

# **ESCOAMENTO TURBULENTO APLICADO À IRRIGAÇÃO LOCALIZADA COM MICROTUBOS - MODELOS PARA DIMENSIONAMENTO**

W. J. Souza<sup>1</sup>; T. A. Botrel<sup>2</sup>; C. B. Correa<sup>3</sup>;

**RESUMO:** O presente trabalho teve como objetivo avaliar dois modelos matemáticos para dimensionamento de microtubos, sob regime de escoamento turbulento, onde se considerou: a perda de carga no microtubo, perda de carga localizada e por energia de velocidade na saída do microtubo. Os modelos foram avaliados com o dimensionamento de uma linha lateral de irrigação utilizando o coeficiente k de perda de carga localizada obtido em laboratório, e apresentaram bons desempenhos, tendo em vista que os dados de vazão coletados estiveram próximos da vazão de projeto, com coeficiente de determinação acima de 98%, alto índice de precisão e exatidão, baixo erro médio absoluto e coeficiente de variação de vazão. Dessa forma, pode-se dizer que o projeto de sistema de irrigação com microtubos em regime de escoamento turbulento utilizando os modelos matemáticos se mostrou tecnicamente viável.

**PALAVRAS-CHAVE:** linha lateral, perda de carga, hidráulica

## **TURBULENT FLOW APPLIED TO LOCALIZED IRRIGATION WITH MICROTUBES - MODELS FOR SIZING**

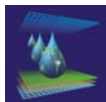
**SUMMARY:** This work aimed to evaluate two mathematical models for microtubes design, under turbulent flow, where it's considered: the head loss in the microtube, localized head loss and the velocity head loss at extremities of the microtube. The models were evaluated with the size of a lateral line irrigation, using the k value of localized head loss, obtained in the laboratory, and showed good performance, since the data of discharge collected were close to theoretical discharge, with coefficient of determination over 98%, high precision and accuracy, low mean absolute error and coefficient of variation of discharge. Thus, we can say that the design of irrigation system with microtubes on a turbulent flow using the mathematical models was technically feasible.

**KEYWORDS:** lateral line, head loss, hydraulic

<sup>1</sup> Pesquisador, ESALQ/USP, Caixa postal 09, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. Fone: (19)34478549.e-mail: wjsouza@esalq.usp.br.

<sup>2</sup> Professor Associado, Depto de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

<sup>3</sup> Pesquisadora, Dpto de Agroindústria, Alimentos e nutrição, ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

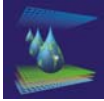


## **INTRODUÇÃO**

A irrigação localizada é um tipo de sistema que permite utilizar a água de maneira eficiente, sem comprometer a produção final, contribuindo para a redução dos problemas ligados à questão da escassez dos recursos hídricos. Esta é dentre as técnicas de irrigação, a que mais cresceu nos últimos anos, em função da maneira racional do uso da água AIROLDI (2003), portanto, os microtubos podem ser uma alternativa viável para tal método, buscando baixo custo e alto nível tecnológico. Para sua utilização, existem alguns que devem ser considerados: coeficiente K de dissipação de energia cinética, dissipação de energia devido à velocidade de saída do líquido e à passagem do líquido dentro do microtubo, conforme recomendado por SOUZA (2004). A determinação destes fatores pode ser feita em laboratório, com auxílio da equação universal, utilizando o fator  $f$  de Blasius em escoamento turbulento e o coeficiente K de perda de carga localizada. Segundo VERMEIREN E JOBLING (1980), a relação entre vazão, comprimento, energia piezométrica e diâmetro interno do microtubo podem ser representadas em uma só equação. Com os dados de laboratório, é possível elaborar um modelo matemático para dimensionamento de projetos de irrigação. Vários autores utilizaram modelos matemáticos em irrigação, citando dentre outros: MAIA (1994), BASTO (1997) e SOUZA (2005), obtendo-se bons resultados. Em busca de precisão e rapidez nos cálculos, os modelos podem ser inseridos em uma linguagem de programação, e para sua aferição, é importante a realização de testes que permitam avaliar a relação entre os dados estimados e os dados observados, para que então se proceda a sua validação. O objetivo deste trabalho foi avaliar dois modelos matemáticos propostos para dimensionamento de microtubos operando em regime de escoamento turbulento.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Utilizou-se os microtubos V, A, L, Az, com diâmetros externo de 2,500 mm e internos de 0,702; 0,761; 0,893 e 1,109, respectivamente. Para quantificação da perda de carga localizada, utilizou-se valores de K de dissipação de energia cinética, determinados em laboratório. Dois modelos Matemáticos – hidráulicos para estimativa dos comprimentos dos microtubos foram desenvolvidos: um modelo denominado UNIVERSAL, eq.(1), proposto a partir da equação de Darci-Weistbach em função das energias dissipadas no cabo e no microtubo, e pelas equações de dissipação de energia localizada e em função da velocidade da



água na saída do microtubo; outro, denominado WSBOTREL, eq.(2), utilizando as mesmas equações, porém, adaptadas aos dados obtidos em laboratório. Com auxílio dos modelos propostos, dimensionou-se para sessenta diferentes pressões, o comprimento dos microtubos para determinada vazão de projeto, instalados em uma linha lateral. O volume de água aplicado por cada microtubo foi coletado, sendo que as vazões observadas e de projeto (vazões estimadas) foram utilizadas para análise e avaliação dos modelos, por meio do índice de correlação de Pearson, índice de concordância de Willmott, erro médio absoluto e índice médio de erros da vazão representados pelas equações (1) e (2). Os detalhes esquemáticos para confecção dos modelos se encontram em SOUZA (2008).

$$L_1(B_1C) = \left\{ \frac{K}{Q} \left[ (P_D - H_{f_{D-A}}) \pm dZ - (Z_C - Z_A) \right] + \left( \frac{V_A}{D_A} \right) \right\} \quad (21'')$$

$$L_1(B_1C) = \left\{ \frac{K}{Q} \left[ (P_D + \frac{V_A}{D_A}) \right] \right\} \quad (21''')$$

Em que  $P_D$  é a carga de pressão na entrada do cabo (m);  $H_{f_{D-A}}$  é a energia dissipada na lateral entre dois pontos D e A (m);  $dZ$  é a diferença de nível (m) entre D e A ( $Z_D - Z_A$ );  $Z_C$  e  $Z_A$  são as cotas na saída do microtubo e na inserção do cabo na lateral (m), respectivamente;  $Q$  é a vazão no microtubo ( $m^3s^{-1}$ );  $\nu$  é a viscosidade cinemática da água ( $m^2s^{-1}$ );  $D_A$  e  $D_B$  são os diâmetros internos do cabo e microtubo (m), respectivamente;  $L_{A-B}$  e  $L_{B-C}$  são os comprimentos do cabo e microtubo (m), respectivamente;  $K$  é a constante de dissipação de energia na entrada do microtubo;  $V_A$  e  $V_D$  são as velocidades da água entre A e D ( $ms^{-1}$ ), respectivamente na linha lateral;  $R_A$  e  $R_B$  são Reynolds no cabo e microtubo, respectivamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 (a, b) apresenta graficamente as vazões de projeto (estimadas), e observadas nos testes em linha lateral com os microtubos V, A, L e Az. A Tabela 1 traz alguns indicadores de desempenho estatístico, sendo eles: coeficiente de correlação de Pearson (precisão); concordância de Willmott (exatidão), erro médio absoluto (EMA) e índice médio de erro da vazão (s), calculados em função da vazão de projeto e observadas nos microtubos V, A, L e Az, ao longo da linha lateral.

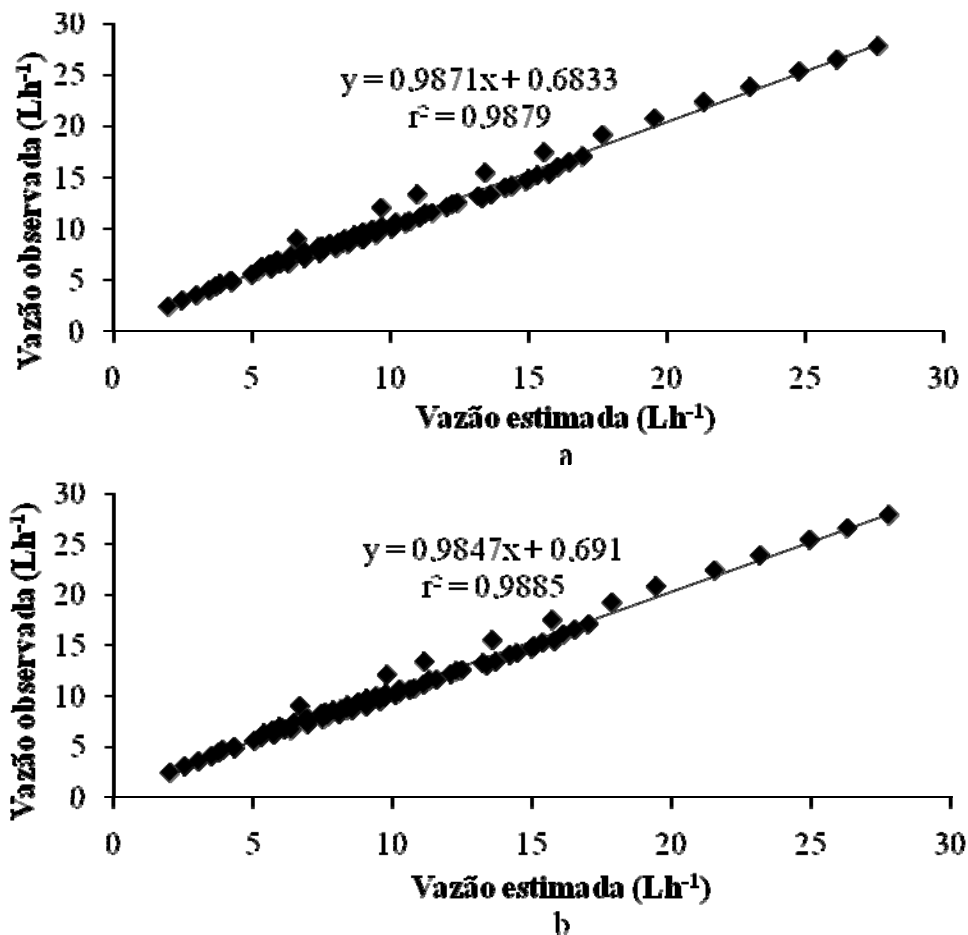
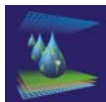
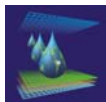


Figura 1 - Vazão estimada e observada, utilizando o modelo UNIVERSAL (a) e WSBOTREL (b).

Tabela 1 - Erro médio absoluto (Lh<sup>-1</sup>), correlação de Pearson, concordância de Willmott e índice médio de erros (s), utilizando as vazões estimadas e observadas nos microtubos.

Método de análise	Microtubo			
	V	A	L	Az
Modelo UNIVERSAL				
Pearson	0,9934	0,9702	0,9971	0,9898
Willmot	0,9820	0,9791	0,9931	0,9849
EMA (Lh <sup>-1</sup> )	0,4939	0,5943	0,3279	0,9222
S (%)	7,5430	7,9420	3,1101	5,4600
Modelo WSBOTREL				
Pearson	0,9928	0,9679	0,9975	0,9853
Willmot	0,9827	0,9792	0,9938	0,9860
EMA (Lh <sup>-1</sup> )	0,4749	0,5693	0,3129	0,8812
S (%)	7,2320	7,5830	2,9603	5,2000

A dispersão apresentada nos gráficos da Figura 1 foi quase nula entre os pares de valores, tendo - se alta relação entre os dados observados e estimados, com R<sup>2</sup> acima de 98 %. De acordo com os valores apresentados na Tabela 1, por meio de ambos os modelos se obteve ótimo desempenho. Os valores de vazão foram estimados precisamente e exatamente acima



## **XIX CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

*30 de Agosto a 04 de Setembro 2009*

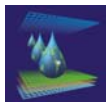
*Montes Claros- MG / Brasil*

de 96% e 97%, quando se utilizou o coeficiente de correlação de Pearson e o índice de concordância de Willmott, respectivamente, para todos os microtubos. O erro médio absoluto também teve valores parecidos entre os modelos, sendo que o modelo WSBOTREL apresentou resultados ligeiramente inferiores ao UNIVERSAL. O maior EMA ocorreu quando se utilizou o microtubo Az que apresenta maior diâmetro, entretanto, não se pode dizer que este erro aumenta em função de se ter maior diâmetro, pois existem outras variáveis interferentes, como é o caso da variação na medida do diâmetro do microtubo, valores de Reynolds e vazão elevados, tornando-se sensível a variação de vazão, principalmente no microtubo Az que tem maior diâmetro. Analisando o índice médio de erros, nota-se que os valores apresentados quando se utilizou o modelo WSBOTREL, foram sensivelmente menores para todos os microtubos, quase não sendo notada diferença. Por outro lado, a maior variação no índice médio de erros foi de 7,94% para o microtubo A, utilizando o modelo UNIVERSAL, o que significa excelência em termos de campo. A pequena diferença de erros entre os modelos pode ser explicada pelo fato de que quando se trabalha com um modelo gerado a partir de testes de laboratório, aumenta-se a chance de utilizar de maneira mais correta, variáveis como rugosidade relativa do material, estando a mesma representada indiretamente no modelo WSBOTREL.

## **CONCLUSÕES**

Os modelos matemáticos UNIVERSAL e WSBOTREL apresentaram bons desempenhos no dimensionamento dos comprimentos dos microtubos, utilizando o coeficiente K de dissipação de energia localizada. A avaliação de uma linha de irrigação com microtubos operando em regime de escoamento turbulento mostrou que a utilização dos modelos para dimensionamento dos comprimentos de todos os microtubos estudados foi precisa e exata a 96% e 97%, quando se utilizou o coeficiente de correlação de Pearson e o índice de concordância de Willmott, respectivamente.

## **AGRADECIMENTOS**



## **XIX CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

*30 de Agosto a 04 de Setembro 2009*

*Montes Claros- MG / Brasil*

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, através do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação (INCTEI) e à plasnova tubos LMTA pela doação dos microtubos e outros materiais.

### **REFERÊNCIAS**

AIROLDI, R.P. da S. Eficiência dos meios filtrantes disco e manta sintética não tecida em fertirrigação por gotejamento. Campinas, 2003. 204p. Dissertação (Mestrado em Água e Solo) – Universidade de Campinas, UNICAMP.

MAIA, L.A.F. Desenvolvimento de um software para auxiliar no dimensionamento e manejo da irrigação localizada. Piracicaba, 1994. 158p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP.

SOUZA, R.O.R.M. BOTREL, T.A. Modelagem para dimensionamento microtubo em irrigação localizada. Rev. Bras. Eng. Agric. e Ambiental, Viçosa, v.8, n.1, p.16-22, 2004.

SOUZA, I.H. DE; ANDRADE, E.M. DE; SILVA, E.L. DA. Avaliação hidráulica de um sistema de irrigação localizada de baixa pressão, projetado pelo software “bubbler”. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.1, p.264-271, 2005.

SOUZA, W.J. Escoamento em regime turbulento aplicado à Irrigação localizada com microtubos. Piracicaba, 2008. 117p. Dissertação (Mestrado Irrigação e Drenagem) – Universidade De São Paulo, ESALQ/USP.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. Localized Irrigation. Design, Installation, Operation, Evaluation. Irrigation and Drainage, Roma, n.36, p. 203, 1980.