



II-031 - TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM REATOR DE LODO ATIVADO SEQÜENCIAL EM BATELADA COM ENCHIMENTO ESCALONADO A FIM DE REMOVER CARBONO, NITROGÊNIO E FÓSFORO

Tatiana Barbosa da Costa⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará, Mestre em Engenharia Ambiental do PPGEA/CTC/UFSC.

Heike Hoffmann

Doutora em Microbiologia pela Universidade de Rostock da Alemanha, Professora e pesquisadora visitante-CNPq junto ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Delmira Beatriz Wolff

Engenheira Sanitarista, Mestre em Engenharia Ambiental, Doutora em Engenharia Ambiental do PPGEA/CTC/UFSC, “sanduíche” com INSA-Toulouse/França.

Christoph Platzer

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Técnica de Monique, Doutor em Saneamento pela Universidade Técnica de Berlim, consultor da Rotária do Brasil Ltda.

Rejane Helena Ribeiro da Costa

Engenheira Civil, Doutora em Qualidade e Tratamento das Águas (INSA/Toulouse-França), pós doutorado na Université de Montpellier I-França, Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Endereço⁽¹⁾: Av. Almirante Barroso, n° , Residencial Fernando Guilhon, Apt° 103, Bloco 12-B; CEP: 66062-710; Belém-PA; Brasil; Tel: (91) 3231-1064; E-mail: tatykos@hotmail.com.

RESUMO

Neste trabalho apresenta-se o estudo do tratamento biológico de efluente sanitário doméstico em um reator de lodo ativado em batelada seqüencial (RBS) totalmente automatizado, com enchimento escalonado, a fim de alcançar remoção biológica de carbono, nitrogênio e fósforo, obtendo uma qualidade do efluente tratado para atender o recomendado pela legislação ambiental brasileira.

A unidade piloto foi fabricada em chapa de ferro cilíndrica de 5mm de espessura, 2,20m de altura e 0,95m de diâmetro, trabalhando com uma altura útil de 2,0m. O reator foi operado seguindo o funcionamento dos reatores em batelada seqüencial, sendo diferenciado apenas nas fases de enchimento, que era feito de forma escalonada. O monitoramento foi realizado através de análises físico-químicas no meio líquido e observações microscópicas dos flocos do lodo ativado. Independente das condições operacionais impostas no reator ao longo da pesquisa, o tratamento apresentou eficiência média de 84% ($\pm 6,7\%$) para a remoção de DQO total e 97% ($\pm 2,5\%$) de remoção para DBO₅. A nitrificação também foi bastante eficiente, pois todas as amostras coletadas do efluente final apresentaram concentrações de nitrogênio amoniacal total abaixo de 20,0 mg/L, valor máximo exigido pela Resolução CONAMA n° 357/05. A desnitrificação apresentou eficiência média de 46% e a biodesfosfatação de 65% ($\pm 12,5\%$), aproximadamente. O uso da microscopia óptica apresentou-se como uma ferramenta de avaliação rápida das condições operacionais do reator; os flocos do lodo apresentaram uma grande variedade de microrganismos.

PALAVRAS-CHAVE: Biodesfosfatação, esgoto sanitário, desnitrificação, nitrificação e reator em batelada seqüencial.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil tem experimentado um processo de urbanização desenfreada, bem como uma concentração da população e das atividades econômicas sobre o mesmo espaço, o que tem causado pressões sobre o meio ambiente e a conseqüente alteração da qualidade ambiental dos municípios brasileiros, em



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

virtude do modelo de desenvolvimento adotado. Várias pesquisas são realizadas na tentativa de procurar 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 tratamento de efluentes domésticos por reator em batelada seqüencial (RBS) tem despertado 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).

O processo de tratamento utilizando RBS foi mais difundido e implantado em escala real quando o processo de automação foi desenvolvido com mais simplicidade e eficiência, haja vista que o tipo de processo em batelada necessita deste para efetivar todas as mudanças de fases.

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).

O presente trabalho apresenta estudos realizados em 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.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema experimental em escala piloto foi desenvolvido 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). O sistema experimental piloto foi operado de maio a agosto de 2004.

O efluente proveniente da rede coletora de esgotos da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) era bombeado de um poço de visita por um conjunto motor-bomba submerso e levado a um tanque de armazenamento com volume de 5m³, para então ser novamente encaminhado para o reator piloto através de uma bomba com deslocamento positivo de marca Netzsch modelo 2NP15A. Era realizada retirada de lodo de fundo deste tanque de armazenamento 3 vezes por semana.

Na base do reator foi instalado um difusor de ar do tipo membrana, marca Nopol, alimentado por um compressor de ar com capacidade para 257L, marca Schulz. Para garantir uma boa mistura no RBS, a tubulação de entrada do efluente foi prolongada até a parte inferior do reator. A figura 1 mostra o esquema de todo o sistema piloto estudado.

O efluente do reator era removido por meio de um conjunto de compressor semelhante ao da alimentação. O sistema era todo automatizado. Para o controle do tempo de cada fase dos ciclos, existia um painel de comandos elétricos com “timers” analógicos ligados aos conjuntos elevatórios, à válvula solenóide e ao sistema de agitação.

Em se tratando de um projeto piloto, tornou-se necessário levar em consideração o descarte do efluente tratado de forma que o mesmo não afetasse nenhum corpo receptor, por isso a decisão adotada foi de descartar o efluente tratado na mesma rede coletora da CASAN.

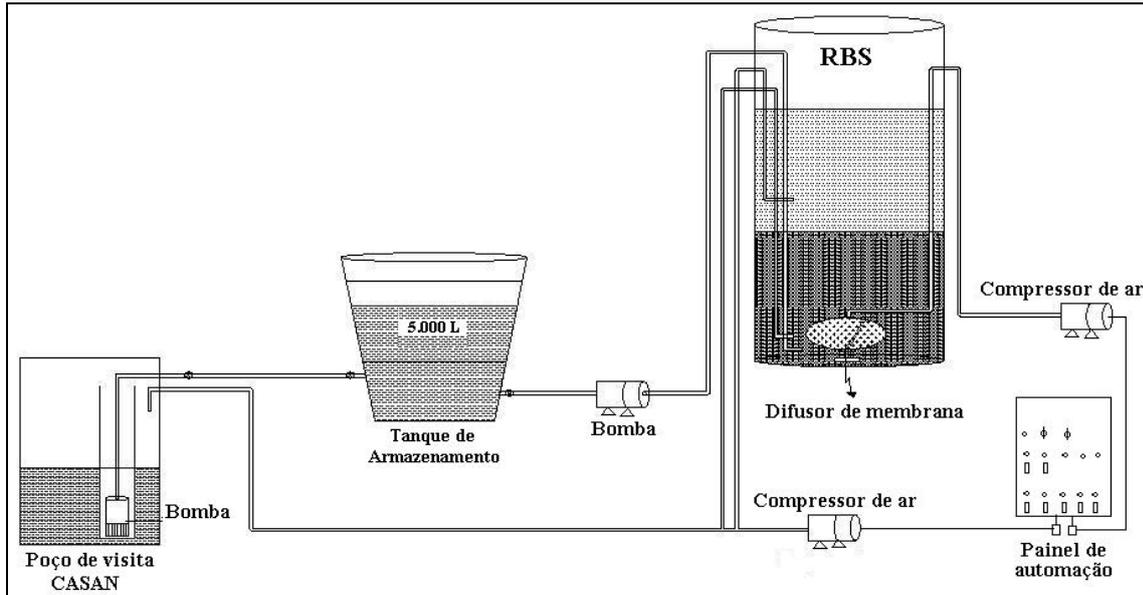


Figura 1: Esquema do sistema piloto do RBS

A retirada de lodo em excesso do sistema piloto era realizada 2 vezes por semana. As retiradas eram feitas através da troca da mangueira utilizada para a retirada do efluente tratado, possibilitando a utilização do mesmo compressor de ar. A cada retirada eram coletados 80 litros de lodo concentrado (lodo após a decantação) em uma bombona e posteriormente encaminhado a um sumidouro.

Foram efetuados 4 ensaios envolvendo mudanças das condições operacionais do reator com o objetivo de alcançar a remoção de carbono, nitrogênio e fósforo. O período de experimentação foi de maio de 2004 até agosto de 2004. Todo procedimento utilizado seguiu o funcionamento dos reatores em batelada seqüencial descrito por ARTAN et al. (2001):

Fase de enchimento: entrada do esgoto bruto no reator. O oxigênio dissolvido geralmente é baixo, próximo de zero, uma vez que o efluente vem de pré-tratamento anaeróbio em tanque séptico. O reator em estudo trabalhou com enchimento do tipo escalonado, onde ocorria a distribuição de esgoto ao longo do ciclo, para então otimizar as condições propícias a nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação. Ao longo da pesquisa foram modificadas as cargas volumétricas de esgoto, alterando-se o volume de enchimento dos ciclos.

Fase anaeróbia/anóxica: Logo após cada enchimento realizado durante o ciclo ocorria a fase anóxica, para a desnitrificação do nitrato já existente do ciclo anterior e a liberação do fosfato pelas bactérias, como descrito na revisão bibliográfica. Os tempos das fases anóxicas foram modificados ao longo da pesquisa, com a finalidade de encontrar as melhores condições para a remoção dos nutrientes.

Fase aeróbia: O compressor de ar era ligado, provocando a aeração de todo líquido contido no reator. Nesta fase ocorria a nitrificação e a oxidação do carbono remanescente da fase anóxica. Os tempos das fases aeróbias também foram modificados durante este estudo.

Fase de Decantação: No final da última fase aeróbia, o compressor de ar era desligado, havendo então a separação dos flocos de lodo ativado do meio líquido já tratado.

Fase de Retirada: O efluente tratado era retirado do reator. O volume de esgoto tratado que era retirado do sistema era igual a soma dos volumes de todos os enchimentos do ciclo. Todo o lodo ativado ficava retido no reator, sendo então iniciado um novo ciclo.

O reator RBS foi fabricado de forma cilíndrica, em chapa de ferro com 5mm de espessura, altura de 2,20m e diâmetro de 0,95 m, sendo utilizado para o tratamento uma altura útil de 2 m, que significa um volume máximo de 1,43 m³, volume este próximo do correspondente a contribuição diária de despejos de uma residência com 5 a 8 habitantes. A figura 2 mostra foto do reator piloto estudado e o princípio de funcionamento do processo.

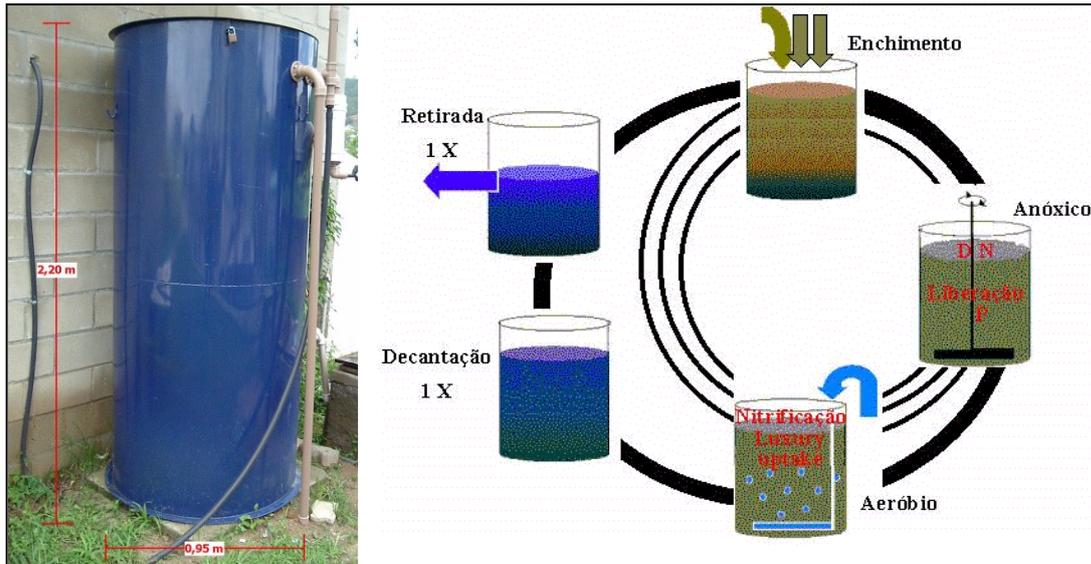


Figura 2: Foto do piloto RBS e do princípio de funcionamento do processo.

As amostras de esgoto bruto foram coletadas com frasco coletor no momento da entrada do afluente no reator (portanto, após a saída do tanque de armazenamento). As amostras de esgoto tratado foram coletadas no local apropriado de estocagem do efluente tratado e as amostras do lodo ativado foram coletadas diretamente no interior do reator em fase de aeração. Após as coletas, o material coletado era encaminhado ao Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental para a realização das análises físico-químicas e microscópicas. As variáveis determinadas estão identificadas na tabela 1.

Tabela 1: Identificação das variáveis determinadas no estudo.

Variável	Método Analítico	Periodicidade
Alcalinidade Total	Standard Methods - Titulação com ácido	3 vezes por semana
DBO ₅	Standard Methods - Incubação por 5 dias	3 vezes por semana
DQO _{total}	Standard Methods - Refluxo fechado	3 vezes por semana
Fosfato (ortofosfato)	Standard Methods - Colorimétrico com ácido, sem digestão	3 vezes por semana
Microscopia Ótica	Captação de imagens microscópicas - OLYMPUS, modelo BX 40	Semanalmente
Nitrato	Kits de análises colorimétricos da MERCK	3 vezes por semana
Nitrito	Kits de análises colorimétricos da MERCK	3 vezes por semana
Nitrogênio Amoniacal	Kits de análises colorimétricos da MERCK	3 vezes por semana
OD	Oxímetro digital	Diariamente
pH/Temperatura	Direto – Potenciométrico/ Sensor de temperatura	Diariamente
Sólido Totais	Standard Methods - Gravimétrico	Semanalmente



RESULTADOS

Primeiro ensaio (E-1)

Neste ensaio o tempo total do ciclo foi de 6 horas, utilizando-se 3 enchimentos com volumes iguais de 100 litros cada, perfazendo um total de 1200 litros de esgoto tratado por dia. Através da tabela 2 é possível verificar as condições operacionais e os resultados médios obtidos neste período de estudo que se prolongou de 20/05/2004 até o dia 15/06/2004.

Tabela 2: Valores médios obtidos no período de estudo do ensaio 1 (E-1).

Condições operacionais E-1	Valor	Variável (mg/L)	Afluentes	Efluentes	% Remoção
			Média ± σ^2 n	Média ± σ^2 n	Média ± σ^2 n
<i>Ciclos por dia</i>	<i>4 x 6 h</i>	DQO _{total}	531 ± 69 n = 6	121 ± 15 n = 10	77,0% ± 3,7
<i>Nº Enchimento</i>	3	NH ₄ -N	18,7 ± 4,2 n = 6	0,05 ± 0,08 n = 8	99,9% ± 0,07
<i>Volume dos enchimentos (L)</i>	<i>3 x 100</i>	NO ₂ -N	--	0,01 n = 3	--
<i>Esgoto tratado (L/dia)</i>	1200	NO ₃ -N	--	13,6 ± 6,4 n = 7	27,7% ± 11,0
<i>Anóxico:Aeróbio (min)</i>	80:120	PO ₄ -P	23,1 ± 5,6 n = 6	11,8 ± 1,9 n = 7	35,4% ± 23,7
<i>A/M (kg DQO/kg ST.d)</i>	0,26	CaCO ₃	--	--	--

O afluente apresentou valores de DQO_{total} que variaram de 462 até 629 mg/L. Mesmo com elevada DQO, o reator conseguiu produzir um efluente com valor mínimo de 89 mgDQO/L e máximo de 140 mgDQO/L. A DBO₅ afluente durante este ensaio variou de 245 a 350 mgDBO₅/L e o efluente tratado obteve em todo período do E-1 resultados menores que 5 mgDBO₅/L.

Pela tabela 2, observa-se que houve uma completa nitrificação, pois no afluente os resultados de amônia variaram de 13,4 a 25,8 mgNH₄-N/L e no efluente tratado os valores de amônia foram próximos de zero. A relação DQO:N foi de 150:5,3, bem próxima da recomendada por METCALF & EDDY (2003). Os resultados encontrados no efluente para o nitrito foram próximos de zero, demonstrando uma nitrificação estável, até o último estágio de oxidação. Em se tratando da variável nitrato, observou-se que ocorreu uma leve oscilação, variando de 5,2 a 14,4 mgNO₃-N/L. Essa variação demonstra a ocorrência da desnitrificação a partir do dia 04/06/2004, onde a concentração de nitrato foi 12,4 mgNO₃-N/L.

Quanto à remoção de fosfato houve uma redução nos valores de fosfato para o efluente tratado, porém não é possível afirmar a ocorrência da biodesfosfatação. Provavelmente, esta redução foi ocasionada pela alteração na característica do esgoto afluente, não apresentando material orgânico facilmente biodegradável utilizado pelas bactérias que realizam a biodesfosfatação.

Segundo ensaio (E-2)

Neste ensaio, trabalhou-se com o tempo total do ciclo de 8 horas e com o mesmo número de enchimentos do ensaio anterior, porém foram feitas algumas modificações operacionais, como o aumento do volume de esgoto por enchimento, passando a utilizar 100L a cada enchimento realizado por ciclo, perfazendo um total de 300 litros de esgoto tratado por ciclo. A tabela 3 mostra as condições operacionais e os resultados médios obtidos no período de 16/06/2004 a 28/07/2004 que caracterizam o E-2.

Verificou-se que houve um grande aumento da DQO_{total} no afluente, mostrando uma super carga no sistema. Os valores de DQO_{total} variaram de 670 a 2.000 mg DQO_{total}/L, por isso o desvio-padrão neste período foi tão alto. Estes valores encontrados estão acima da média obtida para esgoto doméstico. Ressalta-se que o esgoto utilizado era proveniente de bairro residencial, não havendo nenhuma contribuição industrial que pudesse



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

provocar essa alteração nas concentrações de DQO_{total} . Os valores de DBO_5 também foram altos, variando de 514 a 1214 mg DBO_5/L .

Tabela 3: Valores médios obtidos no período de estudo do ensaio 2 (E-2).

Condições operacionais E-2	Valor	Variável (mg/L)	Afluentes	Efluentes	% Remoção
			Média $\pm \sigma^2$ <i>n</i>	Média $\pm \sigma^2$ <i>n</i>	Média $\pm \sigma^2$ <i>n</i>
<i>Ciclos por dia</i>	<i>3 x 8 h</i>	DQO_{total}	1.209 ± 584 <i>n = 9</i>	122 ± 18 <i>n = 18</i>	$85,3\% \pm 4,9$
<i>Nº Enchimento</i>	<i>3</i>	NH_4-N	$38,1 \pm 8,3$ <i>n = 11</i>	$3,1 \pm 2,7$ <i>n = 12</i>	$94,3\% \pm 7,0$
<i>Volume dos enchimentos (L)</i>	<i>3 x 100</i>	NO_2-N	--	$0,33 \pm 0,27$ <i>n = 10</i>	--
<i>Esgoto tratado (L/dia)</i>	<i>900</i>	NO_3-N	--	$6,8 \pm 5,3$ <i>n = 14</i>	$83,8\% \pm 7,9$
<i>Anóxico:Aeróbio (min)</i>	<i>228:68</i>	PO_4-P	$27,6 \pm 6,6$ <i>n = 11</i>	$8,2 \pm 5,4$ <i>n = 14</i>	$67,7\% \pm 16,9$
<i>A/M (kg DQO/kg ST.d)</i>	<i>0,26</i>	$CaCO_3$	$256 \pm 11,4$ <i>n = 5</i>	$168 \pm 12,6$ <i>n = 5</i>	$34,2\% \pm 7,3$

A concentração de DQO_{total} do efluente final variou de 86 a 152 mg DQO_{total} /L . Mesmo com alta carga orgânica, o reator obteve uma eficiência de remoção de carbono elevada, em média de 85%, alcançando valores de 94% no final deste ensaio.

Em termos de nitrogênio, o afluentes apresentou maiores concentrações de amônia, se comparadas com o E-1, demonstrando que houve uma mudança na característica do substrato utilizado, com uma relação de $DQO:N$ de 150:4,3. No início do período, a nitrificação apresentou eficiência bastante significativa, pois os resultados de amônia para o efluente estiveram próximos de zero, porém após o dia 9 de julho, houve um decréscimo na eficiência da nitrificação, com a amônia alcançando valores na saída do efluente de até 7 mg NH_4-N/L . As concentrações de nitrito foram bem baixas, próximas de zero, identificando que o tempo do ciclo foi suficiente para que houvesse a nitrificação até o último estágio de oxidação. Observou-se também que os valores de nitrato oscilaram bastante, variando de 1,4 a 18,8 mg NO_3-N/L . Os baixos valores de nitrato comprovaram a ocorrência da desnitrificação que alcançou uma percentagem média de remoção de 83,8%.

No início deste ensaio houve uma redução na concentração de fosfato, que pode ter sido ocasionada simplesmente pela diluição ocorrida na alimentação do reator. Porém, a partir do dia 19 de julho a concentração de fosfato foi de 1,1 mg PO_4-P/L para o efluente tratado, podendo-se afirmar que houve absorção do fosfato pelos microrganismos do lodo ativado. É interessante ressaltar que, no mesmo período em que ocorreu a biodesfosfatação, a desnitrificação foi mais eficiente, e ainda, a nitrificação apresentou problemas.

Terceiro ensaio (E-3)

As condições operacionais e as características médias do esgoto afluentes e efluente do reator piloto, relativas ao ensaio 3 deste estudo, que durou do dia 29/07/2004 até o dia 13/08/2004, encontram-se resumidas na tabela 4. Neste período, o tempo de duração do ciclo voltou para 6 horas, havendo algumas mudanças operacionais, como o volume de esgoto por enchimento escalonado passou a ser de 150L no primeiro enchimento e 75L nos demais enchimentos.

A mudança nas condições operacionais foi feita na tentativa de melhorar a biodesfosfatação através da otimização das fases, tentando aplicar uma carga maior no primeiro enchimento, no qual supõe-se que a concentração de nitrato é menor. Trabalhou-se também com um volume máximo de 1200L no reator.

Os resultados obtidos neste período de estudo com relação a DQO_{total} do afluentes oscilaram bastante, por isso teve-se um desvio-padrão da média elevado. O valor mínimo foi de 653 mg DQO_{total} /L e o máximo de 2.000 mg DQO_{total}/L , iguais aos valores obtidos no ensaio anterior. Percebe-se que os resultados da DQO_{total} efluente mantiveram-se bastante estáveis, com pequeno desvio-padrão, independente da carga aplicada, alcançando



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

uma média de remoção de carbono de 89%, seus valores variaram entre 108 e 152 mg/L. O valor máximo de 152 mg/L foi encontrado no dia em que houve uma maior concentração do afluente (2.000 mg DQO_{total} /L), neste dia o reator obteve uma eficiência de 92% de remoção.

Tabela 4: Condições operacionais e valores médios obtidos no período de estudo do ensaio 3 (E-3).

Condições operacionais E-3	Valor	Variável (mg/L)	Afluente	Efluente	% Remoção
			Média ± σ^2 <i>n</i>	Média ± σ^2 <i>n</i>	Média ± σ^2 <i>n</i>
<i>Ciclos por dia</i>	<i>4 x 6 h</i>	DQO _{total}	1.295 ± 524 <i>n</i> = 6	129 ± 16 <i>n</i> = 10	89,0% ± 4,1
<i>Nº Enchimento</i>	3	NH ₄ -N	37,5 ± 3,5 <i>n</i> = 6	4,7 ± 4,1 <i>n</i> = 10	85,7% ± 11,6
<i>Volume dos enchimentos (L)</i>	<i>1x150 2 x 75</i>	NO ₂ -N	--	2,2 ± 2,3 <i>n</i> = 10	--
<i>Esgoto tratado (L/dia)</i>	1200	NO ₃ -N	--	2,3 ± 1,6 <i>n</i> = 10	86,6% ± 5,4
<i>Anóxico:Aeróbio (min)</i>	136:145	PO ₄ -P	20,0 ± 3,3 <i>n</i> = 6	4,4 ± 4,3 <i>n</i> = 10	81,4% ± 20,9
<i>A/M (kg DQO/kg ST.d)</i>	0,32	CaCO ₃	246 ± 6,3 <i>n</i> = 4	147 ± 26,6 <i>n</i> = 6	40,6% ± 9,1

O afluente apresentou valores de amônia elevados, confirmando uma carga alta, assim como a DQO_{total}. Porém a relação DQO:N foi de 173:5, aproximadamente. Observa-se que os resultados de amônia do efluente tratado foram próximos de zero no período de 29 de julho até o dia 04 de agosto, onde a nitrificação foi bastante eficiente, alcançando valor médio de 99,8%. Após esse período, a eficiência de nitrificação diminuiu, tendo concentração mínima de amônia de 5,8 mg/L e máxima de 8,4 mg/L. Isto pode ter ocorrido provavelmente por algum tipo de substância inibidora das bactérias nitrificantes.

A desnitrificação obteve as melhores eficiências encontradas até aqui, com média de 86,6%. Porém, observou-se que no mesmo período em que houve um decréscimo na eficiência da nitrificação, os valores de nitrato foram mais baixos do que no restante do ensaio, oscilando de 1,2 a 1,5 mg/L, alcançando uma eficiência de até 92%. Provavelmente, as condições que afetaram as bactérias nitrificantes foram boas condições para as desnitrificantes.

Com relação à remoção de fósforo, esse objetivo foi alcançado principalmente no período em que houve acréscimo na eficiência de desnitrificação, onde o processo de tratamento apresentou uma elevada capacidade de remoção de fosfato nas condições operacionais estabelecidas. A remoção de fosfato neste período ocorreu principalmente, devido a assimilação pelos microrganismos, já que apresentou valores baixos que oscilaram entre 0,7 e 1,5 mg/L.

Quarto ensaio (E-4)

Com a intenção de otimizar os processos de nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação, alcançado no ensaio anterior, procurou-se fazer novas alterações nas condições operacionais do E-4. Como mudança houve diminuição dos volumes de enchimento, passando a ser 3 enchimentos, com volumes de 120L no primeiro e 60L nos outros dois, com tempo de ciclo de 6 horas. Portanto, trabalhou-se com um menor volume de esgoto tratado por dia (960L). Observa-se que houve um aumento do tempo total do tratamento biológico para 20h/d, ocasionado pela diminuição do tempo das fases de decantação e retirada.

A tabela 5 apresenta as condições operacionais e os resultados médios obtidos durante o período de 16/08/2004 a 31/08/2004 quando se testou o E-4. Observa-se que houve uma diminuição da eficiência de remoção de DQO_{total} se comparada com o ensaio anterior (E-3). Mas, isso foi ocasionado por mudanças nas características do afluente. Os resultados da DQO_{total} afluente variaram de 290 a 770 mg DQO_{total} /L portanto, grandes variações que elevarão o desvio-padrão. Em decorrência desta oscilação, a eficiência do tratamento diminuiu, mas mesmo com eficiência mais baixa que o E-3, a DQO_{total} do efluente obteve média de 99 mg/L. A concentração de DBO₅ foi de 13,4 mg/L neste período, bem abaixo do recomendado pelo Decreto 14.250/81 de Santa Catarina.



Tabela 5: Condições operacionais e valores médios obtidos no período de estudo do ensaio 4 (E-4).

Condições operacionais E-4	Valor	Variável (mg/L)	Afluente	Efluente	% Remoção
			Média ± σ^2 <i>n</i>	Média ± σ^2 <i>n</i>	Média ± σ^2 <i>n</i>
<i>Ciclos por dia</i>	<i>4 x 6 h</i>	DQO _{total}	493 ± 248 <i>n</i> = 3	99 ± 11 <i>n</i> = 3	76,7% ± 10,8
<i>Nº Enchimento</i>	<i>3</i>	NH ₄ -N	35,48 ± 5,9 <i>n</i> = 4	1,10 ± 2,3 <i>n</i> = 5	96,2% ± 7,1
<i>Volume dos enchimentos (L)</i>	<i>1 x 120 2 x 60</i>	NO ₂ -N	--	2,15 ± 1,9 <i>n</i> = 5	--
<i>Esgoto_{tratado} (L/dia)</i>	<i>960</i>	NO ₃ -N	--	3,6 ± 1,1 <i>n</i> = 5	83,3% ± 5,8
<i>Anóxico:Aeróbio (min)</i>	<i>143:152</i>	PO ₄ -P	29,9 ± 3,1 <i>n</i> = 4	11,6 ± 6,1 <i>n</i> = 5	62,8% ± 22,0
<i>A/M (kg DQO/kg ST.d)</i>	<i>0,29</i>	CaCO ₃	281 ± 17,0 <i>n</i> = 4	134 ± 23,2 <i>n</i> = 4	52,4% ± 8,4

Mesmo com baixas cargas de DQO_{total}, a concentração de amônia do afluente continuou elevada, variando de 32,7 a 40,5 mg/L, levando a uma relação de DQO:N de 150:10,8.

Os resultados das várias formas do nitrogênio mostram que no início do ensaio ainda havia uma concentração de 5,1 mg/L de amônia no efluente, evidenciando um problema na nitrificação, provavelmente ainda proveniente do ensaio anterior. É importante salientar que o tempo do ciclo de geração e crescimento das bactérias nitrificantes é lento, em torno de 21 dias, sendo necessários períodos longos para a retomada do processo microbiológico (METCALF & EDDY, 2003). Assim, após o dia 23 de agosto, o processo de nitrificação apresentou um excelente desempenho, dentro das condições operacionais testadas, alcançando valores de amônia próximos de zero no efluente. Entretanto, também se observa que os resultados de nitrito foram altos, variando de 1,0 a 5,5 mg/L, o que comprova que a nitrificação estava lenta.

Os resultados de nitrato conferem que houve um desnitrificação com percentagem média de 83%. A melhor eficiência foi no início desse ensaio, quando a nitrificação ainda estava com problemas. As concentrações de nitrato variaram de 1,7 a 3,7 mg/L.

Quanto a biodesfosfatação, somente no início da E-4 é que foi possível uma remoção significativa do fosfato, alcançando valor de 1,2 mg/L no efluente final. Este valor foi obtido no mesmo período em que houve problemas com a nitrificação, o que conseqüentemente diminuiu as concentrações de nitrato no meio líquido. Alcançou uma eficiência de remoção de fosfato de 95%.

No restante do período houve um acréscimo de fosfato na saída do reator. No período em que houve uma retomada da eficiência de nitrificação, isto é, um aumento na concentração de nitrato, o reator apresentou um aumento nos valores de fosfato no efluente final. O afluente apresentou valor médio nesse período de 31 mg/L e no efluente uma média de 14,3 mg/L, porém não se pode afirmar que houve uma biodesfosfatação, e sim que houve uma diluição ocorrida no momento da alimentação no reator.

Avaliação global dos ensaios

O objetivo deste trabalho consistiu em otimizar as condições operacionais do reator piloto RBS para efetuar a nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação. As variações das condições operacionais pesquisadas foram: carga orgânica volumétrica aplicada, número de ciclos por dia, duração das fases aeróbias e anóxicas/anaeróbias.

Dependendo das condições estabelecidas no reator, foram aplicados entre 900 e 1200 litros de esgoto por dia. O lodo ativado dentro do reator era mantido na média de 3.000 mgST/L, para que se mantivesse uma concentração dentro da faixa recomendada por METCALF & EDDY (2003).



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

O pH na entrada do sistema permaneceu na faixa de 6,20 a 7,19, já na saída do piloto (efluente final) variou de 6,14 a 7,47. No período em que o pH encontrava-se abaixo de 7,00 era adicionada cal virgem, para manter o pH em faixa boa de nitrificação, haja vista que as bactérias responsáveis por tal processo (autotróficas) são as mais sensíveis à pequenas variações de pH.

O oxigênio dissolvido (OD) na última fase de aeração variou de 1,66 a 5,25. O OD se manteve na faixa ótima para a nitrificação, recomendado por CYBIS & LEÃO (1997) e FERREIRA (2000).

A temperatura se manteve na faixa de 17,4 a 24,1°C, ressaltando-se que o período do ano foi outono e inverno, épocas mais frias na região, e ainda, que os valores máximos encontrados foram mensurados no início da tarde, próximo de 12 h (meio dia).

As grandes variações da carga orgânica e de nutrientes exigiram uma operação do reator ainda mais flexível, dificultando a comparação entre os diferentes ensaios estabelecidos. As elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal, por exemplo, implicaram em maior tempo das fases aeróbias, por outro lado, as altas concentrações de DQO_{total} facilitaram os processos de desnitrificação e biodesfosfatação.

A DQO_{total} apresentou médias do afluente que variaram de 493 a 1295 mg/L, identificando uma grande mudança nas características do esgoto utilizado como substrato. Pelos resultados de DQO_{total} efluente, 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. A figura 3 apresenta os resultados obtido no cálculo das eficiências de remoção de DQO_{total} e DBO_5 em cada ciclo. Os ensaios E-2 e E-3 apresentaram as maiores eficiências de remoção de DQO_{total} , haja vista que tiveram as maiores médias na DQO_{total} afluente. Para a DQO_{total} o RBS trabalhou com eficiência média acima de 82%, e verifica-se ainda que no E-3 houve uma eficiência média de 99% de remoção de DQO_{total} , evidenciando-se como o melhor ensaio em termos de remoção de carbono.

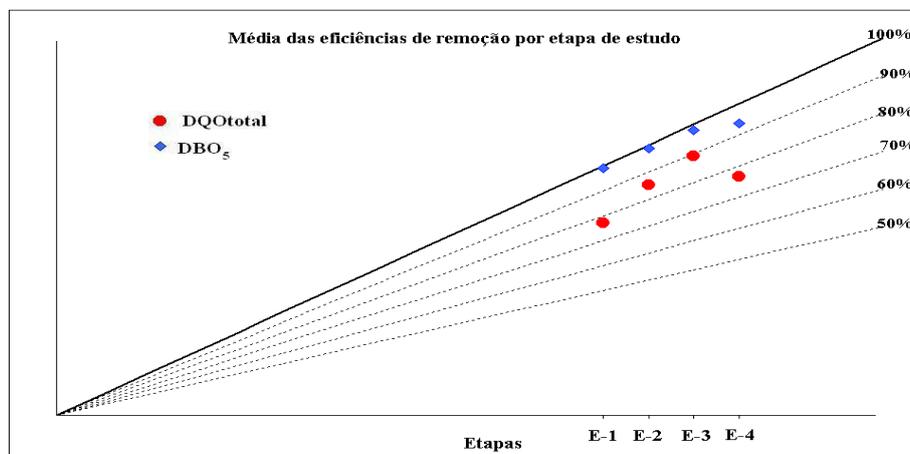


Figura 3: Médias das eficiências de remoção de DQO_{total} e DBO_5 em cada ciclo.

As médias da variável DBO_5 do afluente tiveram comportamento parecidos ao de DQO_{total} . A média da DBO_5 do afluente variou de 213 a 992 mg/L. Nos ensaios E-2 e E-3 foram encontrados os maiores resultados de DBO_5 para o afluente, fazendo com que nestes ensaios fossem encontradas as melhores eficiências de remoção de DBO_5 . Para o efluente a média de DBO_5 não ultrapassou 19,6 mg/L, ou seja, em todos os ensaios foram alcançados valores abaixo do recomendado pelo Decreto 14.250/81 de Santa Catarina, o qual exige concentração de DBO_5 abaixo de 60 mg/L ou 80% de remoção.

Ocorreram variações nas eficiências de nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação ao longo das diferentes estratégias testadas, devido às condições operacionais aplicadas e também pela composição do esgoto utilizado como substrato.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

Observou-se comportamento bastante variado das médias de amônia afluente ao longo dos ensaios testados, indicando novamente, grande mudança nas características do esgoto utilizado como substrato, mas independente da carga de amônia afluente o reator obteve uma nitrificação estável em todos os ensaios, alcançando médias de amônia abaixo de 5 mgNH₄-N/L, o que se torna condizente com o recomendado pela Resolução do CONAMA n° 357/05. Os maiores problemas operacionais do reator piloto foram 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 dos ensaios foi necessário adicionar aproximadamente 50 mgCa/m³ no esgoto durante o tratamento.

As médias de nitrito mantiveram-se constantes (< 1mgNO₂-N/L) nos dois primeiros ensaios, já nos ensaios E-3 e E-4 a média de nitrito foi maior que 1 mg/L, devido a problemas com a nitrificação ou ainda, devido a concentrações mais baixas de nitrato, confirmando que a nitrificação não se deu rapidamente até seu último estágio de oxidação. As médias de nitrato variaram bastante a cada ensaio, em decorrência das variações da eficiência de desnitrificação. No E-3 foi obtido a menor média de nitrato, 2,3 mg/L.

A figura 4 apresenta as eficiências calculadas para a nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação. Durante o período de estudo, o reator apresentou percentagem acima de 80% de desnitrificação para recuperar a alcalinidade suficiente para manter o pH equilibrado, com exceção do ensaio E-1.

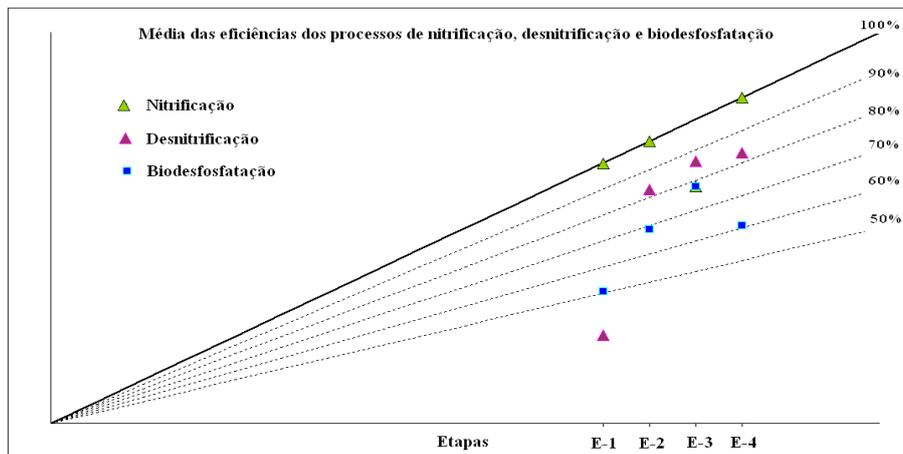


Figura 4: Médias das eficiências dos processos de nitrificação, desnitrificação e biodesfosfatação em cada ciclo.

Uma comparação entre os ensaios mostra a influência significativa da relação DQO:N de esgoto. Somente no E-3 foi observada uma desnitrificação estável com alta eficiência (86,6%). Neste ensaio, a relação entre o tempo das fases anóxicas:aeróbias foi de aproximadamente 1DN:1N e a relação de DQO:N de esgoto foi 15:1, correspondendo com o valor recomendado por METCAL & EDDY (2003).

Para o fosfato, o efluente do reator teve médias mínimas de 4,4 e máximas de 11,8 mg/L. A biodesfosfatação teve uma eficiência média de 64%, para todo o período estudado, com um aumento significativo no ensaio E-3, ao mesmo tempo em que houve grande eficiência na desnitrificação, verificando-se que a remoção de nitrato influencia na biodesfosfatação, ou seja, baixa concentrações de NO₃-N favorecem a eficiência da biodesfosfatação, como afirma MANNING & IRVINE (1985), IRVINE et al. (1987), ALÉM SOBRINHO & SAMUDIO, (2000) e MARCHETTO et al. (2003).

Resultados da microscopia ótica

Os flocos do material em suspensão no meio líquido formados ao longo dos ensaios desenvolvidos neste estudo foram observados no microscópio óptico. Algumas das imagens capturadas são apresentadas nas figuras 5 e 6. A grande maioria das bactérias do lodo ativado, com exceções das formas especiais e maiores como *Spirillum* e *Zooglea* ou bactérias filamentosas, não podem ser classificadas pelo microscópio óptico, pois possuem tamanhos e formas muito parecidas, podendo ser diferenciadas apenas pelo metabolismo ou geneticamente (HOFFMANN et al., 2001). A figura 5, por exemplo, apresenta prováveis colônias das bactérias nitrificantes, segundo JENKINS et al. (1993), que foram observadas ao longo dos ensaios. Colônias muito



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

parecidas com as encontradas são descritas por outros autores como bactérias que realizam a biodesfosfatação (KNOOP & KUNST, 1998).

O aparecimento de *Amebas nuas* e bactérias livres com alta frequência depois da estabilização da operação, como aconteceu no reator piloto, é um indicador de condições instáveis no funcionamento, provocado talvez, por intoxicação ou baixo pH durante a operação (HOFFMANN et al, 2001).

Durante todo o período em estudo, pode-se verificar que alguns protozoários e metazoários estiveram presentes em todas os ensaios, como *Vorticellas sp.*, *Epistylis sp.*, *Aspidisca sp.*, *Rotíferos sp.* e ainda muitas *Tecamebas*.

As observações microscópicas mostraram condições muito variadas ao longo dos ensaios realizados, havendo uma sucessão dos microrganismos à medida que os ensaios foram sendo estabelecidos, com uma melhor ou pior eficiência na remoção de DQO e nitrificação ao longo da pesquisa. Para esclarecer a função indicativa dos protozoários têm que ser considerado fatores operacionais (tempo das fases aeróbias e a concentração de oxigênio; tempo das fases anóxicas e o oferecimento de DQO facilmente degradável; carga orgânica volumétrica aplicada; pH e temperatura) e fatores “externos” a operação (composição específica do esgoto; relação C:N:P e substâncias tóxicas). Como os fatores operacionais e externos variaram com frequência, não foi possível determinar claramente, se uma mudança microbiana foi resultado de mudança na operação ou nas características do esgoto utilizado. Portanto, apenas os resultados gerais são discutidos.

As *Tecamebas* identificadas na figura 5 indicam condições estáveis de funcionamento (MADONI, 1994 *apud* CETESB, 1997), observou-se a grande presença deste organismo do final do ensaio E-1 e início do E-2. Esse período foi longo e não se obteve nenhum problema com a nitrificação. Na metade do ensaio 2, a concentração de amônia na saída do reator aumentou por alguns dias, porém as *Tecamebas* continuaram presentes no lodo até o ensaio posterior (E-3), onde a nitrificação diminuiu. Não se pode afirmar que realmente os organismos se encontravam vivos ou somente as cascas deles é que estavam presentes. Ressalta-se ainda, que as *Tecamebas* são extraídas do sistema somente quando ocorre a retirada do lodo em excesso, por isso, em sistemas com pouca retirada de biomassa a contagem pode não ter significância.

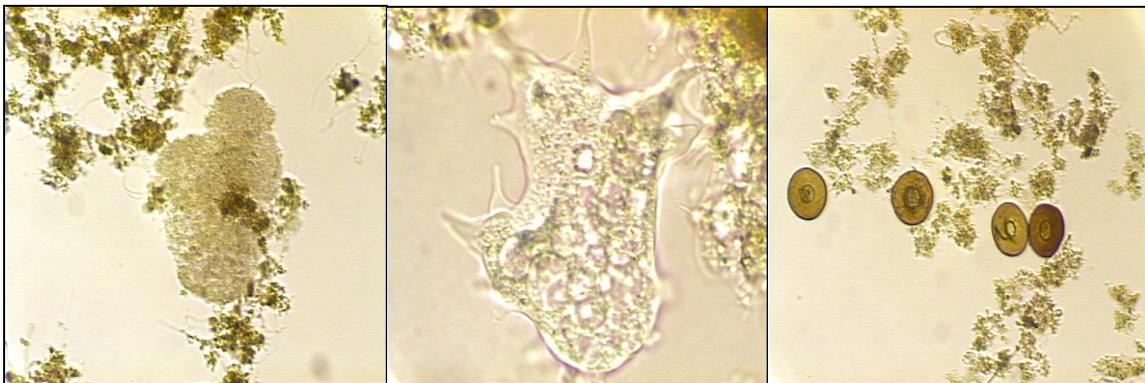


Figura 5: Da esquerda para a direita: (a) Possíveis bactérias nitrificantes, (b) *Ameba nua*, (c) *Tecamebas*.

A figura 6 apresenta alguns ciliados fixos nos flocos, especialmente a *Epistylis sp.*, os quais constituem um importante indício de boas condições de tratamento, especialmente na questão de oxigenação no meio líquido. As colônias de *Epistylis sp* são indicadoras de cargas orgânicas elevadas, aeração suficiente e ainda demonstram um sistema eficiente quanto à depuração do material carbonáceo (JENKINGS et al, 1993; CETESB, 1997). As *Vorticellas sp* que também estiveram presentes ao longo do estudo, são protozoários sensíveis à falta de oxigênio e a compostos tóxicos, portanto seu aparecimento indica condições estáveis. A presença desses ciliados fixos no tratamento provoca a clarificação do efluente final através da ação predatória sobre as bactérias livres (CANLER et al.,1999).

Verificou-se também a presença de ciliados livres, como a *Aspidisca sp*, ao longo dos ensaios, em menor ou maior quantidade, como mostra a figura 6. Esse tipo de organismo se alimenta de bactérias e partículas em



suspensão e indica a ocorrência de nitrificação no sistema (CETESB, 1997). Este protozoário aparece em condições estáveis de funcionamento, com baixa carga orgânica e elevado oxigênio, porém, ao contrário dos ciliados fixos identificados, a *Aspidisca sp.* pode sobreviver em condições menos estáveis. Foram observados casos onde esse organismo apareceu ao mesmo tempo em que as *Vorticellas sp.*, *Epistylis sp.* e *Amebas nuas* também foram encontradas (HOFFMANN et al., 2001).

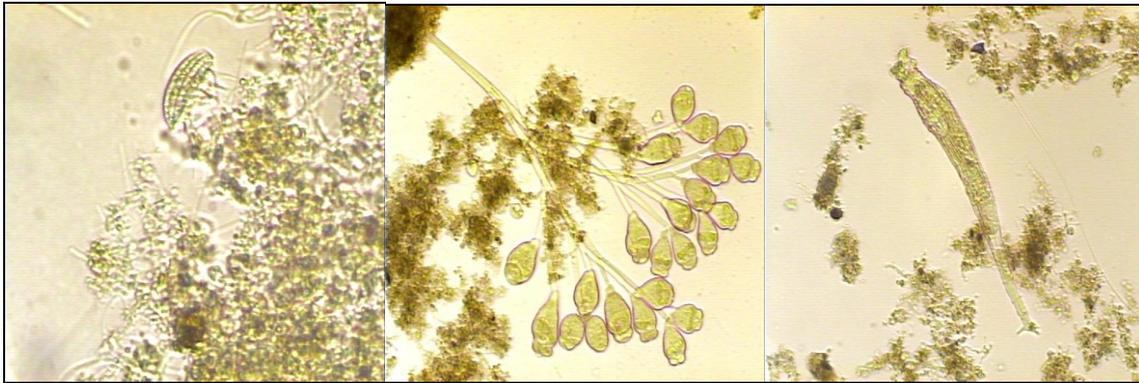


Figura 6: Da esquerda para a direita: (a) *Aspidisca sp.*, (b) *Epistylis sp.*, (c) *Rotífero sp.*

Ao longo de toda a pesquisa os *Rotíferos sp.* estavam presentes no lodo ativado, como mostrado na figura 6, sendo que ao final dos ensaios realizadas, especificamente nos ensaios E-3 e E-4, o lodo apresentou uma enorme quantidade desse metazoário, dando característica de idade de lodo elevada e condições estáveis de funcionamento. Nesse mesmo período, foi observada uma formação de flocos muito densos no caracterizando flocos parecidos com grânulos. Esses *Rotíferos sp.*, uma vez desenvolvidos, mostraram mais resistência contra a possível intoxicação existente do que os ciliados fixos e os ciliados predadores de flocos (*Aspidisca sp.*), fenômeno este, também observado por MARTINS (2003) em estudo com reator de leito fluidizado.

Todas as observações indicam a ocorrência de uma sucessão das populações da microbiota, com as condições operacionais impostas nesse estudo, não podendo ser excluído a ocorrência de intoxicação descontínua pela própria característica do esgoto utilizado como substrato. Essa intoxicação afetou também a nitrificação e ainda causou a morte dos ciliados fixos (*Vorticellas sp.* e *Epistylis sp.*) e o aparecimento com grande frequência de *Amebas nua*.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado o reator piloto de lodo ativado em batelada seqüencial mostrou-se como uma combinação muito eficiente no desempenho de remoção biológica de carbono, nitrogênio e fósforo de efluente doméstico, desde que adequadamente operado.

O RBS se apresentou estável quanto à remoção de carbono. Obteve uma remoção de DBO_5 acima de 93% (2 - 10 mg DBO_5 /L no efluente final) e remoção de DQO_{total} entre 77% e 89% (40 - 120 mg/L no efluente final) nas estratégias estudadas;

A eficiência da nitrificação variou de 85,7 a 99,9%, apresentando concentrações médias de nitrogênio amoniacal no efluente final abaixo do recomendado pela Resolução CONAMA nº 357/05 (< 20 mg NH_4 -N/L) em todos os ensaios realizadas;

O reator piloto apresentou eficiência de desnitrificação entre 27,7% e 86,6% ao longo de todo o estudo, com concentrações de nitrato no efluente final variando de 0,5 – 26,4 mg NO_3 -N/L;

A biodesfosfatação se mostrou mais estável no período em que a desnitrificação obteve as melhores eficiências (E-3, por exemplo), comprovando que os nitratos interferem no processo de remoção de fósforo. Ao longo do período analisado a biodesfosfatação alcançou eficiência média de 64%;



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

Independente das condições impostas, o sistema mostrou-se capaz de tratar cargas orgânicas volumétricas aplicadas compreendidas entre 0,72 a 2,14 kg.DQO/m³.d e tempo de ciclo de 4 e 8 horas. Portanto, o sistema piloto pesquisado apresenta-se como uma boa alternativa para o tratamento de efluentes domésticos que sofram grandes flutuações de carga;

Considerando o conjunto de variáveis analisadas e as diferentes condições operacionais impostas neste estudo, pode-se apontar como a relação mais eficiente na remoção conjunta de carbono, nitrogênio e fósforo o ensaio. Resumidamente, as condições operacionais desta estratégia foram: tempo de duração do ciclo de 6 horas, utilizando 3 enchimentos escalonados (150/75/75 litros cada enchimento), perfazendo um total de 1.200 litros de esgoto tratado por dia. Como o volume do primeiro enchimento é maior que os outros dois, o tempo da 1ª fase anóxica foi maior que os demais tempos. A fase sem reação biológica (fase de decantação + retirada) foi menor durante esse período, devido ao aparecimento de flocos bastante densos.

Em todos os ensaios, percebeu-se a influência direta das variáveis físicas (OD, pH e temperatura) e da qualidade do efluente (DQO/N/P) no desenvolvimento da biomassa e no aparecimento de determinados grupos de microrganismos, que atuam como indicadores positivos e negativos, comprometendo a eficiência do tratamento;

AGRADECIMENTOS: À CAPES pela concessão da bolsa de estudos e à empresa Rotária do Brasil Ltda. pelo fornecimento de todo material fornecido para este estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, DC, 20th Ed, 1998.
2. ARTAN, N.; WILDERER, P. A.; ORHON, D.; MORGENROTH, E.; ÖZGÜR, N. The mechanism and design of sequencing batch reactor systems for nutrient removal - the state of the art. Water Science and Technology, New York, USA, v. 43, n.3, p. 53-60, 2001.
3. CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. Microbiologia de lodos ativados. Diretoria de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia, Setor Treinamento, São Paulo, 1997.
4. CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução N°357, de 18 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mmagov.br/port/CONAMA/res/res357/res35705.html>>. Acesso em: 16/04/2005.
5. CYBIS, L. F. & LEÃO, C. S. Otimização do processo conjunto de nitrificação/desnitrificação em reator sequencial em batelada. I SIMPÓSIO INTERNAZIONALE DI INGEGNERIA SANITARIA AMBIENTALE. 1997. Anais. Ravello, 1997.
6. FERREIRA, E. S. Cinética química e fundamentos dos processos de nitrificação e desnitrificação biológica. XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS. 2000. Anais. Porto Alegre-RS, 2000.
7. GOVERNO DE SANTA CATARINA. Decreto n° 14.250, de 5 de junho de 1981. Regulamenta dispositivos da Lei n° 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à Proteção e a Melhoria da Qualidade Ambiental., no uso da competência privativa que lhe confere o artigo 93, itens I e II, da Constituição. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br/pesquisa/PesquisaDocumentos.asp>>. Acesso em: 10/10/2004.
8. HOFFMANN, H.; PELLIZZARO BENTO, A.; PHILIPPI, L.S. e BELLI FILHO, P. Utilização da imagem microscópica na avaliação das condições de operação - uma aplicação da experiência da Alemanha em estações de tratamento no Brasil. XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2001. Anais. João Pessoa Pb, 2001.
9. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento no Brasil. 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10/10/2004.
10. JENKINS, D.; RICHARD, M. G. e DAIGGER, G. T. Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. 2ª Ed. Michigan : Lewis Publishers, 1993.
11. KNOOP, S. e KUNST, S. Influence of temperature and sludge loading on activated sludge settling, specially on Microthrix Parvicella. Water Science and Technology. New York, USA, v. 37, n. 4-5, p. 27-35, 1998.



23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

12. LEE, S. E. et al. Comparison of phosphorus removal characteristics between various biological-nutrient removal processes. *Water Science and Technology*, New York, USA, v. 36, n. 12, p. 61-68, 1997.
13. MARTINS, C. L. Comportamento de Reator de Leito Fluidizado Trifásico Aeróbio Utilizando Diferentes Materiais Suporte. Florianópolis. 2003. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. 153 p.
14. MERK. Nitrato, Nitrito, Amônia. Frankfurter – Germany. Posfach 4119.
15. METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 4ª ed., McGraw-Hill, New York, USA, 1334 p., 2003.
16. 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.
17. 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, pp.314-321, 1998.
18. 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.
19. 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.
20. 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.