
- Rubino, F. F.; Araújo, O. Q. F.; Coelho, M. A. Z. (2003) Remoção biológica de nutrientes em reator em batelada sequencial. 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Rio de Janeiro, RJ. CD-ROM.

- Schmidell, W. (2001) Agitação e Aeração em biorreatores. IN: Schmidell, W., Lima, U. A., Aquarone, E., Borzani, W. *Biotecnologia Industrial*, Vol.2, Edgard Blücher Ltda., p.277-331, São Paulo, Brasil.
- Van Haandel A.C. & Marais, G. (1999) *O comportamento do sistema de lodo ativado – Teoria e aplicação para projeto e operação*. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Brasil.
- Von Sperling, M. (2002) *Lodos Ativados*. Vol. 4. Ed. DESA-UFMG. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2ª edição ampliada.
- Weiss, B; Rochen, N.; Potier, O.; Pons, M. N.; Cecile, J. L.; Prost, C. (1999) Nouvelle utilisation de la respirométrie en ligne pour la gestion d'une station d'épuration à boues activées. *Techniques sciences méthodes (TSM) – génie urbain, génie rural*, **4**.
- Wolff, D.B; Paul, E.; Costa, R. H. (2005) Reatores Híbridos: uma nova alternativa para o tratamento de efluentes. *Saneamento Ambiental*, v. **111**, p.30-33.
- Wu, G. *et al.* (2009) Microbial community associated with glucose-induced enhanced biological phosphorus removal. *Water Science and Technology*, v. **60**(8), p.2105-2113.
- Ye, L. *et al.* (2009) Nitrogen removal via nitrite in domestic wastewater treatment using combined salt inhibition and on-line process control. *Water Science and Technology*, v. **60**(6), p.1633-1639.