

COEFICIENTE DE CARGA CINÉTICA (k) EM TUBO EMISSOR

José Henrique Nunes Flores¹, Bernardo Gomes Nörenberg², Alberto Colombo³, Lessandro Coll Faria⁴, Osvaldo Rettore Neto⁵, Gustavo Borges Lima⁶

RESUMO: O objetivo deste estudo foi avaliar diferentes modelos de estimativa do coeficiente de carga cinética (k) de um tubo emissor. Foram utilizadas quatro diferentes seções longitudinais de tubo emissor da marca Rain Bird, modelo XF-SDI, de 16 mm de diâmetro nominal com emissores espaçados em 0,3 m e vazão nominal de 2,27 l h⁻¹. Todas as seções apresentavam o mesmo comprimento (10,2 m), tomadas de pressão nas extremidades, e possuíam 34 emissores, que foram totalmente vedados. Efetuaram-se 229 observações de valores simultâneos de vazão, temperatura da água e diferença da carga hidráulica total entre os pontos de tomada de pressão. Foi observado que os valores do coeficiente de carga cinética (k) tendem a diminuir com o aumento de número de Reynolds (Re). Observou-se também que, nos regimes laminar e crítico, o valor absoluto da taxa dk/dRe é maior que o seu equivalente no regime turbulento. Consequentemente, os modelos que incorporam o número de Reynolds nas estimativas do coeficiente de carga cinética apresentaram resultados melhores que os modelos que o consideram apenas a obstrução causada pelo emissor.

PALAVRAS-CHAVE: irrigação localizada, número de Reynolds, perda de carga.

EMITTER PIPE KINETIC HEAD COEFFICIENT (k)

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate different estimation models of kinetic head coefficient (k) of an emitter tube. Four different longitudinal sections of Rain Bird XF-SDI emitter pipe, 16 mm nominal diameter with emitters spaced at 0.3 m and nominal flow rate of

¹ Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

² Doutorando, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

³ Prof. Ph.D., Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras, MG. Fone (35) 3829 1388. Email: acolombo@ufla.br.

⁴ Prof. Dr., Engenharia Hídrica, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

⁵ Prof. Dr., Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, MG.

⁶ Graduando, Engenharia Hídrica, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

2.27 l h⁻¹, were used. Sections had the same length (10.2 m), pressure taps at the extremities, and 34 sealed emitters. Were performed 229 observations of simultaneous values of flow, water temperature, and difference of total head between pressure taps. It was observed that the values of the kinetic head coefficient (k) tend to decrease with the increase of Reynolds number (Re). It was also noted that in the laminar and critical regimes, the absolute value of the rate dk/dRe is greater than its equivalent in the turbulent regime. Consequently, the models that incorporate the Reynolds number in the estimates of the kinetic head coefficient presented better results than the models that consider it only the obstruction caused by the emitter.

KEYWORDS: head loss, Reynolds number, trickle irrigation.

INTRODUÇÃO

O correto dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação são imprescindíveis para atingir níveis adequados de eficiência de uso da água (Heermann et al., 1992), que são primordiais para o enfrentamento do aumento da demanda dos recursos hídricos. Nesse sentido, o correto dimensionamento de sistemas de irrigação localizada requer o conhecimento das características hidráulicas dos tubos gotejadores (Wu, 1992).

A perda de carga ao longo da linha lateral e o desnível da linha lateral são parâmetros imprescindíveis para o cálculo da distribuição de carga de pressão ao longo da linha (Howell & Hiller, 1974). Neste sentido, Howell & Barinas (1980), reiteram que a estimativa da perda de carga é fundamental para o dimensionamento do sistema de irrigação localizada (comprimento da linha, espaçamento entre emissores, diâmetro do tubo, vazão do emissor).

Howell & Hiller (1974) e Keller & Karmelli (1974) sugerem que a perda de carga localizada, causada pela inserção do emissor na tubulação, também deveria ser considerada no dimensionamento da linha lateral. Em ensaios experimentais, Al-Amound (1995), identificou que a perda de carga localizada pode assumir valores na ordem de 15% a 33% da perda de carga total de linhas laterais com diâmetros de 13 mm, e de 5% a 15% em diâmetros de 25 mm.

A perda de carga localizada causada pelos emissores pode ser considerada função da obstrução causada pelos emissores (forma e tamanho), sendo que são sugeridos procedimentos experimentais para determinação da perda de carga localizada e seu respectivo coeficiente de carga cinética (Al-Amound, 1995; Bagarello et al., 1997).

Bagarello et al. (1997) relataram incertezas para o correto dimensionamento de linhas laterais de irrigação localizada em função de variações no valor de coeficiente de carga cinética

(k), de perda de carga localizada dos emissores, em situações onde o número de Reynolds atinge valores menores do que 10000.

Porém, alguns autores consideram o coeficiente de carga cinética fixo, em função da obstrução causada pelos emissores na tubulação. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar diferentes modelos de estimativa do coeficiente de carga cinética (k) de um tubo emissor, incorporando em alguns modelos valor do número de Reynolds (Re).

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do trabalho, foi utilizada a bancada experimental de ensaios de tubos, tubos emissores e emissores de irrigação localizada, desenvolvida por Flores et al. (2017). O tubo emissor estudado foi o Rain Bird - XF-SDI, com diâmetro nominal de 16 mm, vazão nominal de 2,27 l h⁻¹, autocompensante, faixa de operação de carga de pressão de 6,02 a 42,22 m, e características geométricas do tubo emissor, 0,1365 mm e 0,28, diâmetro interno e o índice de obstrução.

A linha ensaiada era constituída de 34 emissores, espaçados em 0,30 m, totalizando 10,2 m de comprimento entre as tomadas de pressão, foram realizados quatro ensaios com diferentes seções longitudinais de tubo emissor. O procedimento para instalação das tomadas de pressão e a construção das tomadas de pressão foi realizado de acordo com Flores et al. (2017).

Durante o ensaio a carga de pressão de entrada foi mantida constante (20 m), para evitar dilatação no tubo e diminuir erros na mensuração dos dados, variando somente a vazão. Para cada valor de vazão foram anotados os valores de diferença de carga hidráulica entre as tomadas de pressão e temperatura, totalizando 229 observações.

Os emissores foram vedados a fim de evitar variação da carga cinética ao longo da linha ensaiada, assim como, o tubo emissor foi mantido em nível, para que a variação da carga de posição fosse desconsiderada. Deste modo, a diferença de carga hidráulica entre as tomadas de pressão pode ser considerada como a perda de carga total do tubo emissor.

A perda de carga continua foi estimada por meio da equação universal de perda de carga, equação de Darcy-Weissbach. A perda de carga localizada, causada pela inserção do emissor, foi obtida conforme metodologia descrita por Flores et al. (2017).

O fator de atrito de Darcy foi calculado com base no regime de escoamento. Para regime laminar ($Re \leq 2000$), utilizou-se a equação derivada da equação de Hagen-Poiseuille, ao passo que para o regime turbulento ($Re \geq 4000$) utilizou-se a equação de Blasius, considerando 0,316

e 0,25, para os coeficientes c e m , respectivamente, conforme proposto por Bagarello et al. (1995). Já para o regime crítico, conforme proposto por Rossman, (2000), utilizou-se uma interpolação cúbica, considerando a rugosidade absoluta da tubulação como sendo zero.

Foram avaliados cinco modelos de estimativa do coeficiente k :

- k_1 - Coeficiente angular da regressão linear entre a perda de carga localizada e a carga cinética;
- k_2 - Coeficiente angular da regressão linear entre a perda de carga localizada e a carga cinética, considerando somente os dados com $Re > 4000$ (Flores et al. 2017);
- k_3 - Modelo de estimativa em função do índice de obstrução do tuboemissor (Flores et al., 2017);
- k_4 - Modelo de estimativa em função do número de Reynolds; e,
- k_5 - Modelo de estimativa em função do número de Reynolds, composto de três equações, uma para cada regime de escoamento.

Para comparação do desempenho dos modelos, foram comparadas a perda de carga localizada estimada pelos modelos com a perda de carga localizada observada, utilizando-se o erro relativo, coeficiente de correlação de Pearson e o índice de confiança de Camargo (Camargo & Sentelhas, 1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da regressão linear (Figura 01) entre a perda de carga localizada causada pelo emissor e a carga cinética obteve-se o valor do coeficiente de carga cinética k_1 (0,83), constante em função da variação de velocidade de escoamento.

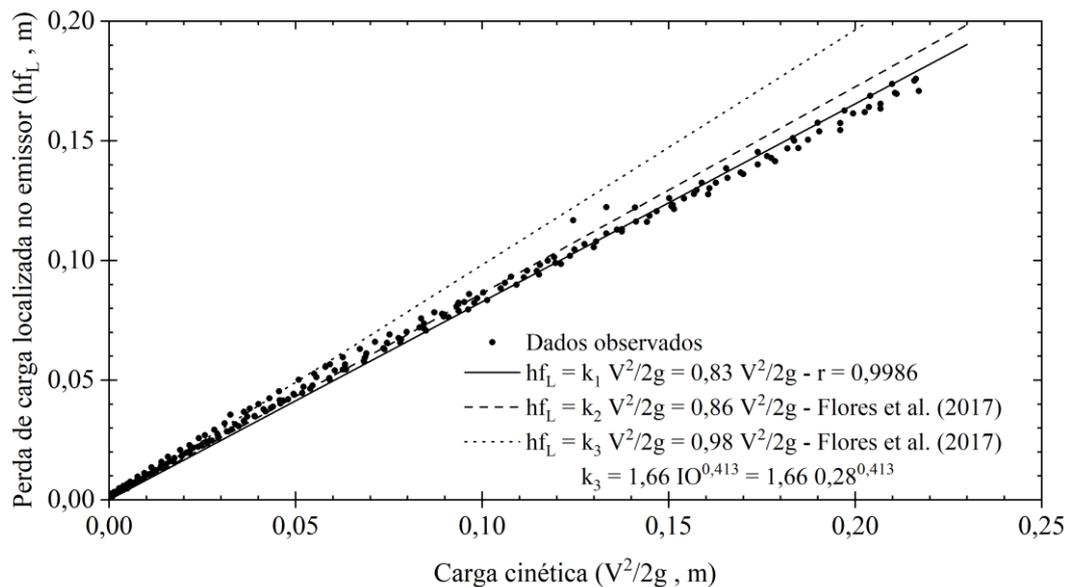


Figura 01. Perda de carga localizada causada pelo emissor em função da carga cinética.

Também através de regressão linear, porém considerando valores com $Re \geq 4000$, Flores et al. (2017) encontraram 0,87 como valor de coeficiente de carga cinética k_2 , para o mesmo tubo emissor. De acordo com Bagarello et al. (1997), a perda de carga localizada causada pelo emissor é função da obstrução causada pelos emissores (forma e tamanho), sendo que o coeficiente de carga cinética pode ser obtido em função do índice de obstrução do emissor.

Neste sentido, Rettore Neto et al. (2009) propuseram um modelo para a estimativa do coeficiente de carga cinética em função do índice de obstrução para tubos emissores do tipo pastilha. Posteriormente, Flores et al. (2017), ajustou novos coeficientes para o modelo, com um grupo de dados ampliado, dentre eles o Rain Bird XF-SDI.

Considerando o tubo emissor estudado, o valor do coeficiente de carga cinética k_3 , obtido através do índice de obstrução foi de 0,98, sendo que k_3 , também é constante em relação ao número de Reynolds.

Em relação ao comportamento do coeficiente de carga cinética em função do número de Reynolds, observou-se que os valores do coeficiente de carga cinética tendem a diminuir com o aumento do número de Reynolds (Figura 02). Notou-se também que para os regimes laminar e crítico, o valor absoluto da taxa dk/dRe foi maior que o seu equivalente no regime turbulento.

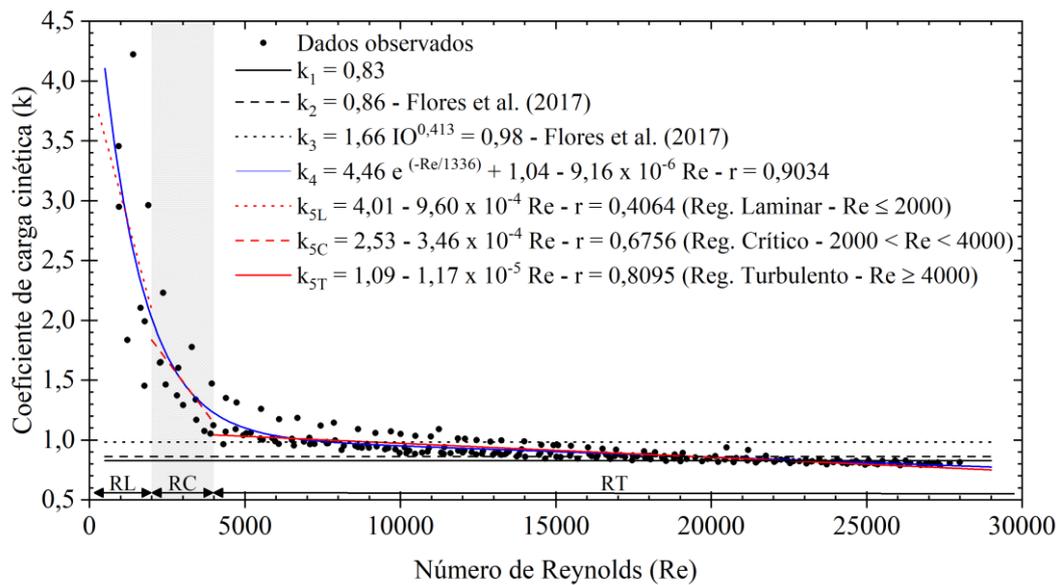


Figura 02. Coeficiente de carga cinética em função do Número de Reynolds

O comportamento do coeficiente de carga cinética em função do número de Reynolds é semelhante ao observado em trabalhos da literatura (Bagarello et al., 1997; Provenzano & Pumo, 2004; Rettore Neto et al., 2009).

Para Bagarello et al. (1997) o coeficiente de carga cinética pode ser considerado constante em relação ao número de Reynolds, quando se considera $Re > 10000$. De acordo com Provenzano & Pumo (2004) os valores do coeficiente de carga cinética podem ser considerados constantes, mesmo que para condições de $Re < 5000$, o valor de k possa aumentar com a redução de Re .

O modelo para estimativa do coeficiente de carga cinética, em função de toda a faixa do número de Reynolds (k_4), gerou uma função do tipo exponencial, ao passo que, o modelo k_5 foi composto de três equações lineares (k_{5L} , k_{5C} , e, k_{5T}).

Esta abordagem é inovadora do ponto de vista do coeficiente de carga cinética para emissores de irrigação localizada. Buscou-se deste modo reduzir os erros nas regiões de regime laminar e crítico, que se encontram no final da linha lateral.

Neste sentido, pode ser observado na Figura 03, que os modelos com coeficiente de carga cinética constantes em relação ao número de Reynolds apresentaram os maiores erros relativos quando se considerou os regimes laminar e crítico, quando comparada a perda de carga obtida pelos métodos.

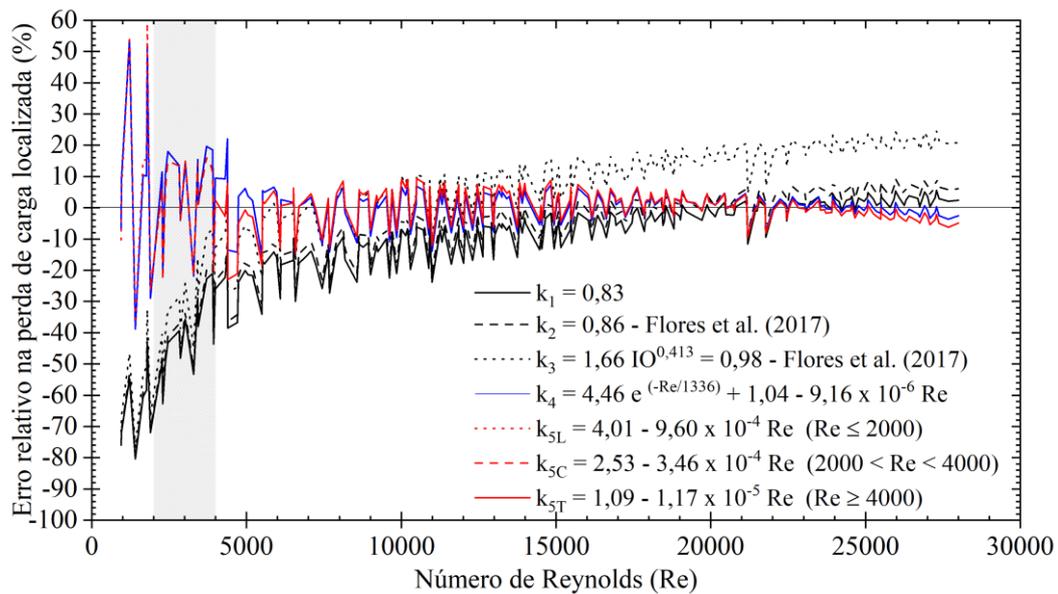


Figura 03. Erro relativo da perda de carga localizada, considerando os diferentes modelos de estimativa, em função do Número de Reynolds.

Maiores erros nos coeficientes de carga cinética constantes podem estar associados a não utilização ou baixo número de dados nos regimes laminar e crítico, tendenciando o melhor ajuste dos dados ao regime turbulento. Em seus estudos, Bagarello et al. (1997) e Rettore Neto et al. (2009), consideraram somente o regime turbulento para a estimativa do coeficiente de carga cinética.

O modelo de estimativa do coeficiente de carga cinética, em função do índice de obstrução apresentou tendência no aumento do erro relativo, considerando o regime turbulento, com o aumento do número de Reynolds. O coeficiente k_3 é o maior valor fixo em relação aos modelos que não levam em consideração o número de Reynolds, o que explica este comportamento.

De modo geral, para os regimes laminar e crítico, os erros relativos foram maiores em relação ao regime turbulento, para todos os modelos. Alguns fatos podem corroborar com este comportamento, inicialmente são poucos dados coletados nestes regimes, devido as dificuldades controle de pequenas vazões, e a perda de carga é pequena, o que pode ocasionar erros de mensuração da perda de carga nos ensaios com baixa velocidade de escoamento.

O índice de confiança de Camargo (Tabela 01), demonstrou que os coeficientes de carga cinética em função do número de Reynolds apresentaram os melhores desempenhos para todos os regimes, e para o grupo de dados completo

Tabela 01. Estatística dos modelos para a estimativa do coeficiente de carga cinética (k)

Regime	Coeficiente	k ₁	k ₂	k ₃ (IO)	k ₄ (Re)	k ₅ (Re)
Laminar (Re<2000)	r	0,7042	0,7042	0,7042	0,6942	0,6934
	c	0,3697	0,3736	0,3898	0,5550	0,5631
Crítico (2000<Re<4000)	r	0,8447	0,8447	0,8447	0,8423	0,8398
	c	0,5289	0,5466	0,6241	0,7658	0,7612
Turbulento (Re>4000)	r	0,9986	0,9986	0,9986	0,9989	0,9985
	c	0,9971	0,9961	0,9764	0,9983	0,9976
Todos	r	0,9986	0,9986	0,9986	0,9990	0,9987
	c	0,9974	0,9965	0,9799	0,9986	0,9979

Coeficiente de correlação de Pearson (r); índice de confiança de Camargo (c); coeficiente de carga cinética ajustado por regressão ($k_1 = 0,83$); coeficiente de carga cinética ajustado por regressão considerando apenas o regime turbulento ($k_2 = 0,86$); coeficiente de carga cinética obtido através do índice de obstrução ($k_3(\text{IO}) = 0,98$); coeficiente de carga cinética em função do número de Reynolds ($k_4(\text{Re})$); e, coeficiente de carga cinética em função do número de Reynolds, três equações ($k_5(\text{Re})$).

Observa-se que os modelos de estimativa do coeficiente de carga cinética apresentam os piores desempenhos no regime laminar, ainda neste sentido, os coeficientes de carga estimados sem levar em consideração o número de Reynolds apresentaram os piores desempenhos.

Com exceção do coeficiente de carga cinética k_2 , os melhores resultados foram observados quando se considerou o conjunto total de dados, resultado esperado, pois este modelo foi ajustado apenas com dados do regime turbulento, onde apresentou o melhor desempenho.

De modo geral, os modelos que levam em consideração o número de Reynolds na estimativa do coeficiente de carga cinética apresentaram os melhores resultados. Os autores consideram que a incorporação do número de Reynolds na estimativa do coeficiente de carga cinética são uma alternativa que pode ser utilizada no dimensionamento de sistemas de irrigação. Porém ressaltam a necessidade de mais estudos, afim de melhorar os modelos, incorporando também as características geométricas dos emissores.

CONCLUSÕES

Os modelos para estimativa do coeficiente de carga cinética em função do número de Reynolds apresentaram resultados melhores quando comparados aos coeficientes de carga cinética constantes, podendo se tornar uma alternativa nos modelos de estimativa de perda de carga em linha laterais para o tubo emissor Rain Bird - XF-SDI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-AMOUD, A. I. Significance of Energy Losses Due to Emitter Connections in Trickle Irrigation Lines. **Journal of Agricultural Engineering Research**, 1995.
- BAGARELLO, V.; FERRO, V.; PROVENZANO, G.; PUMO, D. Evaluating Pressure Losses in Drip-Irrigation Lines. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 123(1), 1–7. 1997.
- CAMARGO, A. P. de; SENTELHAS, P. C. Performance evaluation of different potential evapotranspiration estimating methods in the State of São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. 5(1), 89-97. 1997.
- FLORES, J. H. N.; RETTORE NETO, O.; FARIA, L. C.; TIMM, L. C. Estimation of the kinetic head coefficient (k) based on the geometric characteristics of emitter pipes. **Engenharia Agrícola**, 37(6), 1091–1102. 2017.
- HEERMANN, D. F.; DUKE, H. R.; SERAFIM, A. M.; DAWSON, L. J. Distribution functions to represent center-pivot water distribution. **Transactions of American Society of Agricultural Engineers**. v.32, n.5, p.1465-1472, 1992.
- HOWELL, T. A.; BARINAS, F. A. Pressure Losses Across Trickle Irrigation Fittings and Emitters. **Transactions of the ASAE**, v. 23, n. 4, p. 928–933, 1980.
- HOWELL, T. A.; HILER, E. A. Trickle Irrigation Lateral Design. **Transactions of the ASAE**, v. 17, n. 5, p. 0902–0908, 1974.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle Irrigation Design Parameters. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 17, n. 4, p. 678–684, 1974.
- PROVENZANO, G.; PUMO, D. Experimental Analysis of Local Pressure Losses for Microirrigation Laterals. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 130, n. 4, p. 318–324, 2004.
- RETTORE NETO, O.; MIRANDA, J. H. de; FRIZZONE, J. A.; WORKMAN, S. R. Local head loss of non-coaxial emitters inserted in polyethylene pipe. **Transactions of the ASABE**, 52(3), 729–738. 2009.

José Henrique Nunes Flores et al.

WU, I. Energy gradient line approach for direct hydraulic calculation in drip irrigation design. **Irrigation Science**. 13(1), 21-29. 1992.