

PERDA DE CARGA EM TUBULAÇÃO COM DOIS DIÂMETROS E MÚLTIPLAS SAÍDAS

Leidiane Portugal¹, Larissa Godarelli Farinassi², João Carlos Cury Saad³

RESUMO: Em algumas situações as tubulações com múltiplas saídas de sistemas de irrigação requerem o uso de dois diâmetros, sendo essencial estimar a perda de carga em toda a sua extensão. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia de seis procedimentos diretos e indiretos, fundamentados em coeficientes de correção, na estimativa da perda de carga em tubulações com dois diâmetros e com múltiplas saídas, adotando como referência o método de cálculo trecho a trecho. Todos os procedimentos avaliados ficaram próximos da perda de carga obtida pelo método trecho a trecho, podendo ser adotados quando conveniente. As metodologias de Keller & Bliesner com F de Christiansen e de Anwar foram as que proporcionaram menor desvio na perda de carga estimada (-1,4%).

PALAVRAS-CHAVE: hidráulica; sistemas de irrigação; aspersão

HEAD LOSS IN A TWO DIAMETERS PIPE WITH MULTIPLE OUTLETS

ABSTRACT: In some situations, the multiple outlets pipes of irrigation systems require the use of two diameters, being essential to estimate the head loss in the total pipeline extension. This work aimed to evaluate the effectiveness of six direct and indirect procedures, based on correction coefficients, in the head loss estimation in pipes with two diameters and with multiple outlets, adopting as reference the step-by-step method. All the evaluated procedures were close to the head loss obtained by the reference method. The methodologies of Keller & Bliesner with F of Christiansen and Anwar were those that provided the smallest deviation in the estimated head loss (-1.4%).

KEYWORDS: hydraulic; irrigation systems; sprinkler.

¹ Mestranda, UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP. Fone: (35) 99822-7556. E-mail: leidiane.portugal@hotmail.com

² Doutoranda, UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP.

³ Eng Agrônomo, Professor Titular, Departamento de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Av. Universitária, 3780, CEP 18610-034, Botucatu, SP, (14)38807533, E-mail: joao.saad@unesp.br

INTRODUÇÃO

As tubulações com múltiplas derivações são amplamente utilizadas em sistemas de irrigação sob pressão, sendo que em algumas situações é recomendado e economicamente viável o uso de dois ou mais diâmetros na mesma linha. A perda de carga nestas tubulações pode ser calculada com precisão aplicando a equação de Darcy-Weisbach trecho a trecho, porém recursos computacionais são necessários.

Uma simplificação prática e útil para adoção em modelos matemáticos e computacionais é considerar que a perda de carga em uma tubulação com diversas saídas pode ser expressa como uma fração da perda por atrito em uma tubulação similar conduzindo a vazão total por todo o seu comprimento (SCALOPPI, 1988). Para um único diâmetro na tubulação, Christiansen (1942) apresentou o coeficiente F, válido para espaçamento uniforme entre saídas. Scaloppi (1988) ampliou a aplicação desde fator de redução para qualquer distância entre o ponto de derivação e a primeira saída. Ambos autores assumiram que não há fluxo na tubulação após a última saída, o que inviabiliza a aplicação direta em tubulações com dois ou mais diâmetros, nas quais somente seria possível aplicar o redutor no último trecho. Keller & Bliesner (1990) apresentaram um procedimento de cálculo que permite utilizar estes coeficientes acrescentando mais uma etapa de cálculo por diâmetro adicional, que será denominado neste trabalho como método indireto.

Outros coeficientes para estimativa da perda de carga em tubulações com diversas saídas e com aplicação direta em cada trecho de diferente diâmetro foram propostos por ANWAR (1999a), ANWAR (1999b) e SOLEIMANI & MIRZAEI (2012), sendo denominados de procedimentos de aplicação direta, que trazem a vantagem de ter um número menor de etapas de cálculo.

O problema de pesquisa abordado por este trabalho foi: qual a precisão destes procedimentos simplificados de estimativa da perda de carga em tubulações com dois diâmetros e com múltiplas saídas, de aplicação direta e indireta, comparativamente com o método trecho a trecho?

Desta forma, objetivou-se com este trabalho avaliar a eficácia de procedimentos diretos e indiretos, fundamentados em coeficientes de correção, na estimativa da perda de carga em tubulações com dois diâmetros e com múltiplas saídas.

MATERIAL E MÉTODOS

Na Figura 1 tem-se uma tubulação de irrigação com múltiplas derivações apresentando dois trechos, L1 e L2, com os respectivos diâmetros D1 e D2 e número de saídas N1 e N2. Tais saídas podem ser emissores (aspersores ou microaspersores) ou mesmo outras tubulações (por exemplo: linha derivação tendo como saídas as linhas laterais com gotejadores).

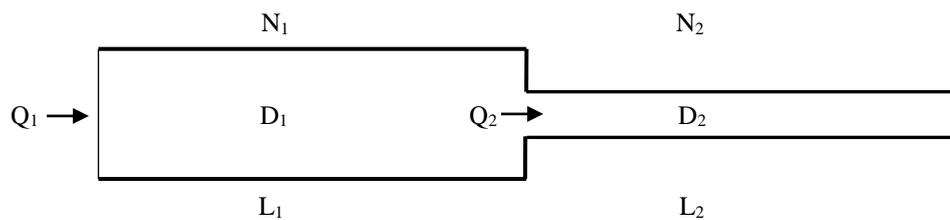


Figura 1. Representação esquemática de tubulação com dois diâmetros e múltiplas derivações

Procedimento de Keller & Bliesner (1990)

Keller & Bliesner (1990), para poder utilizar o fator F de Christiansen (1942), propuseram um procedimento indireto de estimativa da perda de carga em tubulação com dois diâmetros e com múltiplas saídas (HF_{LT}), caracterizado por 3 etapas de cálculo:

$$HF_{LT} = A-B+C \quad (1)$$

Em que,

A - perda de carga calculada com D1, Q1 e comprimento total da linha lateral (L1+L2), multiplicada pelo F de Christiansen estimado com o número total de saídas (N1+N2);

B - perda de carga estimada com D1, Q2 e L2, multiplicada por F estimado com N2;

C - perda de carga calculada com D2, Q2 e L2, multiplicada por F adotando N2.

sendo:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2 \cdot N} + \frac{(m-1)^2}{6 \cdot N^2} \quad (2)$$

Em que,

m - expoente de velocidade na fórmula adotada para o cálculo de perda de carga;

N - número de saídas ao longo da tubulação.

O coeficiente F de Christiansen foi desenvolvido assumindo-se que a distância entre o início da linha e a primeira saída é igual à distância regular entre as demais saídas. Scaloppi

(1988) ampliou a aplicabilidade deste fator de correção para qualquer distância da primeira saída, criando o coeficiente F_a , que é dado por:

$$F_a = \frac{N \cdot F + x - 1}{N + x - 1} \quad (3)$$

Em que,

x - relação entre a distância da primeira saída da tubulação e a distância regular das demais saídas.

Em tubulações com dois diâmetros, adota-se o coeficiente F_a de Scaloppi (1988) apenas no cálculo da etapa A; nas etapas B e C utiliza-se o coeficiente F .

Fator G

Anwar (1999a) desenvolveu o fator G para correção de perda de carga de múltiplas saídas, não tendo como premissa que a vazão deva ser zero ao final do trecho. Com isso pode ser aplicado diretamente no trecho de primeiro diâmetro, reduzindo o processo a duas etapas em tubulações com dois diâmetros.

$$G = \frac{1}{N^{m+1} \cdot (1+r)^m} \cdot \left\{ \frac{1}{m+1} \cdot \{[N \cdot (1+r) + 1]^{m+1} - [N \cdot r]^{m+1}\} \right. \\ \left. - \frac{1}{2} \cdot \{[N \cdot (1+r) + 1]^m + [N \cdot r]^m\} \right. \\ \left. + \frac{1}{12} \cdot \{m \cdot [N \cdot (1+r) + 1]^{m-1} + [N \cdot r]^{m-1}\} \right\} \quad (4)$$

Em que,

$$r = Q_{\text{final trecho}}/Q_{\text{total}} \quad (5)$$

Fator G_a

Anwar (1999b) propôs ainda um novo coeficiente G_a , que pode ser aplicado também para a condição em que a primeira saída da linha lateral não é equidistante das demais saídas regularmente espaçadas.

$$G_a = \frac{N \cdot G + x - 1}{N + x - 1} \quad (6)$$

Fator G_m

Na mesma linha de procedimentos diretos, com número de etapas igual ao número de diâmetros na mesma tubulação, Soleimani & Mirzaei (2012) apresentaram um fator de correção G_m , dado por:

$$G_m = \frac{1 - (1 - t)^{m+1}}{t \cdot (m + 1)} \quad (7)$$

Em que,

$$t = \left(1 - \frac{1}{N}\right) \cdot (1 - p) \quad (8)$$

$$p = r/(r+1) \quad (9)$$

Fator adaptado - G_{ma}

Como G_m assume que todos os espaçamentos estão equidistantes, este estudo apresentou um novo coeficiente G_{ma} , denominado Soleimani & Mirzaei adaptado, para uso com qualquer distância da primeira derivação e dado por:

$$G_{ma} = \frac{N \cdot G_m + x - 1}{N + x - 1} \quad (10)$$

Método Trecho a Trecho

Os procedimentos diretos e indiretos, fundamentados em coeficientes de correção apresentados anteriormente, foram comparados com o método trecho a trecho, considerado o mais preciso, embora trabalhoso. Neste caso, a perda de carga total foi calculada pelo somatório das perdas em cada trecho, aplicando a equação de Darcy-Weisbach (Porto, 2002):

$$hf = \frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \quad (11)$$

Em que,

hf - perda de carga; L - comprimento da tubulação; Q - vazão; g - aceleração da gravidade; D - diâmetro interno da tubulação.

O fator de atrito estimado pela equação de Swamee & Jain (1976).

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{e}{3,7 \cdot D} \right) + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right]^2} \quad (12)$$

Sendo,

e - rugosidade absoluta do material em m;

Re - número de Reynolds, com $Re = (V \cdot D)/\nu$; V - velocidade do fluido ($m \ s^{-1}$),

ν - viscosidade cinemática ($m^2 \ s^{-1}$).

Para realizar o estudo comparativo, considerou-se uma linha lateral de aspersão com tubulação de alumínio (rugosidade absoluta de 0,127 mm) em nível, com 285m de comprimento, sendo que o primeiro aspersor está posicionado a 9 m da entrada da linha lateral e os demais a 12 m. A primeira parte da linha lateral tem 141 m de comprimento com um diâmetro interno de 100 mm. O restante da tubulação da linha lateral tem um diâmetro de 75 mm, com 144 m de comprimento. A linha lateral foi projetada para uma vazão média em cada saída (aspersor) de $0,5 \ l \ s^{-1}$, operando sob uma carga de pressão média de 35 mca.

Tabela 1. Dados da linha lateral de aspersão com dois diâmetros.

Item	Trecho 1	Trecho 2	Total
Comprimento (m)	141	145	285m
Número de aspersores (N)	$N_1 = 12$	$N_2 = 12$	$N = 24$
Espaçamento do primeiro aspersor (m)	9m	12m	-
Espaçamento regular entre aspersores (m)	12m	12m	-
Vazão do aspersor ($m^3 \ h^{-1}$)	1,8	1,8	-
Vazão ($m^3 \ h^{-1}$)	43,2 ¹	21,6 ²	43,2
Diâmetro (m)	0,100	0,075	-

¹Vazão na entrada do trecho 1; ² Vazão na entrada do trecho 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 estão os 6 procedimentos de cálculo avaliados e que foram comparados com o método trecho a trecho de determinação da perda de carga em tubulação com dois diâmetros e múltiplas saídas.

Todos os métodos subestimaram a perda de carga total, porém com pequeno desvio, sendo que a maior variação foi de -3,8%, obtido com Soleimani & Mirzaei adaptado. Os procedimentos de Keller & Bliesner com F de Christiansen e de Anwar (G) resultaram no menor desvio (-1,4%) em relação ao método trecho a trecho. O procedimento de Anwar tem a vantagem de ser realizado em 2 etapas enquanto o de Keller requer 3 passos de cálculo.

Tabela 2. Comparação entre os métodos avaliados.

Método de cálculo	Perda de carga Trecho 1 (hf_{L1})	Perda de carga Trecho 2 (hf_{L2})	Perda de carga total	Variação
Keller & Bliesner com F	A = 2,732 mca B = 0,389 mca $hf_{L1} = A-B=2,344$ mca	C = 2,677 mca $hf_{L2} = 1,677$ mca	4,021 mca	-1,4%
Keller & Bliesner com Fa	A = 2,680 mca B = 0,389 mca $hf_{L1} = A-B= 2,291$ mca	C = 1,677 mca $hf_{L2} = 1,677$ mca	3,968 mca	-2,7%
Anwar (G)	$hf_1 = 3,814$ mca G = 0,615 mca $hf_{L1}=hf.G = 2,346$ mca	$hf_2 = 4,458$ mca F(N ₂) = 0,376 mca $hf_{L2}=hf_2.G= 1,676$ mca	4,022 mca	-1,4%
Anwar (G _a)	$hf_1 = 3,814$ mca G _a = 0,607 mca $hf_{L1}=hf_1.G_a=2,315$ mca	$hf_2 = 4,458$ mca F(N ₂) = 0,376 mca $hf_{L2}=hf_2.G_a=1,676$ mca	3,991 mca	-2,1%
Soleimani & Mirzaei (G _m)	$hf_1 = 3,814$ mca G _m = 0,612 mca $hf_{L1}=hf_1.G_m=2,334$ mca	$hf_2 = 4,458$ mca G _{m2} = 0,363 mca $hf_{L2}=hf_2.G_m=1,618$ mca	3,952 mca	-3,1%
Soleimani & Mirzaei adaptado (G _{ma})	$hf_1 = 3,814$ mca G _{ma} = 0,603 mca $hf_{L1}=hf_1.G_{ma}=2,304$ mca	$hf_2 = 4,458$ mca G _{m2} = 0,363 mca $hf_{L2}=hf_2.G_{m2}=1,618$ mca	3,922 mca	-3,8%
Trecho a Trecho	\sum das perdas de carga = 2,331mca	\sum das perdas de carga = 1,707 mca	4,038 mca	-

A importância da adequada seleção e utilização dos procedimentos fica evidente quando se analisa um erro muito provável na prática que consiste em se utilizar o coeficiente F de Christiansen, amplamente conhecido, em apenas duas etapas em uma tubulação com dois diâmetros. No exemplo apresentado, o cálculo da perda de carga aplicando diretamente F no trecho 1 e no trecho 2 traz um erro conceitual e resulta em uma perda de carga total de 3,1 mca, que é 23,1% menor que a obtida pelo método trecho a trecho. Este erro ocorre porque o primeiro trecho de uma tubulação com dois diâmetros não pode ter sua perda de carga calculada diretamente pelo uso do coeficiente F de Christiansen pois ainda há fluxo após a sua última saída, justamente para atender o segundo trecho.

CONCLUSÕES

Todos os procedimentos avaliados tiveram resultados muito próximos da perda de carga obtida pelo método trecho a trecho e podem ser adotados como alternativas visando minimizar etapas de cálculo. As metodologias de Keller & Bliesner utilizando F e de Anwar (G) foram as que proporcionaram menor desvio na perda de carga estimada (-1,4%).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANWAR A. A. Factor G for pipelines with equally spaced multiple outlets and outflow. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, v. 125. n. 1, p. 34–38, 1999a.

ANWAR A. A. Adjusted factor G_a for pipelines with multiple outlets and outflow. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, v. 125, n. 6, p. 355–359, 1999b.

CHRISTIANSEN J. E. Irrigation by Sprinkling. **California Agricultural Experiment Station Bulletin**, University of California, Davis, CA, USA, 1942. 670 p.

KELLER, J., BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. Chapman & Hall, New York, 1990. 652 p.

SCALOPPI E. J. Adjusted F_a factor for multiple outlets pipes. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, v. 114, n. 1, p. 169–174, 1988.

SOLEIMANI, M.; MIRZAEI, F. New correction factors for friction losses in pipelines. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, **Water Management**, v. 165, p. 239–244, 2012.

SWAMEE, P. K.; JAIN, A. K. Explicit Equations for Pipe Flow Problems. **Journal of Hydraulics**. Engineering, ASCE, v. 102, n. 5, p. 657–664, 1976.