



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

I-032 – CALIBRAÇÃO DE UM MODELO HIDRODINÂMICO PARA UNIDADES DE CONTATO EM FLUXO CONTÍNUO UTILIZADAS NA DESINFECÇÃO DE ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO

Camila Gomes Pacheco⁽¹⁾

Bióloga pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGEA/UFES).

Julio Tomás Aquije Chacaltana

Graduação em Engenharia de Mecânica dos Fluidos pela Universidad Nacional Mayor de San Marcos, UNMSM, Lima-Perú. Mestre e Doutor em Engenharia Mecânica dos Fluidos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEM-COPPE/UFRJ). Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (PPGEA/UFES).

Edmilson Costa Teixeira

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Bahia. Mestre em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Engenharia Civil pela University of Bradford (Reino Unido). Professor adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental da UFES.

Renato do Nascimento Siqueira

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestre em Engenharia Ambiental pela UFES. Doutor em Engenharia Civil pela Loughborough University of Technology (Reino Unido). Professor Visitante do Departamento de Engenharia Ambiental da UFES.

Endereço⁽¹⁾: GEARH – CT – UFES; Cx. Postal 01-9011 – Vitória – ES – CEP 29.060-970 – Brasil. Tele-fax: +55 (27) 3335-2256

 camila@npd.ufes.br; juliotac@npd.ufes.br.

RESUMO

O uso de modelos numéricos para avaliar o desempenho do processo de desinfecção da água tornou-se mais freqüente desde as décadas passadas, embora o número dos trabalhos neste assunto fosse ainda pequeno com respeito à demanda. O regime ideal de escoamento nos tanques do contato é do tipo pistão e o tanque chicanado é a geometria mais recomendada do tanque para a realização deste tipo de escoamento com otimização do espaço para a construção. O padrão de escoamento resultante de tais tanques pode se aproximar de um escoamento 2D se a entrada do tanque for bem projetada. Neste caso, o uso de modelos numéricos bidimensionais é apropriado para simulações de padrões de escoamento e transporte de soluto ao longo dos tanques. Entretanto, alguns problemas relacionados ao monitoramento da velocidade neste tipo de unidade, tais como baixas velocidades e escoamentos reversos, fizeram a calibração e a validação dos modelos numéricos uma tarefa difícil. Para superar este problema, a calibração de um modelo computacional, neste trabalho, foi baseada no ajuste das curvas de passagem geradas pelo modelo numérico com curvas de passagem obtidas experimentalmente ao longo de toda a extensão de uma unidade de contato chicanada. Os resultados deste estudo indicam que a metodologia de calibração desenvolvida aqui é muito promissora.

PALAVRAS-CHAVE: Curvas de Passagem, Padrão de Escoamento, Unidades de Contato, Modelagem Numérica.

INTRODUÇÃO

A eficiência do processo de desinfecção de uma unidade de contato para a desinfecção de água está intimamente relacionada com a dinâmica do escoamento no interior da mesma. Uma caracterização da hidrodinâmica nestas unidades pode ser feita indiretamente através da análise das curvas de passagem. A curva de passagem representa a distribuição do tempo de residência no interior da unidade.

O desempenho hidrodinâmico de uma unidade de contato para a desinfecção de água tem sido desenvolvido basicamente através da modelagem física (TEIXEIRA, 1993). Em geral, a ocorrência de escoamentos complexos (tridimensionais, reversos, turbulentos) no interior destas unidades é tratada como "caixa preta", considerando-se apenas informações em suas seções de entrada e de saída (SIQUEIRA, 1998; RAUEN, 2001). Um maior detalhamento sobre o comportamento do escoamento ao longo de uma unidade de contato foi abordado por Teixeira (1993), onde o escoamento foi caracterizado em três dimensões.

A modelagem numérica dá origem a uma nova forma de adquirir conhecimento a respeito de processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na natureza. A aplicação da mecânica dos fluidos computacional em estudos relacionados à desinfecção de água (hidrodinâmica e processo de tratamento) é relativamente recente. Um dos fatores que contribuem para o número reduzido de trabalhos nessa linha é a falta de dados de monitoramento que possam ser utilizados na validação dos modelos numéricos, devido a problemas relacionados ao monitoramento da velocidade neste tipo de unidade, tais como baixas velocidades e escoamentos reversos. Com objetivo de superar estes problemas, neste trabalho, o padrão de escoamento dentro de uma unidade de contato chicanada é obtido através da calibração de curvas de passagem obtidas pelo modelo. A calibração do modelo será realizada através da comparação das curvas de passagem obtidas das simulações e curvas de passagem medidas por Siqueira (1998).

MATERIAIS E MÉTODOS

As dimensões (em centímetros) da unidade de contato e os pontos onde foram registradas as curvas de passagem no experimento de Siqueira (1998) são mostrados na Figura 1.a. A vazão era de 1 L/s e a altura da lâmina d'água de 0,26 m.

O DIVAST foi utilizado para a obtenção das curvas de passagem ao longo da unidade de contato. O referido modelo numérico é baseado no método de diferenças finitas que soluciona as equações bidimensionais de transporte de Reynolds integradas na vertical considerando uma grade com elementos quadrados. Maiores detalhes sobre o modelo podem ser encontrados em Falconer (1976).

A curva medida experimentalmente no compartimento 2 (Região 2, Figura 1.b) foi passada para o modelo, e a partir desta, foram obtidas as curvas de passagem para os compartimentos seguintes. A representação esquemática da grade utilizada é mostrada na Figura 1.b. A numeração dos compartimentos e dos pontos de registro das curvas de passagem coincidem com os usados por Siqueira (1998), e também são mostradas nesta figura. A malha utilizada para as simulações possui 98 X 124 quadrados com 2 cm de lado cada. As simulações duravam cerca de 4 horas em um micro computador Pentium 4 com 256 Mb de RAM e o passo de tempo utilizado (Δt) foi calculado de modo a obter um número de Courant igual a 1 (um), garantindo desta forma a convergência do modelo.

No processo de calibração do modelo alguns parâmetros são ajustados a fim de se reproduzir o resultado experimental. Os parâmetros que influenciam na hidrodinâmica da unidade são o comprimento da rugosidade do fundo (k_s) e a vazão (Q) e os parâmetros que influenciam a dispersão de constituinte são as constantes adimensionais de dispersão longitudinal (k_l) e de difusão turbulenta lateral (k_t). O valor de k_l utilizado nas simulações foi de 4,57; que foi o valor obtido por Siqueira (1998). O valor de k_s é de 0,5 mm para o aço revestido, material do qual foi feita a unidade de contato (NETTO e ALVAREZ, 1988). Foram ajustados simultaneamente k_t e vazão, a fim de se encontrar um valor que melhor ajustasse os picos de concentração máxima das curvas de passagem.

Elder (1959) encontrou um valor de k_t igual a 0,23 estudando a dispersão de soluto num canal reto, um valor de k_t igual a 1,00 foi obtido por Falconer e Ismail (1997) para um canal chicanado. Desta forma, optou-se por testar os seguintes valores de k_t : 0,23; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80; 0,90 e 1,00.

A vazão medida pelo rotâmetro no experimento de Siqueira (1998) foi de 1L/s, contudo, o medidor de vazão utilizado não possuía boa precisão, pois não conseguia registrar variações na segunda casa decimal, sendo assim, foram testados valores de vazão aumentando o valor medido de 1%, 2%, 3% e 4% para se obter um melhor ajuste do tempo de pico.

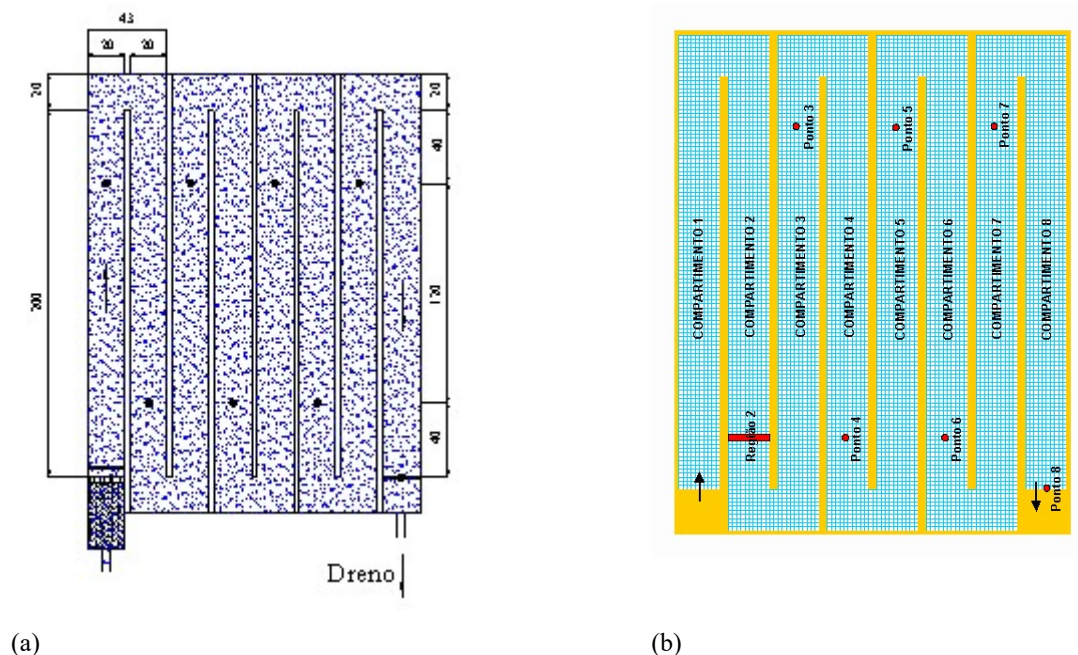


Figura 1 – Geometria da unidade de contato chicanada. Em (a) são mostrados as dimensões da unidade (em centímetros) e em (b) são mostrados as numerações dos compartimentos e dos pontos usados no teste de malha, calibração.

Para cada valor de kt variou-se a vazão até mais 4% em relação à vazão de operação de forma a se obter a que melhor ajustasse os picos de concentração das curvas de passagem numérica e experimental. Com um melhor ajuste de fase, o valor do EPA - Erro Percentual de Área, parâmetro proposto por Rauhen (2001) que será utilizado para a calibração, será menor, significando um melhor ajuste entre as curvas. Para escolher qual a vazão para um determinado kt , foi escolhido o menor valor do Mean Absolute Percentage Error (MAPE:) entre o tempo de pico simulado e o experimental para cada ponto de monitoramento.

Tendo agora, nove valores de kt com sua respectiva vazão, o próximo passo é identificar qual par kt -vazão que melhor ajusta as curvas de passagem. Para a calibração do modelo, foi escolhido o par kt -vazão que apresentou o menor valor do Erro Percentual de Área – EPA médio da unidade chicanada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do MAPE dos tempos de pico das curvas dentro da unidade para cada valor de vazão dentro de um mesmo kt estão mostrados na Tabela 1. O menor valor do MAPE, entre parênteses, está associado ao par kt -vazão que apresentou um melhor ajuste dos tempos de pico. Sendo assim, para cada valor de kt encontrou-se a vazão que melhor ajustou os tempos de pico das curvas.

Tendo agora, nove valores de kt com sua respectiva vazão, o próximo passo é identificar qual par kt -vazão que melhor ajustou as curvas de passagem. Para isto foi escolhido o par kt -vazão que apresentou o menor valor do Erro Percentual de Área (EPA) médio da unidade chicanada.

De acordo com a Tabela 2 percebe-se que o par kt -vazão que apresentou menor valor médio de EPA (4,77%) foi encontrado para $kt = 0,50$ e $Q = 1,02$ L/s, representando uma maior proximidade dos resultados numéricos com os experimentais. Logo, estes serão os valores de kt e Q considerados como calibrados.

Tabela 1 – MAPE (%) para os diferentes valores de vazão e kt.

	Q = 1,00 L/s	Q = 1,01 L/s	Q = 1,02 L/s	Q = 1,03 L/s	Q = 1,04 L/s
kt = 0,23	1,197%	(1,189%)	1,224%	1,704%	2,068%
kt = 0,30	(1,202%)	1,291%	1,229%	1,391%	1,968%
kt = 0,40	1,310%	1,202%	(1,140%)	1,228%	1,508%
kt = 0,50	1,554%	1,372%	(1,234%)	1,296%	1,569%
kt = 0,60	1,694%	1,429%	1,295%	(1,233%)	1,248%
kt = 0,70	1,841%	1,554%	1,492%	(1,233%)	1,345%
kt = 0,80	1,966%	1,648%	1,586%	(1,180%)	1,296%
kt = 0,90	2,202%	1,671%	1,586%	1,287%	(1,233%)
kt = 1,00	2,202%	1,608%	1,523%	1,585%	(1,273%)

Tabela 2 –EPA médio (%) para cada par kt-vazão.

kt	Q	EPA médio (%)
0,23	1,01	5,63
0,30	1,00	4,96
0,40	1,02	4,93
0,50	1,02	(4,77)
0,60	1,03	5,45
0,70	1,03	5,46
0,80	1,03	5,51
0,90	1,04	6,59
1,00	1,04	6,62

As curvas calibradas estão apresentadas na Figura 2. Nesta figura estão apresentadas as curvas simuladas e medidas ao longo de toda a unidade de contato.

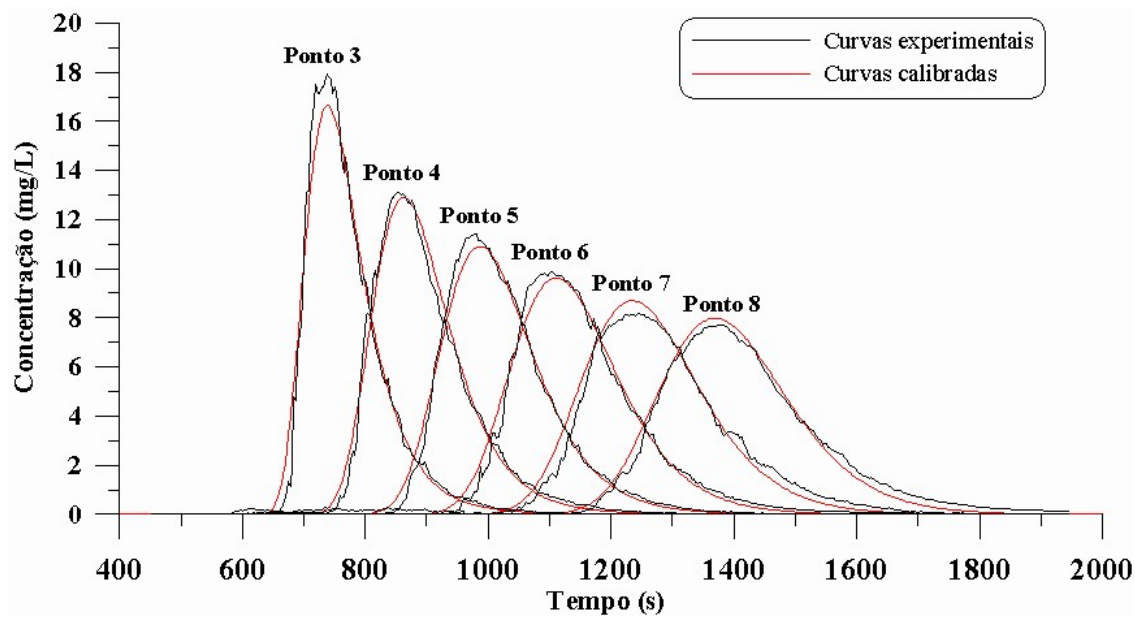


Figura 2 – Comparação entre as curvas simuladas e as curvas experimentais.

Na Figura 3 é apresentado o padrão de escoamento obtido a partir do modelo calibrado. Pode-se perceber que nas curvas de 180 graus ocorre a formação de duas regiões de zonas mortas (1) nos cantos dos compartimentos, o que resulta numa diminuição da seção do escoamento provocando o aumento da velocidade. Após cada curva, observar-se a presença de regiões de recirculação logo atrás das chicanas (2).

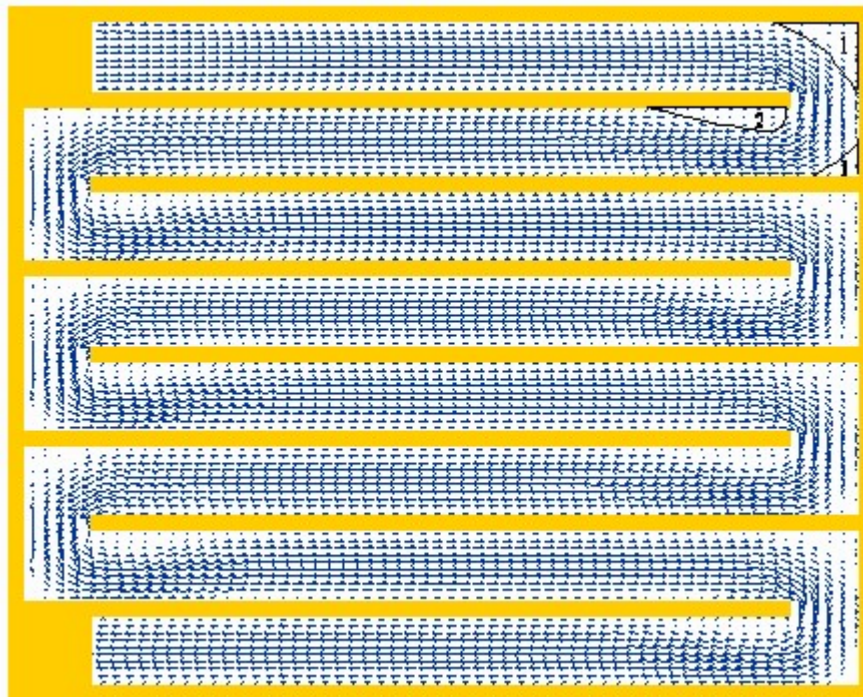


Figura 3 – Padrão de escoamento no interior da unidade de contato chicanada. Em (1) são apresentadas as regiões de zonas mortas e em (2) a zona de recirculação.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi abordada uma técnica de calibração do padrão de escoamento em unidades de contato baseado no ajuste das curvas de passagem obtidas ao longo da unidade. Esta técnica se mostra promissora devido aos bons ajustes conseguidos entre as curvas de passagem medidas e obtidas através do modelo numérico. Entretanto, faz-se necessária a validação da metodologia proposta, fazendo-se uso de outros conjuntos de curvas de passagem, bem como através da

comparação direta com dados de velocidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FALCONER, R. A. Mathematical Modelling of Jet-Forced Circulation in Reservoirs and Harbours. Thesis (Doctor of Philosophy), Dept. of Civil Engineering, Imperial College. London. 1976.
2. NETTO, J.M.A.; ALVAREZ, G.A. Solução geral para o problema do escoamento de fluidos nos encanamentos. In: _____. Manual de Hidráulica. 7 ed. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1988. cap. 15, v. 1, p. 197.
3. SIQUEIRA, R. N. Desenvolvimento e aperfeiçoamento de critérios de avaliação da eficiência hidráulica e do cálculo do coeficiente de mistura em unidades de tratamento de água e efluentes. Dissertação, Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, UFES, Dezembro, 1998, 126 p.
4. TEIXEIRA, E.C., Hydrodynamic processes and hydraulic efficiency of chlorine contact units. Ph.D. Thesis, University of Bradford, U.K., (1993), 260 p.
5. RAUEN, W. B. Influência da escala geométrica na semelhança dinâmica e na desinfecção de águas com cloro em modelos reduzidos de unidades de contato. Dissertação, Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, UFES, Dezembro, (2001), 100 p.
6. ELDER, J. W. The Dispersion of Marked Fluid in Turbulent Shear Flow. J. Fluid Mech., v. 5, (1959), p. 560-644.
7. FALCONER, R. A.; Ismail, A.I.B.M. Numerical modeling of tracer transport in a contact tank. Environment International, v.23, n.6, (1997), p. 763-773.