



XII SIBESA

XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental
2014



II-125 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA AERAÇÃO NO COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DE REATOR ANAERÓBIO-AERÓBIO DE LEITO FIXO TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO

Ellen Caroline Baettker⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Estudante de Mestrado em Engenharia Civil na Área de Saneamento pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná câmpus Curitiba (PPGEC/UTFPR).

Andreia dos Santos Goffi⁽²⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, Paraná (DAAMB/UTFPR).

Karina Querne de Carvalho⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre e Doutora em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba (DACC/UTFPR).

Thiago Morais de Castro⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Engenheiro de Segurança do Trabalho e Mestre em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Docente do Departamento Acadêmico de Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão (DAAMB/UTFPR).

Fernando Hermes Passig⁽⁵⁾

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba (DAQBI/UTFPR).

Endereço⁽¹⁾: Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 4900 – Ecoville - Curtiba - PR - CEP: 81280-340 - Brasil
- Tel: (41) 3279-4500 - e-mail: ebaettker@gmail.com

RESUMO

A avaliação dos mecanismos hidráulicos em reatores biológicos utilizados no tratamento de águas residuárias permite detectar problemas associados a falhas operacionais e de projeto. Sendo assim o objetivo foi avaliar o comportamento hidrodinâmico de um reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo (RAALF), a fim de verificar a influencia da inclusão da zona aerada sobre os aspectos hidrodinâmicos do reator. O projeto utilizou um reator compartimentado anaeróbio-aeróbio de leito imobilizado com argila expandida e matrizes cúbicas de espuma de poliuretano e operado com vazão afluente constante igual a $0,6 \text{ L.h}^{-1}$ com TDH teórico de 8h e volume total de 6,7 L. Foram realizados testes de estímulo e resposta tipo pulso com o traçador Eosina Y. A variação da concentração do traçador no efluente foi ajustada pelos modelos teóricos de dispersão de fluxo e de reatores em série. Em todos os ensaios hidrodinâmicos foi possível observar lento decaimento na concentração do traçador ao longo do tempo, indicando o fenômeno de “cauda longa” que pode ter ocorrido devido à adsorção dos traçadores no meio suporte do reator. Os resultados apresentaram que o modelo matemático de N-CSTR em série apresentou melhor ajuste para os dados da etapa I (sem aeração) e o modelo de grande dispersão para os dados da etapa II (com aeração). Os ensaios com eosina Y apresentaram bons resultados para os ajustes dos modelos teóricos aos dados experimentais, descrevendo as características do regime de escoamento do reator. As duas etapas tiveram adiantamento do pico de concentração o que pode estar associado à presença de caminhos preferenciais. Na etapa com aeração verificou-se a presença de múltiplos picos decrescentes em intervalos regulares. O modelo que mais se ajustou para etapa I foi o de mistura completa e na etapa II grande dispersão, e considerando esse ultimo resultado a trajetória do traçador foi influenciada diretamente pela aeração.

PALAVRAS-CHAVE: Distribuição de Tempo de Residência (DTR), Traçador, Ensaios estímulo-resposta, Reator combinado.

INTRODUÇÃO

As contaminações dos corpos d'água representam uma série de riscos à saúde pública, sendo estreita a relação entre a qualidade de água e inúmeras enfermidades que acometem as populações, especialmente aquelas não atendidas por serviços de saneamento.

Sendo assim, o tratamento de esgotos gerados é importante para a saúde pública e para o meio ambiente, porque evita riscos de contaminação e transmissão de doenças, além de ajudar no controle da poluição e eutrofização das águas.

Considerando esses problemas advindos de lançamentos inadequados, fica evidente a necessidade de implantação e ampliação de sistemas de tratamento de esgoto. Neste sentido, várias investigações têm sido realizadas na busca por configurações modernas e mais eficientes de estações de tratamento.

Com base nisto, o desenvolvimento de novas configurações de reatores deve ter, essencialmente, como base critérios que busquem otimizar o processo de tratamento. É importante se dar atenção especial para fenômenos de transferência de massa, cinética, microbiologia e hidrodinâmica do sistema de reação. Também é importante a busca por sistemas mais eficientes, pelo melhor aproveitamento do volume útil reacional, com a consequente diminuição do volume total, pela melhoria da estabilidade e facilidade de operação. Uma das tentativas nesse sentido consiste em se desenvolver reatores combinados, mesclando os benefícios de cada processo.

O estudo hidrodinâmico tem contribuído para o aumento da eficiência desses reatores, pois possibilita a detecção de zonas mortas, caminhos preferenciais, recirculação interna e outras anomalias no regime de escoamento no interior do reator. De acordo com Carvalho et al. (2008), Passig e Blundi (1999) e Salgado (2008), a ocorrência dessas anomalias pode prejudicar a eficiência do reator no tratamento de esgotos sanitários devido à variação do volume útil e consequentemente do tempo de detenção hidráulica.

Considerando o exposto acima, este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento hidrodinâmico de um reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo (RAALF), com fluxo ascendente imobilizado com argila expandida e espuma de poliuretano, utilizado no tratamento de esgoto doméstico, com o objetivo de verificar a influencia da inclusão da zona aerada sobre os aspectos hidrodinâmicos do reator.

MATERIAIS E MÉTODOS

A confecção e a montagem do reator anaeróbio em escala de bancada foram realizadas no câmpus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Campo Mourão (UTFPR). O reator é constituído de um tubo de *plexiglass* de diâmetro interno de 93 mm e comprimento de 1100 mm. O volume útil do reator é de aproximadamente 4,75 L, sendo 2,85 L correspondentes à zona anaeróbia e 1,9 L à zona aeróbia (Figura 1).

O trabalho foi realizado em duas etapas, sendo a primeira para avaliar o comportamento hidrodinâmico do reator operando em condição anaeróbia; e a segunda etapa conduzida com a implementação de um aerador no reator, para avaliar o comportamento hidrodinâmico em condição combinada anaeróbia-aeróbia.

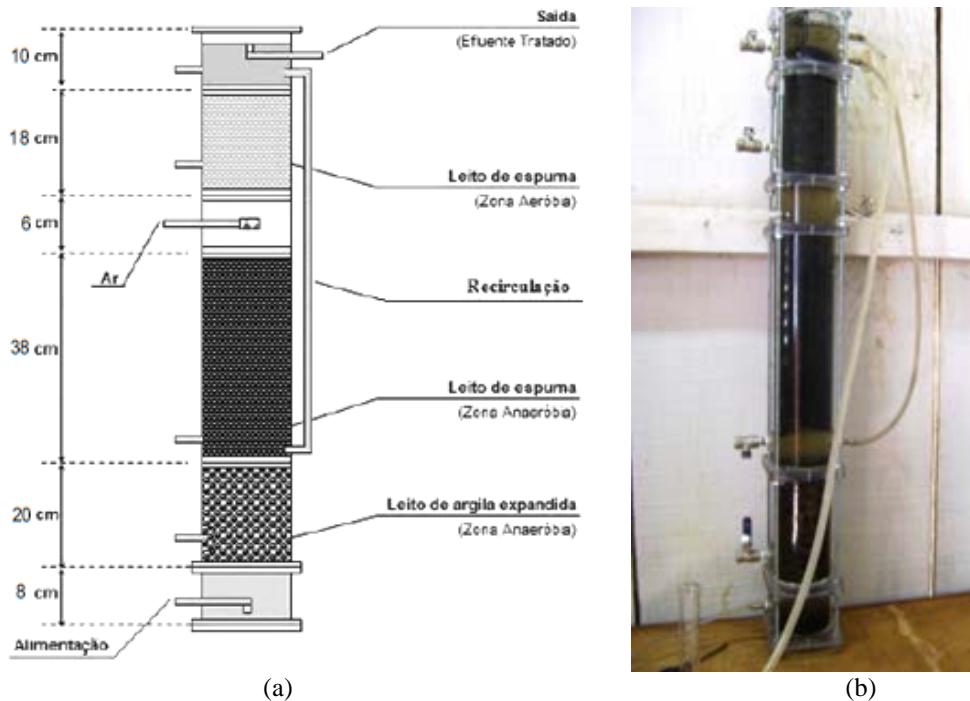


Figura 1 : Reator anaeróbico-aeróbio de leito fixo e escoamento ascendente: a) desenho esquemático, b) foto do reator.

Para a imobilização da biomassa foi utilizada argila expandida com granulometria média variando de 5 mm a 15 mm na parte inferior do reator e matrizes cúbicas de espuma de poliuretano com 0,01 m de aresta, densidade aparente de 23 kg/m^3 e porosidade de aproximadamente 95%. A espuma de poliuretano foi inoculada com lodo anaeróbio, proveniente de um reator RALF componente da Estação de Tratamento de Esgotos da cidade de Campo Mourão/PR.

A aeração foi fornecida por meio de um compressor de ar, marca Boyu® modelo S2000A, que injetou ar na câmara de aeração através de pedra porosa na parte aeróbia do reator. A aeração do módulo aeróbio foi mantida em concentração igual ou superior a $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$ de oxigênio dissolvido (OD), sendo sua vazão medida por um fluxômetro.

A concentração de OD do efluente foi determinada empregando-se o método potenciométrico. A análise de OD foi feita apos a retirada de uma amostra de efluente em dois pontos do reator e então feita a leitura imediata utilizando a sonda YSI Incorporated modelo 95/10 FT.

Foi realizada a recirculação do efluente do reator para o inicio da zona anaeróbia, utilizando uma bomba dosadora tipo pistão com fluxo em pulso, da marca ProMinent. A vazão de recirculação adotada foi determinada como sendo metade da vazão de entrada no reator, sendo então adotada a taxa de recirculação (r) de 0,5.

Após o reator atingir o estado de equilíbrio dinâmico aparente, foi realizado os testes hidrodinâmicos em uma série de 3 ensaios de estímulo-resposta tipo pulso com o traçador Eosina Y. Foram feitas coletas do efluente do reator em intervalos de 30 min, sendo o tempo total dos ensaios determinado de tal forma que as amostras fossem coletadas pelo menos três vezes o tempo de detenção hidráulica teórica. Os ensaios hidrodinâmicos foram realizados com vazão média afluente de 0,6 L/h, o tempo de detenção hidráulica médio de 8 h e temperatura ambiente.

As curvas de concentração de traçador ao longo do tempo foram normalizadas de acordo com Levenspiel (2000).

Essas curvas em função do tempo adimensional foram ajustadas pelos modelos teóricos uniparamétricos de dispersão de pequena intensidade (DP), grande intensidade (GD) e de tanques em série (N-CSTR). A presença de curtos-circuitos foi verificada pela relação entre o tempo do primeiro aparecimento do traçador no efluente (h) do reator e o TDH teórico (h) de acordo com Thackston et al. (1987) e Sarathai et al. (2010).

RESULTADOS

As curvas experimentais de distribuição do tempo de resistência (DTR) obtidas com o ajuste de modelos matemáticos são apresentadas na Figura 2.

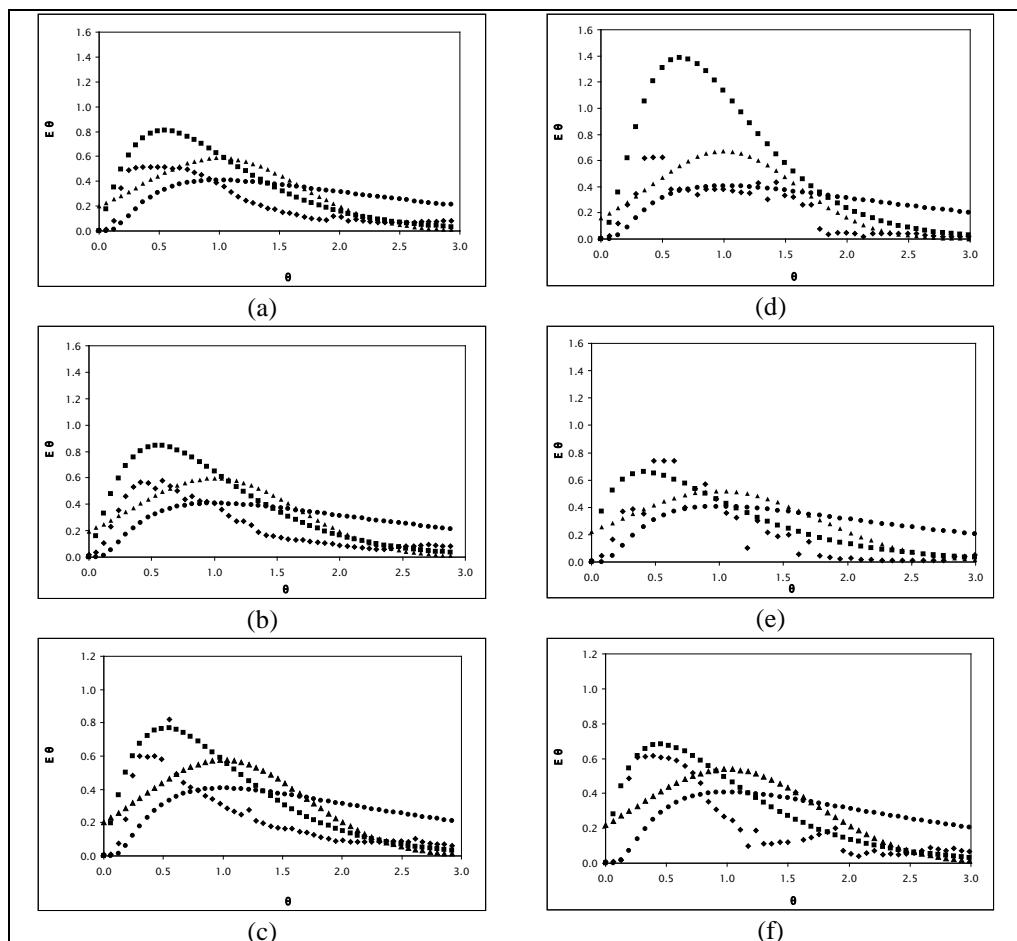


Figura 2. Curvas de DTR obtidos experimentalmente para os ensaios de estímulo-resposta. Legenda: ▲ - N-CSTR em série, ■ - grande dispersão, ● - pequena dispersão, ◇ - valores experimentais. Etapa I - Figura (a), (b) e (c); Etapa II - Figura (d), (e) e (f).

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos para o ajuste das curvas de distribuição do tempo de residência pelos modelos matemáticos teóricos.

Tabela 1. Parâmetros obtidos com o ajuste dos dados experimentais

Ensaio	ETAPA I – anaeróbio			ETAPA II – anaeróbio-aeróbia		
	N-CSTR em série	Pequena Dispersão (PD)	Grande Dispersão (GD)	N-CSTR em série	Pequena Dispersão (PD)	Grande Dispersão (GD)
1	2	0,231	0,146	3	0,176	0,119
2	2	0,224	0,142	2	0,294	0,173
3	2	0,240	0,150	2	0,275	0,165

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos para a regressão dos ajustes das curvas de distribuição do tempo de residência pelos modelos matemáticos teóricos.

Tabela 2. Coeficiente de regressão para os ajustes dos modelos teóricos obtidos.

Coeficiente de Regressão (r^2)		
Ensaios	ETAPA I	ETAPA II
N-CSTR em série	0,944	0,408
Pequena dispersão	0,729	0,706
Grande dispersão	0,460	0,821

É possível observar na Figura 2 (a), (b) e (c) e na Tabela 2 que o modelo teórico N-CSTR em série apresentou melhores ajustes aos dados experimentais para a etapa I (0,944), seguido do modelo de pequena dispersão (0,729) e de grande dispersão (0,460). Na etapa II, com aeração, o modelo teórico que apresentou melhores ajustes aos dados experimentais foi o de grande dispersão (0,821), seguido do modelo de pequena dispersão (0,706) e de N-CSTR em série (0,408) (Tabela 2).

O modelo N-CSTR em série forneceu resultados iguais em todos os ensaios para a etapa I, sendo de 2 reatores, ao passo que para etapa II variou de 2-3 reatores em série. Em seu trabalho Souza et al. (2011) observaram de 3 a 4 reatores em série ao avaliarem um reator de leito fixo (7 L), com biomassa imobilizada em matrizes cúbicas de poliuretano tratando esgoto doméstico.

Nos perfis de amostragem temporal realizados nas etapas I e II foi verificada atenuação do pico de concentração, provavelmente devido ao retardo da passagem do traçador da porção posterior ao pico (efeito de cauda). Fenômeno este característico de reatores com biomassa fixada.

O pico máximo da concentração do traçador no efluente foi verificado após 5 h na etapa I e de 3,1 h para etapa II da injeção do traçador, ou seja, valores inferiores ao TDH teórico de 8 h, o que indica adiantamento nas respostas do traçador, provavelmente devido a presença de caminhos preferenciais.

Foram verificados múltiplos picos decrescentes a intervalos regulares na etapa II (com aeração), como pode ser visualizado na Figura 2 (d), (e) e (f), indicando recirculação interna do fluido no reator, ocasionadas provavelmente pelas bolhas de ar, geradas no processo de aeração de acordo com Levenspiel (2000).

Na etapa I (sem aeração) foram obtidos valores para TDH de 8,5 h, 8,2 h e 8,5 h, que estar associadas a difusão dos traçadores nos poros do material suporte utilizado no reator. Para a etapa II (com aeração), o TDH real se aproximou de 7,0 h, 6,2 h e 7,7 h para os ensaios 1, 2 e 3, respectivamente, ou seja foram inferiores ao TDH teórico de 8 h, o que indica adiantamento nas respostas do traçador, provavelmente, devido a caminhos preferenciais.

Em todos os ensaios realizados, foi possível observar o lento decaimento na concentração do traçador ao longo do tempo, o que pode indicar o fenômeno de “cauda longa”, que deve ter ocorrido devido à adsorção dos traçadores na biomassa do reator. Esse efeito também foi observado por De Nardi et al (1999), Lima (2001) e Jiménez et al. (1988). Os autores determinaram o comportamento hidrodinâmico através de ensaios de estímulo-resposta do tipo pulso realizados em meio abiótico e associaram o efeito de cauda ao fenômeno de difusão do traçador no meio suporte utilizado.

Não foi verificada presença de curtos-circuitos nas etapas de operação, uma vez que os valores obtidos para os ensaios foram de 0,57, 0,55 e 0,52 na etapa I e de 0,50, 0,48 e 0,38 na etapa II. De acordo com Thackston et al. (1987) e Sarathai et al. (2010) valores menores ou iguais a 0,3 indicam fluxo com efeito significativo de curto-círcuito.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos por ensaios, conclui-se que:

Em todos os ensaios hidrodinâmicos foi possível observar lento decaimento na concentração do traçador ao longo do tempo, indicando o fenômeno de “cauda longa” que pode ter ocorrido devido à adsorção dos traçadores no meio suporte do reator.

Foi possível verificar que o modelo matemático de N-CSTR em série apresentou melhor ajuste para os dados da etapa I (sem aeração) e o modelo de grande dispersão para os dados da etapa II (com aeração) de acordo com as curvas de concentração ajustadas aos modelos matemáticos, validadas pelas análises de regressão.

Os ensaios com eosina Y apresentaram bons resultados para os ajustes dos modelos teóricos aos dados experimentais, descrevendo as características do regime de escoamento do reator. Foi possível concluir que a trajetória do traçador depende diretamente de sua difusão no interior do reator e as suas características de operação.

Também foi observada antecipação do pico da concentração e do TDH real, nas duas etapas de operação, o que pode estar associado à presença de caminhos preferenciais. Na etapa com aeração, em especial, foi verificada a presença de múltiplos picos decrescentes em intervalos regulares, que indicam recirculação interna ocasionadas provavelmente pela presença de bolhas de ar.

Notou-se que com a aeração no interior do reator, a trajetória do traçador foi influenciada diretamente, considerando que o modelo que mais se ajustou a esta condição, foi o de grande dispersão, ao passo que quando o reator não era submetido a aeração apresentou um comportamento que se assemelhou à mistura completa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UTFPR câmpus Campo Mourão. A Sanepar. A Fundação Araucária, Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (SETI-PR). Ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica e recursos financeiros para o projeto Edital 14/2008 - Universal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARVALHO, K. Q. et al. Avaliação hidrodinâmica de reator UASB submetido à variação cíclica de vazão. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 226-235, 2008.
2. DE NARDI, I. R.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. Influence of the tracer characteristics on hydrodynamic models of packed-bed bioreactors. *Bioprocess Engineering*, v. 21, n. 5. 1999.
3. LEVENSPIEL, Octave. *Engenharia das Reações Químicas*. 3 ed. São Paulo. Ed. Edgard Blücher Ltda, 563 p, 2000.
4. LIMA, C.A.A. Tratamento de esgoto sanitário em reator horizontal de leito fixo (RAHLF) - Escala Piloto. São Carlos, Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2001.
5. NETTO, Antônio P. O. Reator Anaeróbio-Aeróbio de Leito Fixo, com Recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário. 207 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo. 2007.
6. PASSIG, F. H.; BLUNDI, C. E. Caracterização hidrodinâmica de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente. *Engenharia e Arquitetura – EESC/USP*, São Carlos, v. 1, n. 1, p. 1-6, 1999.
7. PEÑA, M. R.; MARA, D. D.; AVELLA, G. P. Dispersion and treatment performance analysis of an UASB reactor under different hydraulic loading rate. *Water Research*, 40: p. 445 - 452, 2006.
8. PERSSON J, SOMES N L G, WONG T H F. Hydraulics efficiency of constructed wetlands and ponds. *Water Science and Technology*, 40: p. 291–300, 1999.
9. SALGADO, M. T. Modelo matemático para avaliação hidrodinâmica em reatores tubulares operando em regime não-permanente. 2008. 145 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

10. SARATHAI, T.; KOOTTATEP, T.; MOREL, A. Hydraulic characteristics of an anaerobic baffled reactor as onsite wastewater treatment system. *Journal of Environmental Science*, 22(9): 1319 - 1326, 2010.
11. SOUZA, T. H. Y.; PANTOJA-FILHO, J. L. R.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. Hydrodynamic Characterization of an Alternative Two-Chambers Reactor Applied in the Tertiary Treatment of Sewage. In: X Latin American Workshop and Symposium on Anaerobic Digestion (DAAL), 2011, Ouro Preto, MG. Proceedings, 2011.
12. SPERLING, Marcos Von. *Introdução à Qualidade da Água e ao Tratamento de Esgoto, Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. 2^a Ed. Belo Horizonte, 1996.
13. THACKSTON E L, SHIELDS Jr F D, SCHROEDER P R. Residence time distributions of shallow basins. *Journal of Environmental Engineering*, 116(6): 1319–1332, 1987.