

# APERFEIÇOAMENTO DE MODELO DE MISTURA GLOBAL PARA UNIDADES CHICANADAS UTILIZADAS NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Cláudia Reis Fontes Moreira<sup>1</sup> e Edmilson Costa Teixeira<sup>2</sup>

**Resumo** - A utilização de unidades chicanadas em processos de tratamento de água é muito comum. Para alguns processos, a razão principal do emprego dessa configuração refere-se à busca de regimes de escoamento no interior das unidades com baixos níveis de mistura. Com o propósito de auxiliar os projetos de tais unidades, Teixeira (1993) propôs um modelo analítico hidrodinâmico que relaciona o índice de mistura da unidade ( $\sigma^2$ ) com a relação comprimento/largura do escoamento ( $\beta$ ). Apresenta-se no presente artigo uma extensão do trabalho de Teixeira (1993), que consiste, dentre outros: de uma ampliação da base de dados através de experimentação física em modelos reduzidos, considerando uma série de vazão correspondendo a Número de Reynolds variando na faixa de transição a turbulento, três valores de profundidade do escoamento e o emprego da técnica de traçadores; de uma análise diagnóstica do modelo de Teixeira à luz da base de dados ampliada; e do desenvolvimento de um novo modelo analítico hidrodinâmico com base no emprego da análise dimensional, tendo como parâmetros  $\beta$ , o coeficiente global de mistura da unidade ( $d$ ), a profundidade ( $H$ ), a relação entre o comprimento e a largura do compartimento chicanado ( $\beta'$ ) e a vazão ( $Q$ ).

**Abstract** – Is very usual the utilization of serpentine contact tanks in process of treatment of water. For this kind of process is expected almost no mixing in the unit. For this reason, Teixeira (1993) studied a model wich correlated the mixing in the unit and the  $\beta$  (length/width ratio of the flow). This study presents: the ampliation of Teixeira's study (1993) with flow in differents Reynold's number and differents depths, the user of dye- tracer technique; a new analyse of Teixeira's study (1993); and a development of a new hydrodynamic model correlating  $\beta$ , the mixing coeficient of the unit ( $d$ ), the depth of the flow ( $H$ ), the length/width ratio of the unit ( $\beta'$ ) and the outflow ( $Q$ ).

---

<sup>1</sup> Professora do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UFJF/ Pesquisadora Associada do Grupo de Estudos e Ações em Recursos Hídricos (GEARH/UFES). Endereço: DSH-CT-UFES; Cx. Postal 01-9011; 29060-970; Vitória-ES; Tel: (27) 3335-2648; e-mail: [edmilson@npd.ufes.br](mailto:edmilson@npd.ufes.br).

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento e do Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental da UFES, e Coordenador do Grupo de Estudos e Ações em Recursos Hídricos (GEARH/UFES). Endereço: DSH-CT-UFES; Cx. Postal 01-9011; 29060-970; Vitória-ES; Tel: (27) 3335-2648; e-mail: [edmilson@npd.ufes.br](mailto:edmilson@npd.ufes.br).

**Palavras -chave -** Hidrodinâmica de Reatores; Projeto de Unidades de Tratamento de Água; Mistura.

## INTRODUÇÃO

Alguns processos de tratamento de água requerem escoamentos tranquilos, idealmente livres de turbulência, com pequenas porções do seu volume efetivo ocupadas por zonas mortas, recirculações e escoamentos reversos. Escoamentos em unidades de tratamento com tais características hidrodinâmicas são ditos aproximarem-se do regime ideal de escoamento do tipo pistão (neste, todas as partículas de fluido que entram a unidade possuem o mesmo tempo teórico de detenção (T), ou seja, possuem a mesma velocidade e seguem caminhos paralelos e retos por toda a sua extensão).

Como é conhecido (Teixeira, 1995; Teixeira, et al. 1997), o emprego de unidades chicanadas é bastante comum para essa finalidade, principalmente por um aspecto prático, que se refere à otimização do espaço útil. Além disso, por razões hidrodinâmicas, dada a grande capacidade de uniformização do escoamento através dos canais que compõem a unidade.

Com o propósito de auxiliar os projetos de unidades de tratamento de água (UTA) que tendam ao regime de escoamento do tipo pistão, Marske e Boyle (1973) relacionaram o parâmetro hidrodinâmico  $\sigma^2$  com um elemento geométrico de projeto  $\beta$ , cujo modelo resultante tem sido uma referência na área (Almeida, 1997; Moreira, 1999);  $\sigma^2$  indica o grau de mistura global da unidade e  $\beta$  é a relação entre o comprimento e a largura efetivos do escoamento. Através desse modelo, que se baseia em dados obtidos de unidades de tratamento de água em escala real, de configuração diversas, os autores afirmam que um valor de  $\beta$  igual a 40 é suficiente que o escoamento na unidade se aproxime ao do tipo pistão.

Teixeira (1993), utilizando uma série de dados obtidos por ele, Marske e Boyle (1973) e Sepp (1981), obteve um modelo analítico do tipo  $\sigma^2 = a.\beta^b$ , sendo a e b valores obtidos por análise de regressão, que resultou de agrupamento de dados pertencente a categorias de configuração de unidades (todas as configurações; apenas unidades chicanadas; apenas unidades chicanadas transversais e apenas unidades chicanadas longitudinais - chicanas longitudinais e transversais são aquelas dispostas paralelamente e perpendicularmente, respectivamente, ao comprimento da unidade). Teixeira (1993) alertou para a necessidade de validação do modelo para diversas configurações de unidades, isto devido, principalmente, à limitada quantidade de dados utilizados no seu desenvolvimento.

Nesse sentido, desenvolveu-se um trabalho para dar subsídio ao processo de validação do referido modelo, considerando-se uma série de dados levantados em escala de laboratório, para unidades do tipo chicanadas. Ainda nesse trabalho, outros parâmetros de projeto de UTA foram considerados na avaliação do grau de mistura global de unidades chicanadas, além da relação  $\beta$ ; são eles: a vazão e a profundidade do escoamento. Os resultados do trabalho são apresentados no presente artigo.

### **MODELO DE MISTURA GLOBAL PARA UTA - TEIXEIRA (1993)**

O modelo de avaliação do grau de mistura global para unidades de tratamento de água (UTA) proposto por Teixeira (1993), referido na seção anterior, é dado pelas equações 1-4. E uma representação gráfica do modelo é dado na figura 1.

- Grupo 1 (todas as unidades, sem distinção de configuração):

$$\sigma^2 = 0,46.\beta^{-0,66}; R^2 = 0,7206 \quad (1)$$

- Grupo 2 (apenas tanques chicanadas):

$$\sigma^2 = 1,47.\beta^{-1,00}; R^2 = 0,7195 \quad (2)$$

- Grupo 3 (somente unidades com chicanas transversais):

$$\sigma^2 = 0,40.\beta^{-0,52}; R^2 = 0,7722 \quad (3)$$

- Grupo 4 (somente unidades com chicanas longitudinais):

$$\sigma^2 = 0,78.\beta^{-0,91}; R^2 = 0,8621 \quad (4)$$

Como se pode observar acima, os valores de coeficiente de determinação  $R^2$  variaram entre 0,7195 a 0,8621. Assim, além da limitada quantidade de dados utilizada no desenvolvimento do modelo, a não obtenção de valores mais altos para  $R^2$  é outro fator que sugere uma análise dessas funções à luz de novos dados, ou seja, a validação do modelo.

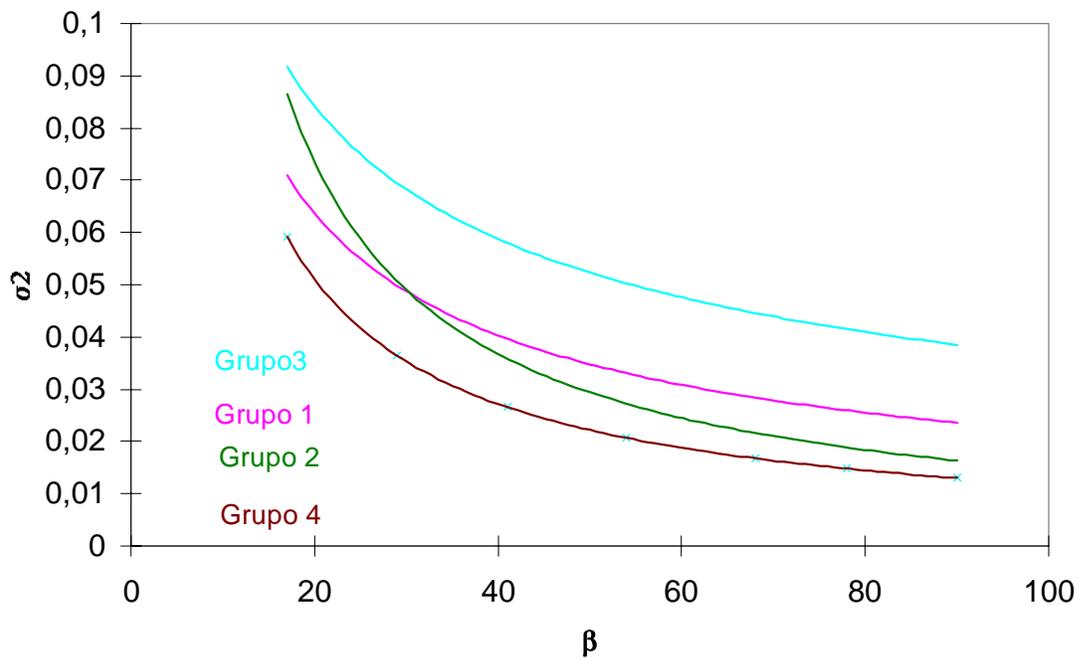


Figura 1 - Variação de  $\sigma^2$  versus  $\beta$  para grupos distintos de unidades (Grupo 1: todas as unidades, sem distinção de configuração; Grupo 2: unidades chicanadas; Grupo 3: unidades com chicanas transversais; Grupo 4: unidades com chicanas longitudinais) – adaptado de Teixeira (1993).

Através de uma análise da figura 1, as seguintes informações podem ser extraídas:

- O modelo atende ao que se conhece sobre a tendência de aproximação do escoamento na unidade ao tipo pistão com o aumento do valor de  $\beta$  (Marske e Boyle, 1973). Em outras palavras, redução no valor  $\sigma^2$  com o aumento de  $\beta$ .
- O modelo indica haver uma diferença significativa entre os valores de  $\sigma^2$  para unidade com chicanas transversais e longitudinais.

Ressalta-se que para a obtenção da equação 3 (que considera apenas unidades com chicanas transversais) os dados disponíveis inseriam-se na faixa de valor de  $\beta$  entre 12 e 40. Para as demais curvas, Teixeira (1993) trabalhou com valor máximo de  $\beta$  igual a 70. A razão da apresentação das curvas na figura 1 até o valor de  $\beta$  igual a 90 é que os dados de  $\sigma^2$  levantados no âmbito do presente trabalho são para a seguinte faixa:  $17 \leq \beta \leq 90$ .

## AMPLIAÇÃO DA BASE DE DADOS

A ampliação da base de dados consistiu basicamente no monitoramento de curvas de passagem de traçador pela unidade de experimentação, cujo procedimento é apresentado abaixo, considerando-se as seguintes variáveis: vazão ( $Q$ ), profundidade do escoamento ( $H$ ),  $\beta$  e  $\beta'$  (relação entre o comprimento e a largura do compartimento chicanado).

### Unidade de experimentação

O modelo reduzido utilizado consiste de um tanque composto de módulos de 1,00m de comprimento, 0,20m de largura e 0,70m de profundidade, que formam a parte retilínea, e módulos de 0,20m de comprimento, 0,43m de largura e 0,70m de profundidade, que formam as “curvas” (interligações entre os compartimentos). Esta unidade de experimentação foi projetada para funcionar como um canal reto ou como uma unidade chicanada.

Para se obter uma distribuição o mais uniforme possível de fluxo na seção de entrada da unidade, foi utilizado um compartimento totalmente preenchido com britas, que funcionava como uma caixa de dissipação de energia cinética.

O lançamento do traçador era feito a 10cm da seção de entrada, através de difusores, objetivando-se conseguir boa distribuição do traçador sobre a seção de escoamento no momento de injeção.

Desta maneira, buscou-se minimizar a influência da não uniformidade de escoamento ou de injeção de traçador na seção de entrada da unidade nos resultados das experimentações.

Os dispositivos de injeção de traçador variavam de acordo com a profundidade do escoamento de cada experimento. À medida em que se aumentava a altura do nível d'água, aumentava-se o número de andares do difusor, conforme mostrado na tabela 1. Os espaçamentos entre os andares de difusor foram distribuídos de modo a dividir a profundidade em partes iguais. Dessa maneira, buscou-se obter espalhamento mais uniforme possível do traçador através de toda a profundidade no momento da injeção.

Tabela 1 - Número de andares de difusor, de acordo com a Profundidade do escoamento em cada experimento

profundidade (metro)	número de andares do difusor(n)
0,120	1
0,139	1
0,164	1
0,202	1
0,250	1
0,261	1
0,290	1
0,368	2
0,460	3
0,640	4

### Obtenção de curvas de passagem para a unidade

A maneira mais comum de se obter uma curva de passagem é através da utilização da técnica de traçadores, que consiste na injeção instantânea de uma quantidade conhecida de traçador (exemplo: sais, traçadores fluorescentes) na entrada da unidade e monitoramento de dados de concentração ao longo do tempo na sua seção de saída [Hart, 1979].

Para facilitar a comparação entre diferentes curvas de passagem e a interpretação das mesmas, estas normalmente são adimensionalizadas. A adimensionalização é geralmente feita dividindo-se os valores de concentração ao longo do tempo  $C(t)$ , pela concentração média inicial ( $C_0$ ), dada pela razão entre a massa de traçador injetada e o volume efetivo do escoamento na unidade, e o tempo ( $t$ ) pelo tempo teórico de detenção ( $T = Q/V$ , onde  $Q$  é a vazão e  $V$  é o volume efetivo do escoamento).

Com relação à massa de traçador lançada na unidade, o princípio de conservação de massa deve ser satisfeito. Entretanto, devido a perdas de traçador por adsorção, erros de medição e calibração, discretização das coletas e outras imprecisões normalmente presentes em métodos experimentais, a taxa de recuperação de massa (Rec) nem sempre é 100%. Desta forma, valores de Rec muito diferentes de 1,0 devem ser considerados com cautela.

Matematicamente, a taxa de recuperação de massa é dada por:

$$Rec = \int_0^{\infty} C(\theta).d\theta \quad (5)$$

onde,  $\theta$  é a razão entre o tempo de passagem do traçador pela seção de monitoramento ( $t$ ) e o tempo teórico de detenção ( $T$ ), ou seja,  $\theta = t/T$ .

$C(\theta)$  é a concentração adimensional do traçador, medida na seção de monitoramento, no tempo relativo  $\theta$ .

Para que se possa ter uma melhor base de comparação entre as curvas de passagem obtidas para diferentes unidades e/ou condições de escoamento, é uma prática comum a obtenção de uma função  $E(\theta)$ , que satisfaça ao princípio da conservação de massa, resultando em um valor unitário para a área sob a curva. Para a obtenção das curvas  $E(\theta)$ , os valores de  $C(\theta)$  obtidos durante os testes com traçador são divididos pela taxa de recuperação de massa (Rec), conforme mostrado na equação 6:

$$E(\theta) = \frac{C(\theta)}{\text{Rec}} \quad (6)$$

A curva de passagem adimensional normalizada,  $E(\theta)$ , representa a função de densidade de probabilidade do tempo de residência das partículas no interior da unidade.

### **Determinação do índice de mistura $\sigma^2$**

A definição do índice  $\sigma^2$  é dada pela equação abaixo:

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_t^2}{\text{tg}^2} \quad (7)$$

onde,  $\sigma_t^2$  é a variância da curva de passagem:

$$\sigma_t^2 = \frac{T^2 \int_0^\infty \theta^2 \cdot E(\theta) \cdot d\theta}{\int_0^\infty E(\theta) \cdot d\theta} \quad (8)$$

e  $\text{tg}$  é o tempo correspondente ao centróide da área sob a curva de passagem, expresso por:

$$tg = \frac{T \int_0^{\infty} \theta \cdot E(\theta) \cdot d\theta}{\int_0^{\infty} E(\theta) \cdot d\theta} \quad (9)$$

Tendo em vista que a variância  $\sigma_t^2$  representa uma medida do grau de mistura global da unidade, o índice de mistura  $\sigma^2$  considera no seu valor vários aspectos do escoamento, como difusão, advecção diferenciada e zonas mortas.

### **Traçador utilizado**

Neste trabalho foi utilizado como traçador o cloreto de potássio (KCl), sendo o monitoramento de concentrações do traçador feito com um condutivímetro.

### **Descrição dos experimentos realizados**

Para se atingir os objetivos desta pesquisa, foram realizados 4 tipos de experimentos: Para o primeiro tipo, variou-se apenas o parâmetro  $\beta$ , entre 17 e 90, mantendo-se constantes os demais parâmetros ( $\beta'$ , profundidade do escoamento e vazão); para o segundo, variou-se apenas  $\beta'$  entre 5 e 25; para o terceiro tipo de experimentos, foram utilizados valores de profundidade do escoamento entre 0,12 metros e 0,63 metros, mantendo-se constante a vazão, a relação  $\beta$  e a relação  $\beta'$ . Finalmente, no último grupo, observou-se o comportamento hidrodinâmico em relação à variação de vazão diferentes vazões, correspondendo a Número de Reynolds variando na faixa de transição a turbulento.

### **ANÁLISE DIAGNÓSTICA DO MODELO DE MISTURA GLOBAL PARA UTA - TEIXEIRA (1993) – À LUZ DE NOVOS DADOS PARA UNIDADES CHICANADAS**

Como dito acima, o modelo de mistura proposto por Teixeira (1993) foi gerado com o emprego de um número limitado de dados, tornando, assim, insatisfatória a sua representatividade estatística. Apresenta-se a seguir uma análise qualitativa feita sobre a validade do referido modelo, à luz de novos dados levantados em unidades chicanadas com chicanas longitudinais, considerando o efeito da variação da vazão.

Os dados obtidos para cada valor de vazão são expressos por uma curva (7 pontos experimentais por curva) – ver figura 2 –, ou seja, um total de 8 curvas e 56 pontos.

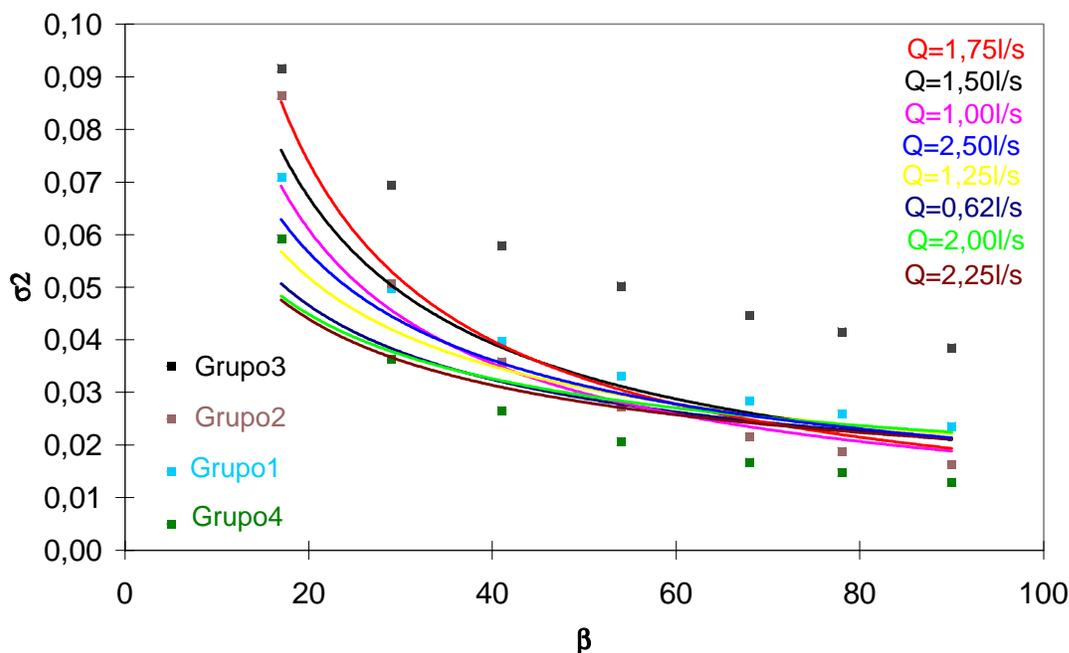


Figura 2 - Comparação entre os dados de Teixeira (1993) e os dados atuais, quando utilizou-se, para cada relação  $\beta$ , oito valores diferentes de vazão. [(Grupo 1: todas as unidades, sem distinção de configuração; Grupo 2: unidades chicanadas; Grupo 3: unidades com chicanas transversais; Grupo 4: unidades com chicanas longitudinais) – adaptado de Teixeira (1993)].

Pode-se observar na figura 3 que os grupos que melhor representam os dados experimentais são os de número 1 e 2, ou seja, aqueles que consideram “todas as unidades, sem distinção de configuração” e “todas as unidades chicanadas, sem distinção quanto ao alinhamento das chicanas”, respectivamente. Isto reforça o ponto que justificou o desenvolvimento dessa análise, que foi a falta de reprodutibilidade estatística das equações que compõem o modelo, principalmente para os grupos 3 e 4 que se baseiam numa quantidade bem menor de dados.

Os novos dados experimentais aqui apresentados mostram a tendência de convergência dos valores de  $\sigma^2$  com o aumento de  $\beta$ , revelando haver uma tendência de redução de dependência do grau de mistura global na unidade em relação à vazão - unidades com chicanas longitudinais -, para valores de  $\beta$  da ordem de 50 ou superior. A dispersão nos dados para valores de  $\beta$  inferiores a 40 passam a assumir valores significativos em relação ao valor de  $\sigma^2$ .

A pequena variação no valor de  $\sigma^2$  para  $\beta \geq 50$ , para os várias condições de escoamento consideradas no trabalho, sugere a revisão do modelo de Teixeira (1993), do tipo  $\sigma^2 = a.\beta^b$ , para unidades com chicanas longitudinais, considerando valores de  $\beta$  da ordem de 50 ou superior, com

base numa maior quantidade de dados disponíveis, inclusive levantados em unidades protótipos. A validação de um modelo do tipo será de grande valia para o projeto de UTA.

## DESENVOLVIMENTO DE NOVO MODELO MISTURA

O aumento da dispersão dos dados experimentais ( $\sigma^2 \times \beta$ ) com a diminuição do valor de  $\beta$ , apresentados na figura 3, sugere a introdução de outros elementos de projeto na avaliação da mistura global em UTA. Tal sugestão já havia sido feita por Almeida (1997).

No presente trabalho, buscou a inclusão de mais dois parâmetros dimensionais na avaliação da mistura global de UTA, em relação aos modelos propostos por Teixeira (1993), que são a vazão (Q) e a profundidade do escoamento (H) e o comprimento do compartimento chicanado (Lc). O índice de mistura global  $\sigma^2$  foi representado, de forma indireta (Levenspiel, 1972), pelo coeficiente de mistura global da unidade  $D_L$  (Siqueira, 1998). Detalhes do modelo de mistura que resultou dessa nova consideração é apresentado a seguir.

### O novo modelo

Fazendo-se uso da análise dimensional, e considerando as seguintes parâmetros dimensionais L, W, H, Q,  $D_L$  e Lc, chegou-se a um conjunto de parâmetros adimensionais ( $\pi$ ), os quais deram origem ao novo modelo de mistura global (ver anexo 1), equação 10:

$$\frac{\beta'\beta}{d} = c\beta^{c_1} \quad (10)$$

onde  $\beta = L/W$ ,  $\beta' = Lc/W$  e  $d = D_L/(U.L)$ ; U é a velocidade média na seção transversal de escoamento, que é dado pela razão  $Q/(H.W)$ ; c e  $c_1$  que podem ser obtidos por análise de regressão

O coeficiente adimensional de mistura global da unidade d é muito familiar às áreas da engenharia sanitária e ambiental, devido à sua relação com a eficiência de processos de tratamento (Teixeira, 1993; Moreira, 2000).

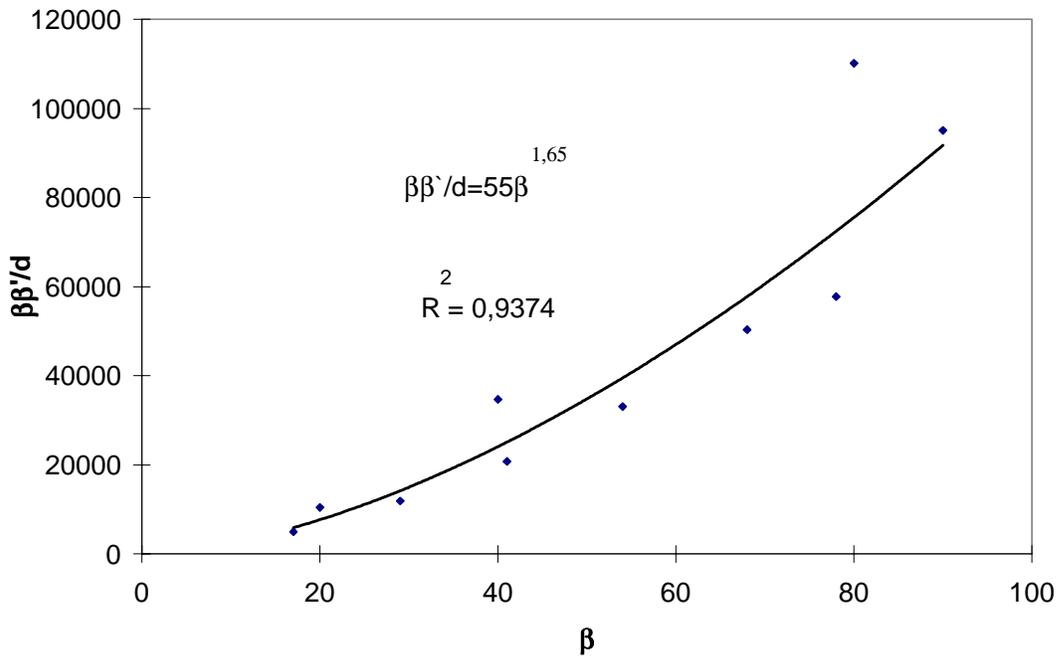


Figura 3 - Relação entre  $\beta$  e  $(\beta'\beta/d)$  – nova proposta de modelo de mistura global

O resultado da calibração da equação 10 utilizando-se os dados experimentais levantados no âmbito do presente trabalho, obtidos através de experimentação em modelo reduzido - como já descrito em seção anterior, é dado abaixo na equação 11 e apresentado graficamente na figura 3. Nesta figura, os pontos experimentais impressos juntamente com a curva de regressão são valores médios (Moreira, 2000).

$$\frac{\beta'\beta}{d} = 55\beta^{1,65}; \quad R^2 = 0,9374 \quad (11)$$

Os valores médios de  $(\beta'\beta)/d$  são bem representados pelo modelo dado pela equação 11, como indicado pelo valor do coeficiente de determinação  $R^2$ , que o torna uma promissora ferramenta de projeto de UTA. Devendo-se, portanto, ser submetido a testes que busquem a sua validação.

## CONCLUSÕES

- Utilizando-se uma série de dados do tipo  $(\sigma^2$  e  $\beta)$  para unidades com chicanas longitudinais, obtidos em modelo reduzido, foi possível verificar que o modelo proposto por Teixeira (1993) se mostra aplicável à avaliação do grau de mistura global nesse tipo de unidade, desde que as

funções de regressão, originalmente obtidas com base em uma quantidade muito limitada de dados, sejam redefinidas levando-se em consideração os novos dados disponíveis.

- Os resultados obtidos no presente trabalho indicam que o grau de mistura na unidade tende a tornar-se independente da condição da vazão de escoamento com o aumento da relação  $\beta$ .
- A introdução de outros parâmetros de projeto de UTA possibilitou a desenvolvimento de novo modelo de avaliação do grau de mistura global em UTA do tipo chicanada. A boa representação do modelo em relação ao pontos experimentais o torna uma ferramenta promissora para o projeto desse tipo de unidade para atender níveis mínimos de mistura.
- Tanto o modelo de mistura proposta por Teixeira (1993) quanto o novo modelo apresentado no presente trabalho necessitam ser validados para que seu emprego em aplicações práticas seja feito de forma segura.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores do presente trabalho gostariam de agradecer à CAPES/CNPQ pelo concessão de bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor, à FUNASA-ES pelo apoio financeiro ao projeto e ao Grupo de Estudos e Ações em Recursos Hídricos (GEARH/UFES) pelo apoio técnico, especialmente ao Sr. Antônio Carlos de Souza.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALMEIDA, M.M.P., “Estudo do efeito de defletor de escoamento e da relação comprimento/largura efetiva do escoamento na eficiência hidráulica de bacia de sedimentação”, Dissertação de mestrado, Departamento de Hidráulica e Saneamento, PME, UFES, 1997.
- HART, F.L., “Improved hydraulic performance of chlorine contact chamber” Journal of the Water Pollution Control Federation, Vol. 51, Nº 12, 1979, pp. 2868-2875.
- LEVENSPIEL, O., “Chemical reaction engineering”, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1972
- MARSKE, D.M. e BOYLE, J.D., “Chlorine contact tank desing - a field evaluation”. Water & sewage, January, 1973, pp 71-77.
- MOREIRA, C.R.F., “Estudo do Comportamento Hidrodinâmico de tanques de contato chicanados com Vistas à otimização da Desinfecção de água em tanques de contato de fluxo contínuo”, Dissertação de Mestrado, Departamento de Hidráulica e Saneamento, UFES, ES 1999.
- SEPP, E., “Optimization of chlorine disinfection efficiency”, Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, Vol.107, Nº. EE1, 1981, pp.139-153.

- 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 de mestrado, Departamento de Hidráulica e Saneamento, PMEA, UFES, 1998
- TEIXEIRA E.C. , “Hydrodynamic Processes and Hydraulic Efficiency of Chlorine Contact Units” , Ph.D. Thesis Department of Civil Engineering, University of Bradford, England, 1993.
- TEIXEIRA E. C. “Improvement of the hydraulic performance of a chlorine contact units by means of cross-baffling”, 18º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Salvador, 1995.
- TEIXEIRA, E.C., BRENDA, I.C.F., RESENDE, M.B. e NETO, E.S.C, “Diagnóstico da eficiência hidráulica de unidade de desinfecção de água e avaliação de medida para a redução de curtos circuitos”, XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Vitória, E.S., 1997.
- TEIXEIRA, E.C., FIGUEIREDEO, I.C., RESENDE, M.B., NETO, E.S., “Diagnóstico da Eficiência Hidráulica de Unidade de Desinfecção de Água e Avaliação de Medida para a Redução de Curtos-Circuitos”. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória-ES, Novembro, 1997.

## ANEXO 1

### Análise Dimensional

As dimensões das grandezas consideradas neste estudo são apresentadas na tabela 2:

Tabela 2 - Relação das grandezas e seus respectivos símbolos e dimensões

Grandezas	Símbolos	Dimensões
comprimento do escoamento	L	L
largura do compartimento	W	L
Profundidade	H	L
Vazão	Q	$L^3 T^{-1}$
coeficiente de mistura global	$D_L$	$L^2 T^{-1}$
comprimento do compartimento	$L_c$	L

Como o problema consiste de seis grandezas com duas dimensões, tem-se os quatro seguintes parâmetros adimensionais  $\pi$ :

Foram considerados H e  $D_L$  como grandezas de base:

$$\pi_1: \quad (L^1)^{a_1} (L^2 T^{-1})^{b_1} (L)$$
$$\quad \quad \quad H \quad D_L \quad L$$

Solução do sistema de equações:

$$\text{Para } L: \quad a_1 + 2b_1 + 1 = 0$$

$$\text{Para } T: \quad -b_1 = 0$$

$$\text{Com isso:} \quad a_1 = -1 \text{ e } b_1 = 0 \text{ e } \pi_1 = L/H$$

Da mesma forma, obtém-se:

$$\pi_2 = W/H$$

$$\pi_3 = L_c/H$$

$$\pi_4 = Q/(H \cdot D_L) = (U \cdot H \cdot W) / (H \cdot d \cdot U \cdot L) = W / (L \cdot d)$$

A partir desses valores de  $\pi$ , foi proposta, neste trabalho, a seguinte função:

$$(\beta' \beta/d) \times (\beta) \text{ dado por: } (\pi_1^2 \times \pi_2^{-3} \times \pi_3 \times \pi_4) \times (\pi_1 \times \pi_2^{-1})$$