

## II-464 – TRATAMENTO AVANÇADO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS PELO PROCESSO DE CICLOS ALTERNADOS DE AERAÇÃO EM BIORREATOR A MEMBRANA

**Débora Jareta Magna<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela UNIVILLE. Mestre em Engenharia de Processos pela UNIVILLE.

**Francesco Fatone<sup>(2)</sup>**

Ph.D. em Biotecnologia Industrial e Ambiental pela Università degli Studi di Verona. Professor Assistente da Università degli Studi di Verona.

**Therezinha Maria Novais de Oliveira<sup>(3)</sup>**

Doutora em Engenharia de Produção pela UFSC. Professora do Mestrado em Engenharia de Processos da UNIVILLE.

**Noeli Sellin<sup>(4)</sup>**

Doutora em Engenharia Química pela UNICAMP. Professora do Mestrado em Engenharia de Processos da UNIVILLE.

**Mariele Simm<sup>(5)</sup>**

Engenheira Ambiental pela UNIVILLE. Mestranda em Saúde e Meio Ambiente pela UNIVILLE.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Piauí, 325/Apt. 102 - Bucarein - Joinville - SC - CEP: 89202-210 - Brasil - Tel: (47) 3455-3069 - e-mail: djmagna@hotmail.com

### RESUMO

A água é um recurso natural finito, que vem sofrendo com constante degradação. O despejo *in natura* dos efluentes domésticos e industriais nos corpos hídricos, o elevado crescimento urbano e a falta de infraestrutura urbana são alguns dos problemas responsáveis pela degradação da água. Tal fato tem sugerido o desenvolvimento e/ou melhorias dos sistemas de tratamento de efluentes. Neste sentido, um processo que vem sendo estudado e empregado é o de ciclos alternados acoplado em biorreator a membrana, que consiste de tratamento biológico (lodos ativados), sistema de aeração intermitente e controle automático, *on line*, por meio de sondas de oxigênio dissolvido e potencial de oxirredução. No presente trabalho avaliou-se o desempenho de um sistema de tratamento de efluentes por meio do processo de ciclos alternados de aeração em biorreator a membrana visando o reuso da água. A metodologia foi desenvolvida em dois períodos, variando-se a dosagem de produtos químicos, com a finalidade de se obter melhores concentrações de carbono, nitrogênio e fósforo no efluente na entrada da estação de tratamento, devido ao efluente em estudo ser bastante diluído. Os resultados apresentaram uma eficiente remoção de carbono e nitrogênio, com percentuais acima de 95% de remoção para carbono e acima de 78% para nitrogênio total, nos dois períodos de estudo. Já o fósforo, se comparado com a remoção de carbono e nitrogênio, apresentou baixa eficiência, fato que deve ser verificado com maior cautela. Apesar disso, tal processo de tratamento é considerado eficiente e permite o reuso da água com elevado padrão de qualidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reuso de água, Lodos ativados, Biorreator a membrana.

### INTRODUÇÃO

Praticamente, todos os usos da água bem como as alterações na qualidade ambiental, geram efluentes, que ao serem lançados direta ou indiretamente nos corpos hídricos em cargas superiores às capacidades naturais de assimilação, ocasionam a poluição (GEO Brasil, 2007).

Visando amenizar a problemática dos recursos hídricos, bem como a sua escassez nos grandes centros urbanos, nas últimas décadas tem surgido a necessidade de se aprimorar e/ou desenvolver sistemas de tratamento de efluentes que, além de garantir a remoção de matéria orgânica, sejam capazes de remover nutrientes (fósforo e nitrogênio), organismos patogênicos e compostos xenobióticos (SOBRINHO; SAMUDIO, 2003).

Dentre as diversas tecnologias existentes para a reutilização da água, desponta como promissora, o processo de tratamento de efluentes a ciclos alternados acoplado em biorreator a membrana. Esse sistema de tratamento



consiste de tratamento biológico (lodos ativados), sistema de aeração intermitente, controle automático, *on line*, por meio de sondas de oxigênio dissolvido (OD) e potencial de oxirredução (ORP) e filtração por membranas (ultrafiltração) (FATONE *et al.*, 2007).

Esse processo tem demonstrado ser muito eficiente na remoção de carbono e nitrogênio e recentemente, o processo de ciclos alternados foi reconhecido como método adequado para a modernização de estações de tratamento de efluentes já existentes (FATONE, 2006).

## METODOLOGIA

### ÁREA DE ESTUDO E ESTAÇÃO EXPERIMENTAL

A estação experimental de ciclos alternados em biorreator a membrana, na qual o estudo foi realizado, localiza-se na cidade de Treviso, região do Vêneto (Itália), e está situada junto à estação de tratamento integrado de efluentes e resíduos orgânicos do referido município.

A estação experimental (Figura 1) é alimentada continuamente com água residuária civil/mista amostrada à jusante da estação de tratamento de efluentes municipal, sendo sua vazão de entrada de 24 m<sup>3</sup>/d. O volume total do biorreator é de 22 m<sup>3</sup>, e a metade deste é destinada ao processo de ciclos alternados de aeração. Conforme descrito por Fatone *et al.* (2005), a alternância de ciclos aeróbicos e anóxicos revelam o final das fases de nitrificação e desnitrificação. Com a ajuda do dispositivo de controle automático, os dados dos dois parâmetros, OD e ORP, são processados, permitindo assim, a gestão do tratamento do efluente durante as referidas fases.



Figura 1: Estação experimental da cidade de Treviso (biorreator a membrana)

O biorreator é subdividido em quatro reatores em série com modalidade de fluxo “*up-flow*”. O volume de cada reator e a disposição dos mesmos pode ser visualizado na Figura 2.

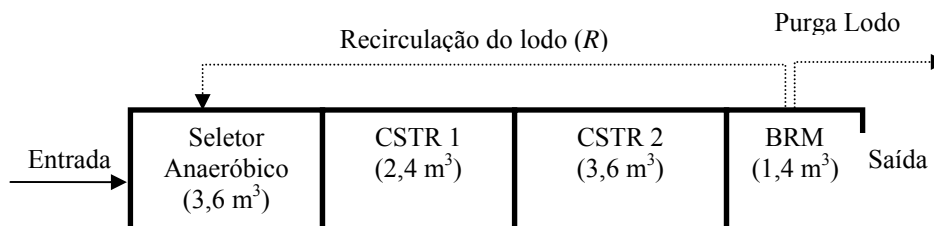


Figura 2: Fluxograma geral do biorreator



O primeiro reator é o compartimento do seletor anaeróbico, que tem como objetivo: verificar a ocorrência de desenvolvimento de organismos acumuladores de fósforo e de favorecer o desenvolvimento de bactérias formadoras de flocos, inibindo, assim, a formação daquelas filamentosas. O segundo e terceiro reatores CSTR1 e CSTR2 (reator contínuo perfeitamente agitado), funcionam pelo processo de ciclos alternados, com aeração ocorrendo em um único reator. O quarto reator corresponde ao compartimento das membranas, sendo suas principais características: membranas de fibra-oca, material polisulfona, confeccionadas em módulos industriais do tipo submerso, apresentam poros com dimensão nominal de 0,04  $\mu\text{m}$  e superfície total de filtração de 69,9  $\text{m}^2$ .

## AMOSTRAGEM E PERÍODOS DE ESTUDOS

As amostras foram coletadas na entrada e na saída da estação experimental e os parâmetros físico-químicos analisados, segundo a metodologia *Standard Methods* (APHA, 1998), foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total (Nt), Nitrogênio Amomiacal ( $\text{N-NH}_4$ ), Nitrito ( $\text{N-NO}_2$ ), Nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e Fósforo Total (Pt). As análises foram realizadas no segundo semestre de 2007, no laboratório situado nas dependências da estação de tratamento de efluentes da cidade de Treviso.

Foram realizados dois períodos de estudos com diferentes dosagens de produtos químicos na carga de entrada, objetivando melhores concentrações de carbono, nitrogênio e fósforo, uma vez que, efluentes diluídos, como da cidade de Treviso, interferem no processo de nitrificação e desnitrificação, prejudicando a remoção eficiente de matéria carbonácea, nitrogenada e fosfatada.

O primeiro estudo foi realizado com a dosagem de 150 L de carbono externo (*Liquefeed* – subproduto de destilação); 4,3 kg de fósforo sob a forma de sal diamônio fosfato ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) e 9,3 kg de nitrogênio sob a forma de sal cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ).

O segundo estudo foi realizado com a dosagem de 16,2 L de ácido acético 80% como fonte de carbono ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ); 1,580 kg de sal diamônio fosfato ( $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ) e 8,137 kg de sal cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ).

Durante os períodos de estudos, considerou-se a variação da vazão de recirculação do lodo ( $R$ ). Uma amostra do efluente foi coletada, na entrada e saída do biorreator, em cada mudança de ( $R$ ) para posterior análise laboratorial. Foram adotadas vazões de 1, 2 e 3  $\text{m}^3/\text{h}$  para os dois estudos. A variação da vazão de recirculação do lodo não apresentou resultados expressivos nos estudos realizados, sendo, uma das principais causas atribuídas a curta duração dos períodos estudados e, por esse motivo, não será abordada no presente trabalho. A citação de ( $R$ ) durante a discussão dos resultados se deverá, apenas, à mudança da fase de estudo.

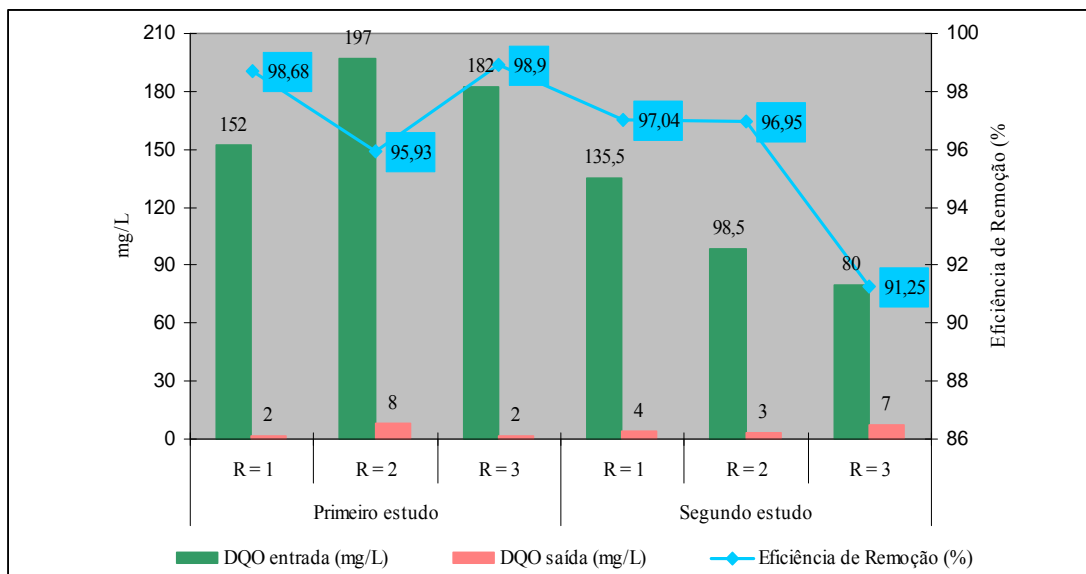
Em função do estudo ter sido desenvolvido na Itália, será utilizado como referência o Decreto Ministerial nº. 185, de 12 de junho de 2003, regulamento italiano que apresenta normas técnicas para reutilização de águas residuárias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os três poluentes (carbono, nitrogênio e fósforo) nos dois períodos de estudos, o primeiro, com a adição de *Liquefeed*, como carbono externo e sais de diamônio fosfato e cloreto de amônio, bem como o segundo estudo, com adição de ácido acético 80% como carbono externo e sais de diamônio fosfato e cloreto de amônio, podem ser observados de acordo com cada macropoluente estudado.

### CARBONO (DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO – DQO)

Os valores das concentrações das amostras de entrada e saída do biorreator nos dois períodos de estudos e as eficiências de remoção de DQO são apresentados na Figura 3.



**Figura 3: Concentração de DQO entrada, DQO saída e eficiência de remoção da carga orgânica**

De acordo com a figura 3, no primeiro período de estudo, em que se fez uso do subproduto à base de carbono *Liquefeed*, e de nutrientes, o sistema apresentou elevada remoção de carga orgânica, com percentuais acima de 95%. A ligeira diminuição da eficiência de remoção, com  $R = 2 \text{ m}^3/\text{h}$ , deve-se à fração inorgânica, ou seja, a fração não biodegradável de sólidos no biorreator, que foi mais elevada, e que se encontram presentes no efluente da cidade de Treviso.

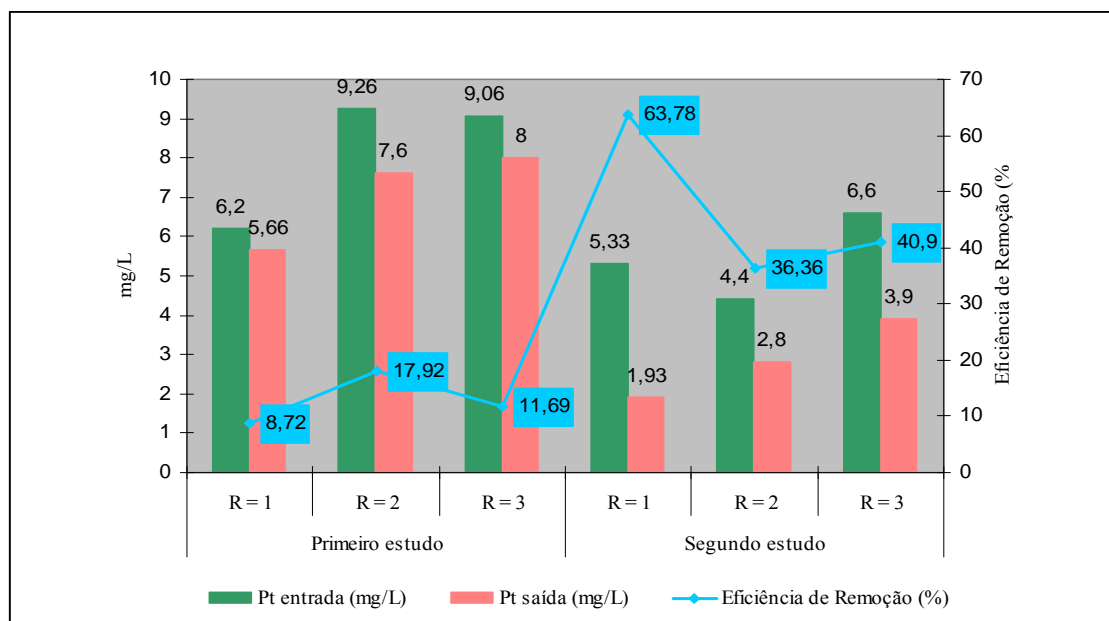
O segundo estudo foi realizado dosando-se ácido acético 80% como fonte de carbono, além de nutrientes. O sistema apresentou valores de eficiência acima de 90%, porém mais baixos do que os observados no primeiro estudo. Com  $R = 3 \text{ m}^3/\text{h}$ , a eficiência de remoção de carga orgânica foi de 91,25%, valor mais baixo encontrado durante o período, fato atribuído à elevada presença de carbono não biodegradável no efluente.

Outro fato verificado durante o segundo estudo foi a queda nos valores de DQO de entrada, o que influenciou na diminuição da eficiência de remoção durante as três fases observadas. Esse fato pode ser atribuído à menor concentração de ácido acético que entrava na estação experimental, causado pela volatilização do mesmo durante a preparação das dosagens dos produtos (ácido acético + nutrientes) no tanque de equalização.

Nos dois casos estudados, verifica-se que os valores obtidos para DQO de saída atendem ao Decreto Ministerial Italiano nº. 185/2003, que impõe valor limite de 50 mg/L para a prática de reutilização da água, destinados a três usos: irrigação, civil e industrial.

### FÓSFORO TOTAL (Pt)

Os valores obtidos para fósforo total durante os dois estudos são apresentados na Figura 4.



**Figura 4: Concentração de Pt entrada, Pt saída e eficiência de remoção de fósforo total**

De acordo com a figura 4, no primeiro estudo, com a dosagem de produto *Liquefeed*, como fonte de carbono, e nutrientes, observa-se que o sistema apresentou valores mais baixos de remoção de fósforo se comparado com o segundo estudo, o que poderia ser explicado pela fonte de carbono utilizada, não considerada ideal para o desenvolvimento do fenômeno *Luxury Uptake*. Segundo Imhoff (1996), o lodo, quando mantido isolado durante certo período de tempo, assimila uma elevada quantidade de fósforo na fase aeróbica, ou seja, utilizam todo o fosfato liberado mais um adicional que está presente no esgoto bruto. Essa capacidade dos organismos acumuladores de fósforo em armazenar mais fosfato do que liberam é denominada *Luxury Uptake*. Com isso, pode-se dizer que a remoção de fósforo foi realizada pela assimilação celular na biomassa, já que a presença de organismos acumuladores de fósforo era limitada.

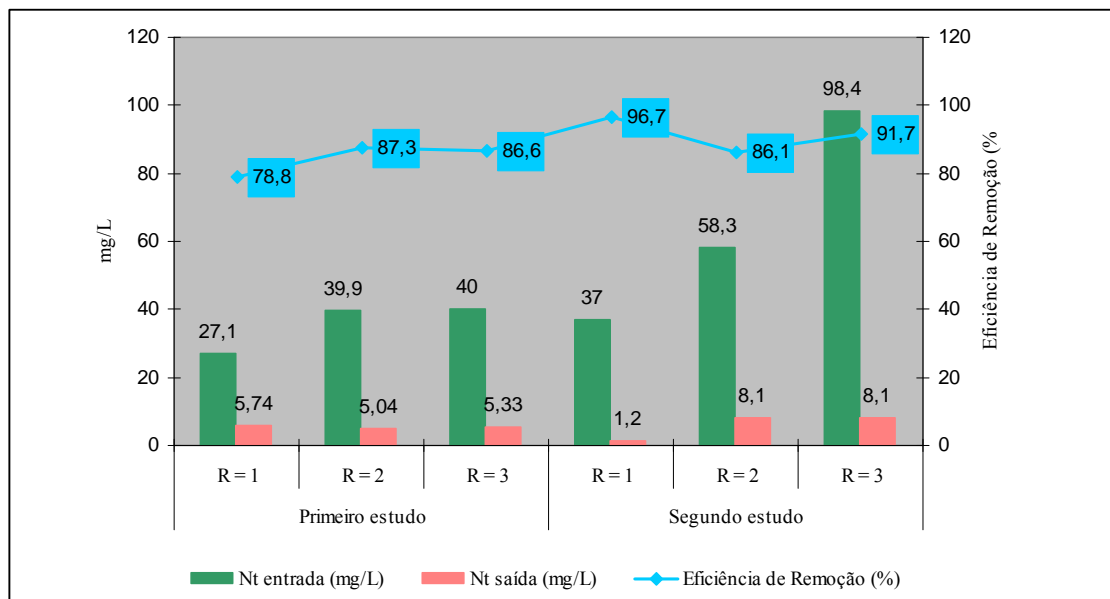
O segundo estudo, realizado com a dosagem de ácido acético, como fonte de carbono, e nutrientes, apresentou os melhores valores de eficiência de remoção de fósforo, o que pode ter ocorrido devido à fonte de carbono, um ácido graxo volátil, favorecer o fenômeno *Luxury Uptake*, fato esse já verificado em estudos realizados anteriormente por Fatone (2006).

A eficiência de remoção de fósforo variou durante os períodos de estudo, apresentando melhor desempenho com a dosagem de ácido acético, além da utilização de membranas de ultrafiltração, que são indicadas para as operações de remoção de fósforo (METCALF; EDDY, 1991). Verificou-se, também, que os valores de eficiência de remoção de fósforo apresentaram-se no intervalo, ou superior, de 10-30%, valores recomendados por Metcalf e Eddy (1991), para a remoção biológica de fósforo em tratamento secundário.

Para a prática de reuso das águas residuárias, de acordo com o Regulamento Italiano n°. 185/2003, os valores de fósforo de saída não atingiram o valor desejado e permissível para tal prática, que é de  $\leq 2$  mg/L. A única fase que atendeu ao requisito do referido regulamento foi o segundo estudo, com  $R = 1$  m<sup>3</sup>/h.

## NITROGÊNIO TOTAL (Nt)

Os valores de concentração de entrada e saída do nitrogênio total no biorreator, bem como a eficiência de remoção nos dois estudos são apresentados na Figura 5.



**Figura 5: Concentração de Nt entrada, Nt saída e eficiência de remoção de nitrogênio total**

A adição de produtos químicos, no caso da remoção de nitrogênio, é necessária quando as águas residuárias apresentam baixa relação C/N, como é o caso do efluente da cidade de Treviso. A adição de carbono é a prática habitual para se obter uma melhor remoção de nitrogênio (FATONE *et al.*, 2006a).

De acordo com a figura 5, verifica-se que os valores de nitrogênio total variaram ao longo dos dois períodos de estudo. Observou-se que os valores de nitrogênio total de saída do sistema foram baixos, encontrando-se dentro dos limites para a prática de reutilização da água tratada, segundo o Decreto Ministerial Italiano nº. 185/2003, o valor permissível para a prática de reutilização com relação ao nitrogênio total é  $\geq 15$  mg/L.

Comparando-se os dois estudos, observa-se que o primeiro, em que foram dosados os produtos *Liquefeed* e nutrientes, apesar dos valores de nitrogênio total apresentarem-se baixos, o sistema de tratamento não respondeu tão bem quanto ao segundo estudo (com uso de ácido acético e nutrientes) que apresentou melhores valores de eficiência de remoção, fato este que pode ser atribuído à fonte de carbono utilizada, considerada de fácil assimilação. Pode-se verificar que mesmo com uma concentração de 98,4 mg/L, na fase  $R = 3$  m<sup>3</sup>/h, o sistema de tratamento pelo processo de ciclos alternados foi muito eficiente, garantindo uma elevada qualidade do efluente de lançamento.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nos períodos estudados pode-se concluir que, quanto à remoção da carga orgânica, verificou-se elevada flexibilidade do processo de ciclos alternados em biorreator a membrana com as constantes variações de carga observada durante os estudos. Apesar disso, o sistema garantiu um efluente, na saída do biorreator, em conformidade com o Decreto Ministerial Italiano nº. 185/2003 para a prática de reuso de água. A dosagem dos produtos químicos *Liquefeed* e nutrientes se mostraram melhor para a eficiência de remoção da carga orgânica.

As eficiências de remoção de nitrogênio total mostram-se satisfatórias. Isso se deve à elevada flexibilidade do controle automático do processo de ciclos alternados, que é capaz de adaptar-se às diversas condições de carga afluyente ao biorreator, favorecendo as condições necessárias para a oxidação da matéria nitrogenada, garantindo um efluente de acordo com os parâmetros de reuso, segundo o Decreto Ministerial Italiano nº. 185/2003. Com relação à dosagem de produtos químicos, a fase com ácido acético foi a que melhor apresentou eficiência de remoção.

Quanto à eficiência de remoção de fósforo, essa apresentou constante oscilação durante os períodos estudados, não atendendo à legislação italiana para a prática de reuso da água, com exceção da fase  $R = 1$  m<sup>3</sup>/h, do segundo estudo. No que diz respeito à remoção de fósforo, verifica-se a necessidade de maiores estudos que





envolvam novas condições operativas e de gestão eficiente de remoção de fósforo pelo processo de ciclos alternados em biorreator a membrana.

Para que o desempenho do processo de tratamento em cada estudo fosse avaliado com maior clareza, recomenda-se que os períodos de estudo sejam mais longos, a fim de se ter certeza do real comportamento do processo de tratamento em cada situação, bem como a real influência da variação da vazão de recirculação do lodo em cada caso.

Durante o trabalho, buscou-se verificar os valores de emissão dos poluentes na saída do sistema de tratamento com os valores permissíveis para o reuso da água segundo a legislação italiana em vigor. Não foi possível fazer tal verificação com a legislação brasileira (Resolução nº. 54/2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos), por esta ainda não apresentar limites permissíveis para a prática do reuso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FATONE, F. *et al.* Removal of nutrients and micropollutants treating low loaded wastewaters in a membrane bioreactor operating the automatic alternate cycles processes. *Desalination*. v. 183, 2005. p. 395 – 405.
2. FATONE, F. Advanced wastewater treatment by membrane bioreactor operating the alternate cycles process. 2006. Tese de Doutorado (Especialização em biotecnologia molecular, industrial e ambiental). Università degli Studi di Verona.
3. FATONE, Francesco *et al.* Application of a membrane bioreactor for the treatment of low loaded domestic wastewater for water re-use. *Water Science & Technology*. v. 53, n. 9, 2006a. p. 111 – 121.
4. FATONE, Francesco *et al.* Operation and maintenance of full-scale municipal membrane biological reactor: a detailed overview on a case study. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46 (21), 2007. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/Cgi-bin/abstract.cgi/iecred/2007/46/i21/abs/ie0616848.html>>. Acesso em: 15 out. 2007.
5. GEO BRASIL. Recursos hídricos – componente da serei de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Agência Nacional de Águas, Programa das Nações Unidas para o Ambiente. Brasília: MMA, ANA, 2007. 246p.
6. IMHOFF, Karl e Klaus. Manual de tratamento de águas residuárias. Editora Edgard Blücher: São Paulo, 1996. 310p.
7. ITÁLIA. Decreto Ministerial, nº. 185, de 12 de junho de 2003. Regulamento que apresenta normas técnicas para reutilização de águas residuárias em atuação do artigo 6, parágrafo 2, do decreto legislativo n. 152, de 11 de maio de 1999.
8. METCALF & EDDY, Inc. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuso. ed.3. Revised by George Tchobanoglous, Frank Burton (p. cm Mc Graw-Hill series in water resources and environmental engineering), 1991. 1334p.
9. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. Washington: American Public Health Association, 1998.
10. SOBRINHO, P. A; SAMUDIO, E. M. M. Estudo sobre remoção biológica de fósforo de esgoto sanitário, através do processo de lodos ativados operado em batelada. 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 2003. Anais. Natal RN, 1999.