

**17º
congresso
brasileiro
de engenharia
sanitária
e ambiental**

*Natal / RN
19 a 23/09/93*

V.2 |
TRABALHOS TÉCNICOS
TOMO II



ABES

TEMA CENTRAL
San esamento Ambiental
Ação de Saúde Pública

ANAIS DO 17º CONGRESSO
BRASILEIRO DE ENGENHARIA
SANITÁRIA E AMBIENTAL

NATAL - RN, 19 a 23 de setembro de 1993.

Vol.2 - Trabalhos Técnicos - Tomo II

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ.

C759a Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Am-
biental (17. : 1993 : Natal, RN)
Anais / do 17. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 2, tomo II ; promo-
ção ABES-Associação Brasileira de Engenharia San-
tíaria e Ambiental ; realização ABES Seção Rio Gran-
de do Norte. — Rio de Janeiro : ABES, 1993

Conteúdo: v.2 t.II. Trabalhos técnicos
ISBN 85-7022-110-X

1. Engenharia ambiental - Brasil - Congressos.
2. Engenharia sanitária - Brasil - Congressos. I.
Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Am-
biental. II. Título.

93-0805

CDD - 628.06081
CDU - 628:061.3(81)

**REATORES BIOLÓGICOS DE LEITO FLUIDIFICADO NO
PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO**

Jorge Hamada
José Roberto Campos

(*)
(**)

CURRÍCULO

- (*) Engenheiro Civil, Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos-USP e Professor Assistente Doutor do Departamento de Engenharia Mecânica da UNESP - Campus de Bauru, São Paulo, Brasil.
- (**) Engenheiro Civil, Doutor em Hidráulica e Saneamento, Professor Associado do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC-USP, consultor e autor de inúmeros trabalhos e projetos no Brasil e na América Latina, abordando tratamentos de águas residuárias.

RESUMO

Processos biológicos têm potencial muito grande para remover contaminantes, que são pouco afetados em tratamento convencional de águas para abastecimento, tais como determinadas formas de substâncias orgânicas biodegradáveis, assim como alguns inorgânicos, e determinados orgânicos sintéticos, adicionalmente atenuando ou eliminando o sabor e o odor das águas.

O presente trabalho descreve os resultados obtidos na operação de uma instalação-piloto composta por dois reatores biológicos de leito fluidificado em série (aeróbio seguido de anárquico), contendo areia como meio suporte, empregados como pré-tratamento de águas para abastecimento.

A instalação foi operada com tempos teóricos médios de detenção hidráulico (V/Q) máximo de 13,8h, médio de 3,43 h e mínimo de 1,14 h, para taxas de aplicação superficial entre 192,7 e 298,6 m³/m².dia e expansões entre 11,5 e 21,0%. Para as condições específicas da pesquisa, verificou-se a viabilidade do sistema, quando comparado às condições de mananciais utilizados no abastecimento de água, cujo valor da DQO apresenta-se normalmente inferior a 60 mg/l. Para concentrações de OD no afluente próximas à da saturação, podem ser esperadas remoções acima de 80% para reatores com altura de leito expandido de até 1,50 m. Verificou-se eficiência na remoção de NTK, e, durante a fase final de operação, quando a concentração média afluente foi de 8,71 mg/l, o efluente apresentou uma média de 1,75 mg/l, correspondendo a uma eficiência de 80%. O sistema também foi bastante eficiente na desnitificação (quase completa), observando-se concentrações próximas a zero, em termos de nitrogênio de nitrato, no efluente do reator anárquico. Relativamente às substâncias húmidas, foram verificadas remoções médias entre 23,0 e 37,7%, sendo influenciado, principalmente, pelas limitações impostas na oxigenação, mostrando que o processo de degradação/transformação ocorreu predominantemente por via aeróbica.

0853415

288

SYSNO 0853415
PROD 003510

ACERVO EESC

REATORES BIOLÓGICOS DE LEITO FLUIDIFICADO NO PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO

RESUMO (continuação)

O presente trabalho mostra também os resultados obtidos na avaliação do comportamento hidráulico dos reatores através de parâmetros em que se destacam o tempo de residência experimental médio, as frações de segmentos em "plug-flow" e em mistura completa, assim como o número destes segmentos em série, para os dois leitos biológicos.

ENDEREÇO: (*) Departamento de Engenharia Mecânica
Universidade Estadual Paulista
Campus de Bauru
Av. Engº Luiz Edmundo Carrijo Coube, s/nº
17033 Bauru-SP

INTRODUÇÃO

Processos biológicos poderão tornar-se parte essencial no tratamento de águas para abastecimento durante os próximos 10 anos, sendo que os mesmos já são largamente empregados no oeste europeu (BOUWER *et al.*, 1988). Os processos biológicos têm potencial muito grande para remover contaminantes que são pouco afetados em tratamento convencional, tais como substâncias orgânicas biodegradáveis, compostos orgânicos sintéticos, amônia e nitrato.

Com o objetivo de minimizar a presença de compostos orgânicos biodegradáveis, assim como alguns inorgânicos, adicionalmente atenuando ou eliminando o sabor e o odor das águas, alguns processos biológicos são utilizados na Europa, destacando-se sistemas aplicados como pré-tratamento de águas para abastecimento (RITTMANN, 1990). A maior parte desses processos apresentam películas biológicas em meio suporte, reconhecidamente vantajosos quando aplicados na biodegradação de substratos à baixas concentrações, como nos casos de águas para abastecimento.

Reatores biológicos de leito fluidificado apresentam bom desempenho na remoção de compostos inorgânicos como amônia, nitrito e nitrato e orgânicos biodegradáveis, em função das características granulométricas e hidráulicas, permitindo um acúmulo maior de biomassa ativa para um tempo de detenção hidráulico relativamente baixo. Estudos conduzidos previamente por CAMPOS (1989) acerca dos reatores de leito fluidificado, demonstraram os aspectos vantajosos deste processo, principalmente na remoção de DQO e Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK).

Um dos trabalhos pioneiros acerca da remoção de compostos nitrogenados em sistemas semelhantes, foi realizado em 1981 por GAUNTLETT (1981), empregando instalação-piloto de leito fluidificado, contendo areia com tamanho variando entre 0,05 e 0,15 mm e taxa de aplicação superficial de 24 m/h, obtendo remoção de 95% de amônia da água do rio Tamisa, em que a concentração de Nitrogênio amoniacal variava entre 2 e 3 mg/L. O tempo de detenção com valor inferior a 10 minutos mostrou-se apropriado para o trabalho de GAUNTLETT. A desnitrificação biológica pode também ser realizada em quaisquer dos reatores mencionados, somente que deve ser estabelecida condição anóxica para que ocorram as reações requeridas no processo. A eficiência global de um sistema de nitrificação-desnitrificação pode variar entre 70 e 95%.

Contudo a presença de biomassa, associada à existência de caminhos preferenciais, podem influenciar na variação do tempo de residência de espécies químicas envolvidas, em função dos efeitos de degradação e adsorção pela película biológica, resultando em valores distintos daqueles adotados muitas vezes em projetos, geralmente como sendo a relação volume/vazão.

O presente trabalho descreve os resultados obtidos na operação do sistema composto por dois reatores de leito fluidificado em série, contendo areia como meio suporte. O primeiro reator, aeróbio, foi empregado primariamente nas oxidações de matéria orgânica e NTK (Nitrogênio Total Kjeldhal) e o segundo, operando em condições anóxicas, empregado para promover principalmente a desnitrificação. Além dos parâmetros qualitativos do meio líquido, foi avaliado o comportamento hidráulico específico de cada leito de areia, com e sem película biológica. Para condução da pesquisa, os reatores foram alimentados com água preparada artificialmente contendo concentrações de alguns contaminantes característicos de mananciais considerados impróprios ao tratamento convencional.

MATERIAIS E MÉTODOS

A concepção básica dos reatores incluiu: câmara de admissão do afluente, placa difusora, grade suporte, camada suporte (30,0 cm) de esferas de vidro, pedrisco e areia grossa, seguido pelo leito de areia (altura de 2,0 m) com grãos de tamanho efetivo de 0,31 mm. O corpo tubular em acrílico de cada reator ($D = 8,7$ cm) era composto por segmentos flangeados, seguido por decantador de topo para retenção de areia.

A Figura 1 apresenta esquematicamente a instalação-piloto e o fluxo preferencial de fluidos adotado. O sistema foi operado em quatro fases, identificadas pelas respectivas características principais, mostrada no Quadro 1.

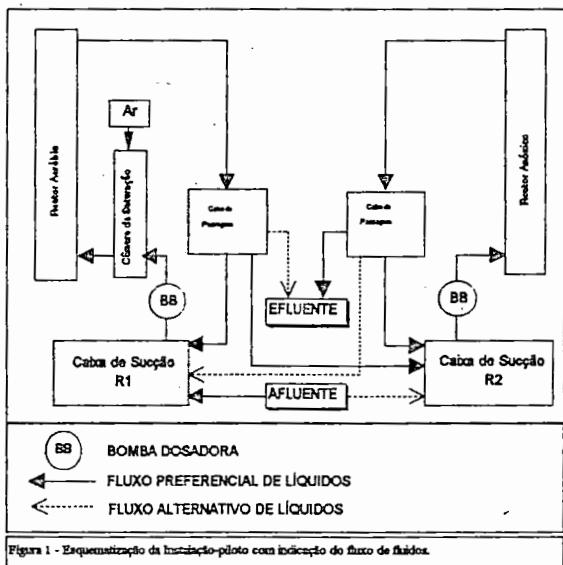


Figura 1 - Esquematização da instalação-piloto com indicação do fluxo de fluidos.

A velocidade ascensional média observada para as condições normais efetivas de operação para o reator aeróbio, foi de 246,60 m/dia, com a máxima de 298,55 m/dia e mínima de 192,74 m/dia. O reator anóxico foi operado com uma velocidade ascensional média de 220,95 m/dia, mínima de 199,03 m/dia e máxima de 254,02 m/dia em condições normais efetivas de operação. Para as vazões média de 17,48 l/h, mínima de 4,34 l/h e máxima de 52,48 l/h, o sistema trabalhou com tempos médios de detenção hidráulico teórico (V/Q) de 3,43 h; 1,14 h e 13,8 h, respectivamente.

A razão de recirculação nos reatores, dada pela relação entre a vazão de recirculação e a vazão de alimentação do sistema, apresentou um valor máximo de 15,9 para o reator aeróbio e 13,83 para o reator anóxico. Os valores mínimos foram de 1,34 para o reator aeróbio e 1,14 para o reator anóxico. As razões de recirculação consideradas adequadas para o sistema, situaram-se em torno de 1,85 para ambos os reatores. Valores menores resultaram na diminuição progressiva da eficiência do sistema.

Para avaliação dos parâmetros de comportamento hidráulico, tais como tempo de residência experimental médio, frações de segmentos em "plug-flow" e em mistura completa, assim como o número destes segmentos em série, para os dois leitos biológicos, foram introduzidas substâncias

Quadro 1 - Fases de operação do sistema e características principais.

FASES	VELOCIDADE AS- CENCIONAL MÉDIA		VAZÃO MÉDIA NO SISTEMA	ATIVIDADES
	Reator Aeró- bio	Reator Anó- xico		
1	252,40	228,21	5,20	Inoculação; adequação do sistema e verificação das necessidades nutricionais.
2	233,86	225,58	10,95	Adaptação biológica; inversão dos reatores, com o anóxico à frente do sistema; e nitrificação parcial com acumulação de nitrito.
3	239,83	217,96	12,31	Modo padrão de operação com o reator aeróbio novamente à frente do sistema; e nitrificação quase completa.
4	252,82	215,37	28,73	Ínicio da adição de etanol; desnitrificação; e verificação dos limites operacionais.

húmicas concentradas na base dos leitos na forma de funções pulso.

O tempo de residência experimental (t_e) pode ser obtido pela formulação discretizada:

$$t_e = \frac{\sum_{i=0}^T t_i \cdot C_i \Delta t_i}{\sum_{i=0}^T C_i \Delta t_i}$$

em que t_i : tempo decorrido desde a introdução da solução concentrada na base do leito (min)

C_i : concentração relativa de substâncias húmicas no efluente (mg/l)

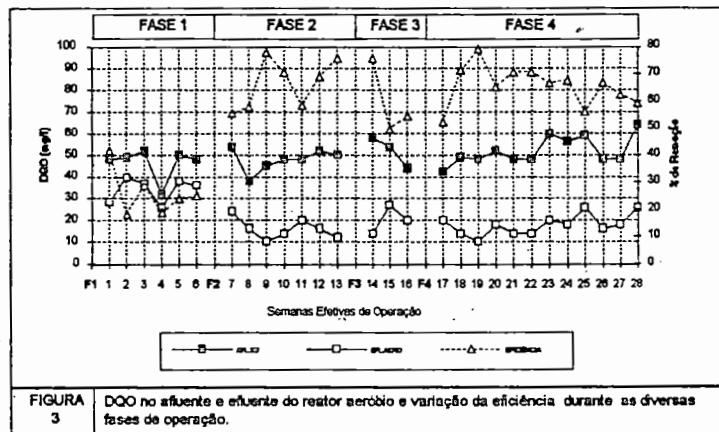
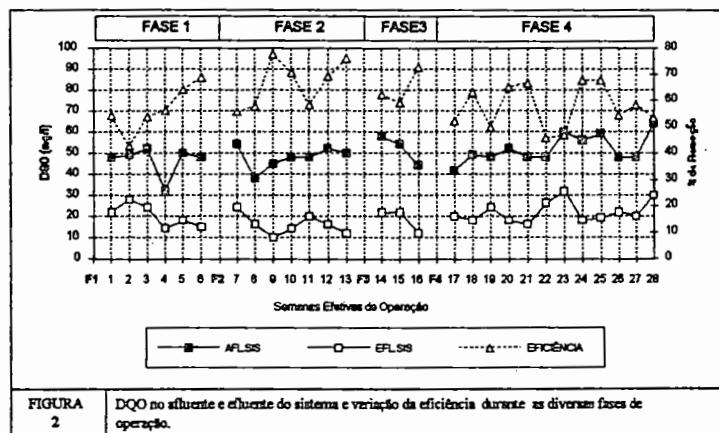
Δt_i : intervalo de tempo entre as amostragens

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apesar do baixo consumo de oxigênio dissolvido, verificado no inicio de operação (Fase 1), observou-se que o elevado tempo de detenção hidráulico teórico médio, de 11,5 horas, foi suficiente para permitir um aumento contínuo das atividades microbianas, obtendo-se remoções de DQO de até 70%. Posteriormente (Fase 2), foram observadas remoções de até 78%, quando o tempo de detenção hidráulico teórico médio no sistema foi de 5,48 h. Durante um período de dois meses procedeu-se experimentalmente a inversão provisória dos reatores, quando o tempo de detenção teórico médio no sistema foi de 4,87, observou-se a manutenção das condições verificadas anteriormente, em relação à remoção de DQO e o desenvolvimento de bactérias que oxidam o ion amônio, com acúmulo significativo de nitrito no sistema. Durante a Fase 4 de operação, verificou-se queda na eficiência do sistema, considerando-se exclusivamente a qualidade do afluente e efluente, resultante do emprego de excesso de etanol no reator anóxico. A princípio a queda na eficiência também esteve relacionada à elevação gradativa da vazão afluente, com redução do tempo de detenção hidráulico médio no sistema, em até 1,14 h.

A Figura 2 ilustra as variações de DQO afuente e efluente do sistema, assim como as eficiências desenvolvidas. A eficiência do sistema ficou comprometida em função das condições limitantes de oxigenação do leito aeróbio. A variação da DQO entre o afuente e efluente do reator aeróbio, assim como a eficiência representada por essa variação é mostrada na Figura 3.

Durante a Fase 4, observaram-se remoções de DQO acima de 60 %, para um tempo de detenção teórico no leito, situado entre 7,5 e 8,0 minutos. Medições de OD ao longo do leito permitiram, concluir que efetivamente, a fração ativa aeróbicamente, situava-se a até 1,0 a 1,5 m, restando uma coluna de até 1,0 m, que se devidamente oxigenada poderia elevar significativamente a eficiência do leito na remoção de DQO. O maior limitante do sistema em termos de atividade aeróbica, sem dúvida, esteve associada a aeração do reator.



O reator anóxico apresentou-se bastante instável em termos de remoção de DQO, atingindo picos acima de 60%, durante a Fase 2, quando foi operado à frente do sistema, sob condições predominantemente aeróbias. Durante a Fase 4, quando verificou-se condições efetivamente

anóxicas, o reator removeu DQO, relativo ao etanol adicionado na caixa de sucção do mesmo, chegando a apresentar uma eficiência máxima de 52%. Apesar da eficiência não ser muito grande, não ocorreu o comprometimento da qualidade do efluente final, uma vez que o excesso de etanol correspondeu a um aumento de biomassa no leito para sua degradação.

Durante a Fase 2 verificou-se o desenvolvimento de bactérias que oxidam o íon amônio, com acúmulo significativo de nitrito no sistema. A Fase 3 correspondeu à nitrificação completa, com desenvolvimento de bactérias que oxidam o nitrito, como se observa na Figura 4. Durante a Fase 4 foi implantado uma unidade complementar para adição de etanol como fonte de Carbono, para o desenvolvimento pleno de bactérias desnitrificantes.

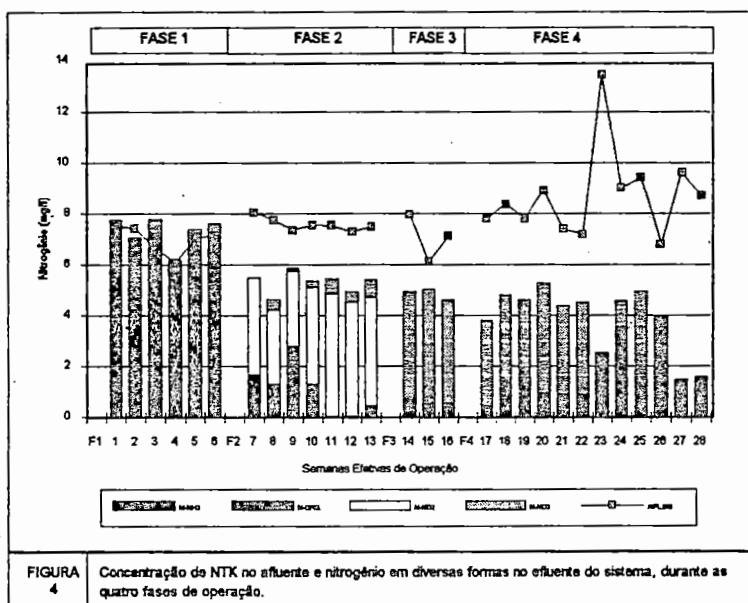


FIGURA 4

Concentração de NTX no efluente e nitrogênio em diversas formas no efluente do sistema, durante as quatro fases de operação.

Problemas operacionais dos reatores de leito fluidificado, estiveram associados às características dimensionais, próprias de instalações-piloto, dificultando o controle da pressão na câmara de dissolução de ar, regulada por um registro de agulha. Essas condições operacionais não permitiram elevadas concentrações de oxigênio dissolvido no reator aeróbio, resultando no acúmulo de nitrogênio amoniacal no efluente do sistema, durante as semanas 23, 24, 25 e 26.

Durante as fases em que predominaram as reações bioquímicas da nitrificação, sem a correspondente desnitrificação, a alcalinidade no efluente do sistema foi significativamente baixa. Essa condição pode ser explicada considerando-se, as equações de oxidação e síntese da nitrificação descritas por PAINTER (1970), em que se observa a produção de íon H^+ e o consumo de dióxido de Carbono. Essas reações normalmente se realizam em valores de pH menores que 8,3 (EPA, 1975). Sob essas circunstâncias a produção de ácido resulta em imediata reação com o íon bicarbonato (HCO_3^-), produzindo ácido carbônico (H_2CO_3). O consumo de dióxido de Carbono pelos microrganismos resulta na depleção deste sob a forma dissolvida.

Contudo, durante a desnitrificação, o bicarbonato é produzido e a concentração de ácido carbônico é reduzida. Embora seja um processo aparentemente inverso, segundo a EPA (1975), a desnitrificação consegue recuperar somente metade da alcalinidade consumida na nitrificação. O presente trabalho mostra a recuperação pode ser mais elevada, durante determinados períodos. Experimentos com sistemas de películas biológicas tem indicado um valor médio de 2,95 mg de alcalinidade como CaCO_3 .

O comportamento do leito do reator aeróbio na conversão de nitrogênio de nitrato, pode ser verificado na Figura 5, em que considera-se somente a Fase 4, pois nesta, são bem caracterizados os processos de nitrificação e desnitrificação. Os resultados apresentados na Figura 5, foram obtidos para um tempo de detenção experimental médio de 11,2 min, considerando-se as taxas de aplicação superficial estudadas. Por outro lado, o comportamento do reator anóxico, para um tempo de detenção experimental médio de 11,6 min, mostrou a viabilidade da desnitrificação completa, encontrada dentro de condições adequadas de operação do sistema, a uma dosagem de etanol no afluente, de 23,0 mg/l.

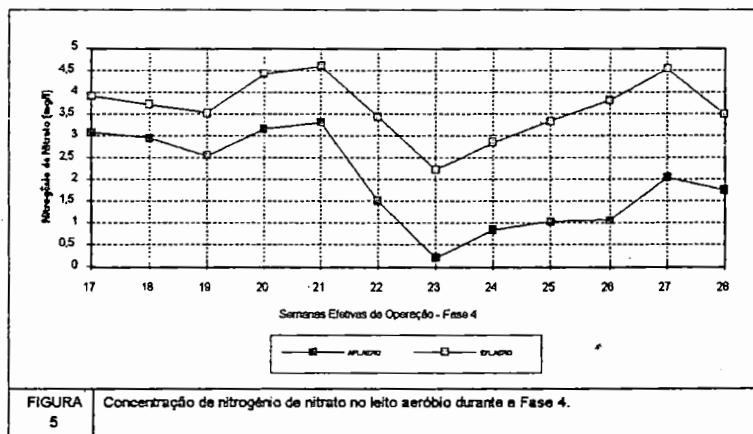


FIGURA 5 Concentração de nitrogênio de nitrato no leito aeróbico durante a Fase 4.

A eficiência do sistema na remoção do NTK, foi bastante elevada a partir da Fase 2, atingindo valores acima de 90%, apresentando queda durante algumas semanas da Fase 4, quando houve elevação da vazão de alimentação do sistema. As conversões do NTK a nitrito e nitrato, ocorreram basicamente no reator aeróbio e este, apresentou limitações, relativas a oxigenação, como descrito anteriormente, justificando-se a queda observada durante a Fase 4.

Relativamente aos parâmetros hidráulicos, o Quadro 1 apresenta as condições operacionais e resultados obtidos na determinação do tempo de detenção teórico, do tempo residência experimental (t_c) e demais parâmetros comparativos do comportamento hidráulico dos reatores.

CONCLUSÕES

O emprego de reatores de leito fluidificado apresenta-se como uma alternativa viável na remoção da DQO em águas destinadas à estações de tratamento de água. Em casos cujo valor da

Quadro 2 - Condições operacionais e parâmetros comparativos para os leitos limpos

Reator	Aeróbio			Anóxico			
	Ensaios	Sem ar	A - c/ ar	B - c/ ar	C - c/ ar	A	B
Ar (ml/s)	-	3,6	6,3	5,0	-	-	-
Vel. Aeração (m/dia)	239	228	228	247	228	228	228
Porosidade inicial	47,8	47,8	47,8	47,8	48,9	48,9	48,9
Expansão	17,3	14,8	15,2	17,2	13,8	14,9	14,0
Vol/Vazão (min)	7,4	7,3	7,5	7,1	7,8	7,9	7,9
t_c (min)	10,1	10,8	6,9	7,0	8,3	8,2	8,3
tpf (min) - tempo em "plug-flow"	3,37	2,50	2,00	2,00	2,50	3,25	3,75
tcn (min) - tempo em mistura completa	6,76	8,26	4,90	5,00	5,82	4,95	4,56
Nh - número de segundos em série	4,15	1,93	0,53	0,53	1,59	1,97	2,20

Quadro 3 - Condições operacionais e parâmetros comparativos para o leito com película biológica.

Reatores	Aeróbio		Anóxico		
	Ensaios	AD	AE	D	E
V (m/dia)	240	230	228	228	228
t_c (min)	11,7	11,4	10,0	10,7	
tpf (min)	3,2	2,8	3,8	3,3	
tcn (min)	8,4	8,7	6,3	7,4	
fpf - fração volumétrica em "plug-flow"	0,278	0,241	0,374	0,305	
Nh	2,4	2,5	2,4	2,2	

DQO seja inferior a 60 mg/l, concentrações de OD próximas à da saturação, podem ser esperadas remoções acima de 80% para reatores com altura de leito expandido inferior a 1,50 m.

Mesmo para as condições limitadas de aeração do sistema, foi possível obter remoções de DQO no leito, aeróbio, acima de 60%, correspondente a tempos de detenção teóricos entre 7,5 e 8,0 min, mostrando a viabilidade do sistema, desde que seja implementado maior controle na unidade de dissolução de ar, situação esta, mais favorável para instalações em escala real.

Medições de OD ao longo do leito permitiram concluir que efetivamente, a fração ativa aerobiamente, situava-se a até 1,0 a 1,5 m, a partir do topo da camada suporte de pedrisco, restando uma coluna de até 1,0 m, que se devidamente oxigenada, poderia elevar significativamente a eficiência do leito na remoção de DQO.

Não obstante as dificuldades operacionais encontradas, principalmente no controle de oxigenação do afluente do reator aeróbio, e no sistema de dosagem de etanol a viabilidade do sistema pode ser observada quando se verifica a eficiência na remoção de NTK, através do processo de nitrificação, no reator aeróbio, e na conversão do nitrato resultando em nitrogênio gasoso, no reator anóxico, por intermédio da desnitrificação. Relativamente à remoção de NTK, o sistema

apresentou eficiência acima de 90% e a conversão de nitrato pode alcançar valores próximos a 100%.

Durante a desnitrificação, a recuperação da alcalinidade consumida na nitrificação pode ser maior que o descrito pelos manuais da EPA.

Os tempos de residência médios experimentais (t_e) registrados no leito anóxico, em média de 11,6 minutos, foram suficientes para promoção de desnitrificação completa. Contudo para o reator aeróbio o mesmo não ocorreu, considerando-se um tempo de detenção médio experimental de 11,2 minutos, provavelmente pela falta de oxigênio observada em camadas do leito acima de 1,6 m.

As curvas de distribuição do tempo de detenção mostraram a influência da presença da fase gasosa no leito aeróbio, acelerando a ascenção de substâncias húmidas e reduzindo o tempo de residência. Baixos valores de relativos ao número de núcleos de mistura completa indicaram uma forte tendência ao regime de mistura completa.

Para o leito contendo película biológica verificou-se redução da fração "plug-flow" do reator aeróbio. O número de núcleos em mistura completa (N_h), mostrou a influência da biomassa pela atenuação dos efeitos provocados pela existência de caminhos preferenciais na base do leito.

Os efeitos de adsorção e degradação de substâncias húmidas pode ser verificada pela porcentagem de massa recuperada no efluente, situando-se entre 93,6 e 97,4 % para o leito limpo e entre 82,0 e 88,0% para o leito contendo biomassa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOUWER, E.J, CROWE, P.B. Biological Process in Drinking Water Treatment. *Journal of AWWA* Setembro, 1988.
2. CAMPOS, J.R. Remoção de Nitrogênio em um Sistema de Três Reatores Biológicos de Filme Fixo em Série. Tese (Livre Doc) São Carlos, SHS - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1989.
3. EPA (Environmental Protection Agency), *Process Design Manual for Nitrogen Control*, cap 2, 1975.
4. GAUNTLETT, R.B., Removal of Ammonia and Nitrate in the Treatment of Potable Water. in: *Biological Fluidized Bed Treatment of Water and Wastewater* Water Research Centre. Ed. Ellis Horwood Ltd., 1981.
5. PAINTER, H.A., A Review of literature on Inorganic Nitrogen Metabolism in Microorganisms. *Water Research*, Vol 4(6), pp 393-450, 1970.
6. RITTMANN, B.E Analyzing Biofilm Process Used in Biological Filtration. *Journal of AWWA* p 62, abril, 1990.