

COEFICIENTE DECARGA CINÉTICA PARA GOTEJADORES “IN-LINE” DO TIPO CILÍNDRICO

ACÁCIO PERBONI¹; JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE²; JEFFERSON VIEIRA JOSÉ³; HERMES SOARES DA ROCHA³ E BRUNO MARÇAL DE ALMEIDA⁴

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutorando, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP, acacio_perboni@yahoo.com.br

² Engenheiro Agrônomo, Prof. Titular, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, frizzone@usp.br

³ Engenheiro Agrícola, Doutorando, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, jfvieira@usp.br;hermessrocha@usp.br

⁴ Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Doutorando, Departamento de Engenharia de Biosistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, brunomarcal@usp.br

1 RESUMO

As perdas localizadas de carga nos gotejadores devem ser consideradas para o dimensionamento preciso das linhas laterais de irrigação por gotejamento. O uso do coeficiente de carga cinética (K) é uma das formas de calcular as perdas localizadas nos gotejadores; tal coeficiente pode variar em função de cada tipo de gotejador dependendo de sua forma e tamanho. Para a determinação de K foram utilizados doze modelos de tubos gotejadores, com gotejadores “in-line” do tipo cilíndrico. Valores médios do coeficiente de carga cinética (K_m) foram relacionados com a razão entre áreas de escoamento do gotejador e tubo (A_{em}/A_t). Devido à complexa geometria dos gotejadores, suas áreas foram determinadas dividindo o volume do gotejador preenchido com água destilada pelo seu comprimento, que forneceu a área média da seção transversal do gotejador. O ajuste de uma equação potencial aos pares de pontos A_{em}/A_t versus K_m apresentou coeficiente de determinação de 0,905 ($P < 0,001$). Simulando o cálculo do comprimento máximo da linha lateral, ao desconsiderar a perda localizada de carga resultou superestimava do comprimento máximo da linha lateral de até 25,1 %, para os tubos gotejadores regulados, e de até 14,3% para os tubos com gotejadores não regulados.

Palavras-chave: Irrigação por gotejamento, perda localizada de carga, linha lateral, comprimento máximo.

PERBONI, A., FRIZZONE, J. A., JOSÉ, J. V., ROCHA, H. S., ALMEIDA, B. M.
COEFFICIENT OF KINETIC LOAD FOR “IN-LINE” CYLINDRICAL TYPE
EMITTERS

2 ABSTRACT

Local head loss in emitters must be taken into account for accurate planning of maximum length of the lateral lines in dripping irrigation. The K coefficient of kinetic load is used to calculate losses from emitters. This coefficient may vary as a function of each type of emitter depending on its shape and size. For K determination, a total of 12 models of “in-line” emitter pipes,

cylindrical type, were used. Mean values of coefficient of kinetic load (K_m) were associated with the ratio between the run-off area of the emitter and the pipe (A_{e_m}/A_t). Because of the complex geometry of the emitters, their areas were determined dividing the emitter volume filled with distilled water by their length, which provided the cross-sectional area of the emitter. Adjustment of a potential equation to pairs of points A_{e_m}/A_t versus K_m had a correlation coefficient of 0.905 ($P < 0.001$). Simulating the maximum length of the lateral line, the disregard of the local head loss caused overestimation of the maximum length of the lateral line for regulated pipes and non regulated pipes up to 25.08% and 14.3% , respectively.

Keywords: dripping irrigation, local load loss, lateral line, maximum length.

3 INTRODUÇÃO

O principal objetivo de um sistema de irrigação por gotejamento é fornecer água à cultura com alta uniformidade de distribuição (ZHU et al., 2010). Embora os sistemas de irrigação por gotejamento tenham várias vantagens sobre outros sistemas de irrigação, é impossível obter uma distribuição de água completamente uniforme ao longo da linha lateral devido às variações da vazão dos gotejadores. Estas variações são causadas por diferenças de pressão de operação devido a perdas de carga e variações de nível, por temperatura da água, qualidade de fabricação do gotejador e entupimento de gotejadores no campo (VEKARIYA et al., 2011).

A perda total de carga é estimada pela soma da perda de carga ao longo das seções uniformes de tubo entre os gotejadores consecutivos, com a perda de carga localizada nos gotejadores “in-line” ou nas conexões dos gotejadores “on-line”. Essas perdas de carga possuem ordens de grandeza semelhantes (HOWELL & BARINAS, 1980; AL-AMOUD, 1995; RETTORE NETO et al., 2009). Muitas equações estão disponíveis para a determinação da perda de carga ao longo das linhas laterais. A equação de Darcy-Weisbach [(Eq. (1))] é a mais aceita para tubos de polietileno de pequeno diâmetro (BAGARELLO et al., 1997; YILDIRIM, 2009).

$$hf = f \frac{L V^2}{D_t 2 g} \quad (1)$$

em que: hf é a perda de carga ao longo do tubo (m); f o fator de atrito (adimensional); L o comprimento do tubo (m); D_t o diâmetro interno do tubo (m); g a aceleração da gravidade ($m s^{-2}$); V a velocidade média de escoamento da água no tubo ($m s^{-1}$).

Na equação de Darcy-Weisbach, a estimativa do fator de atrito (f) é essencial para o cálculo da perda de carga. Para valores de número de Reynolds (R) menores que 2000 o regime de escoamento é laminar. Nessas condições f é calculado pela equação de Hagen-Poiseuille ($f=64/R$), sendo apenas uma função de R , que depende exclusivamente das propriedades do fluido, do diâmetro do tubo e da velocidade do escoamento (RETTORE NETO et al., 2009). Para valores de $2000 \leq R < 4000$ o regime de escoamento é de transição e $R \geq 4000$ é turbulento.

O escoamento em linhas laterais de irrigação por gotejamento geralmente ocorre com R entre 3000 e 10^5 ; além disso, laterais de microirrigação são consideradas tubos hidraulicamente lisos. Nessas condições, a equação de Blasius [Eq. (2)], é uma estimativa precisa do fator f (YILDIRIM, 2007).

$$f = 0.316 R^{-0.25} \quad (2)$$

O número de Reynolds é calculado com a Eq. 3:

$$R = \frac{V D_t}{\nu} \quad (3)$$

em que: ν é a viscosidade cinemática da água ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$).

A inserção de gotejadores ao longo de linhas laterais modifica as linhas de fluxo, induzindo turbulências, que resulta aumento da perda de carga total (YILDIRIM, 2010). As perdas localizadas decorrentes da inserção dos gotejadores devem ser adicionadas às perdas por atrito, a fim de avaliar com precisão a dissipação total de energia ao longo das laterais (YILDIRIM, 2009). A perda localizada de carga provocada por um gotejador pode ser determinada de acordo com metodologia proposta por Gomes et al. (2010), Eq. (4).

$$hf_e = \frac{Hf_{te} - hf_t}{N} \quad (4)$$

em que: hf_e é a perda localizada de carga em um gotejador (m); Hf_{te} a perda de carga no segmento de tubo com gotejadores vedados (m); hf_t a perda de carga no tubo sem gotejadores, calculada pela equação de Darcy-Weisbach, com f determinado pela equação de Blasius (m); N o número de gotejadores no segmento de tubo.

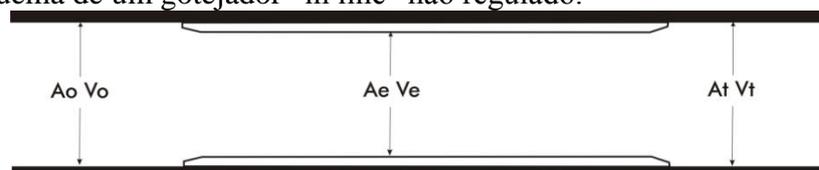
Cada emissor da linha lateral de gotejamento provoca uma perda localizada de pressão, que muitas vezes é expressa como uma fração da carga cinética, conforme Eq. (5).

$$hf_L = K \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

em que: hf_L é a perda localizada de carga (m); K o coeficiente de carga cinética ou de resistência de perfil (adimensional).

O coeficiente K sintetiza os efeitos da contração e alargamento bruscos da seção de escoamento na perda de carga, podendo ser expresso em função de um índice de obstrução, $K=a(\text{IO})^n$, desde que K possa ser considerado independente de R (BAGARELLO et al., 1997). O índice de obstrução (IO) depende da razão de obstrução r : $\text{IO}=(1-r)^2/r^2$, sendo a razão entre a área média de escoamento no gotejador (A_{em}) e a área da seção transversal do tubo (A_t). Na Figura 1 são apresentadas as áreas de um tubo gotejador antes (A_o) e após (A_t) da contração (A_e), provocada pelo gotejador “in-line”, nessas seções do tubo as velocidades de escoamento da água são V_o , V_e e V_t , respectivamente.

Figura 1. Esquema de um gotejador “in line” não regulado.



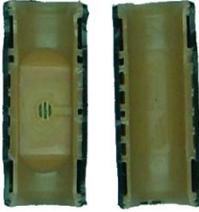
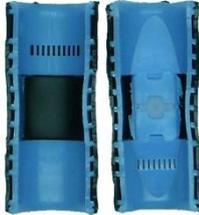
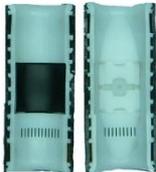
Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar o fator K para tubos gotejadores com gotejadores “in-line” do tipo cilíndrico e relacionar K com a razão entre áreas de escoamento do gotejador e do tubo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Ensaio de Material de Irrigação do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

Foram avaliados doze tubos gotejadores de diferentes modelos e marcas (Tabela 1).

Tabela 1. Marca, modelo e identificação dos gotejadores.

Marca	Mondragon	Plastro	Naan	Amanco
Modelo	Irridrip plus	Hydro PC	Naan PC	Amanco AC
Código	1	2	3	4
Imagem do gotejador				
Marca	Naandan	Plastro	Plastro	Toro
Modelo	Naantif	Hydro PC	Hydro PC	Drip In PC
Código	5	6	7	8
Imagem do gotejador				
Marca	Naandan	Naandan	Naandan	Naandan
Modelo	Naantif	Naantif	Naan PC	Naan PC
Código	9	10	11	12
Imagem do gotejador				

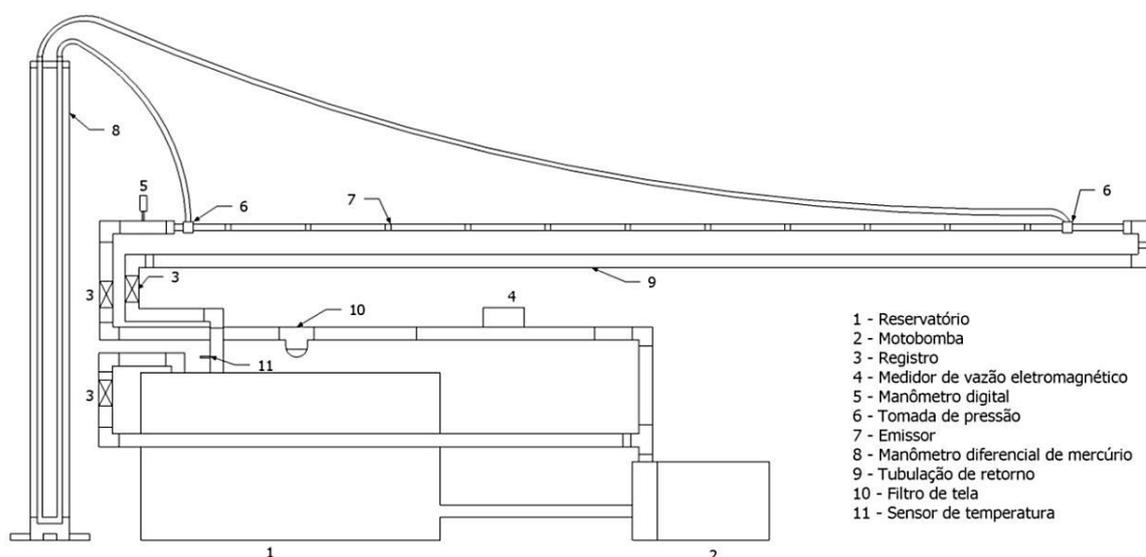
O diâmetro interno (D_i) dos tubos foi medido em projetor ótico de perfil, Starret HB400 e os valores foram obtidos a partir da média de oito anéis para cada modelo de tubo gotejador. A área média da seção transversal de escoamento do gotejador (A_{em}) foi determinada de forma indireta a partir do volume de água destilada necessário para preencher o segmento de tubo contendo o gotejador. Para cada modelo de tubo gotejador avaliou-se 8 repetições. O segmento extraído foi pesado em balança digital de precisão de 0,01 g, vazio e cheio de água destilada, para tal uma das extremidades foi vedada com fita. A diferença de peso entre o segmento vazio

e cheio, dividida pelo peso específico da água destilada na temperatura do ambiente é igual ao volume do cilindro do gotejador. Este volume, por sua vez, dividido pelo comprimento do gotejador (L_e), medido com paquímetro digital de precisão de 0,01 mm, forneceu a área da seção transversal média dos gotejadores (A_{em}).

Perda de carga no tubo com gotejadores

Os ensaios de perda de carga foram realizados em uma bancada experimental constituída por: reservatório; motobomba; três registros para controle de pressão e vazão; medidor de vazão eletromagnético, com escala de 0 a 1500 L h⁻¹ e precisão de 1 L h⁻¹; manômetro digital com escala de 0 a 1470 kPa e precisão de 0,98 kPa; manômetro diferencial de mercúrio com escala de 2000 mm; termômetro digital com precisão de 0,01°C. O esquema da bancada experimental pode ser observado na Figura 2.

Figura2. Esquema da bancada experimental.



O manômetro diferencial foi conectado no início e no final do segmento do tubo com gotejadores vedados para medir a perda de carga total, com 4 repetições para cada modelo de tubo gotejador. Durante os ensaios, a pressão no início da linha lateral foi mantida em 196 ± 1 kPa para minimizar a alteração do diâmetro dos tubos, cujo efeito na redução ou aumento da perda de carga é relatado por Vilela et al., (2003) e Thompson et al., (2011). Com os registros, variou-se a vazão de 160 L h⁻¹ a 1420 L h⁻¹, com intervalos entre vazões de 80 L h⁻¹, com objetivo de obter vários valores de perda de carga.

A viscosidade cinemática da água necessária para o cálculo do fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach foi obtida em função da temperatura da água na tabela de Munson et al., (2009). Para o cálculo de K , divide-se hf_e por $V^2/2g$, sendo que V foi obtida dividindo os valores das leituras de vazão do medidor de vazão eletromagnético pela seção do tubo gotejador.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 apresentam-se as características geométricas dos tubos gotejadores e os coeficientes das relações vazão *versus* pressão, mensurados e calculados durante o experimento.

Tabela 2. Características geométricas e de vazão dos tubos gotejadores.

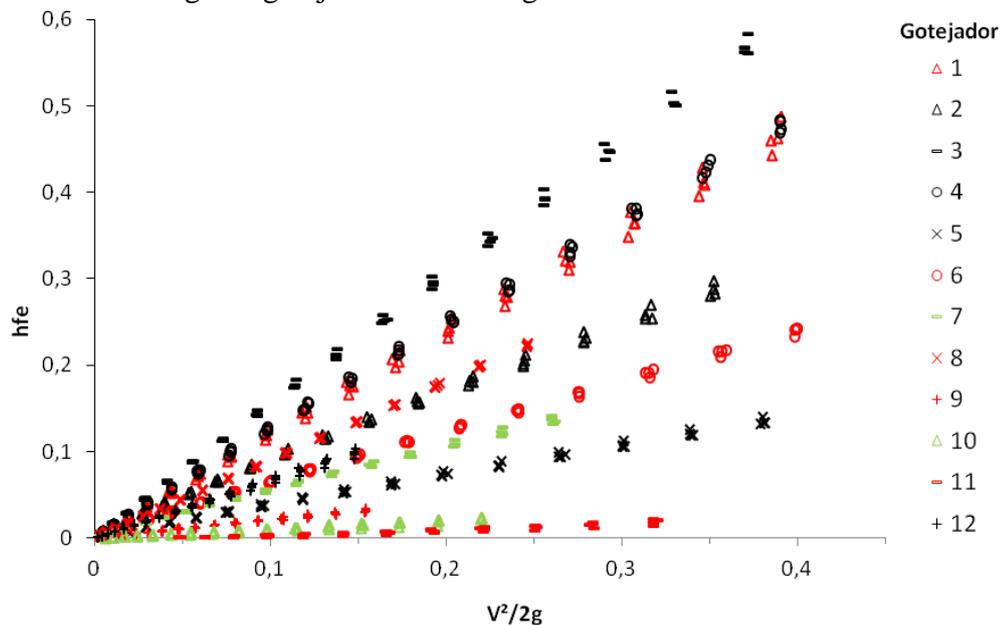
Cod.	L (m)	D _t (mm)		N	Se (m)	Le (mm)		Ae _m (mm ²)		q _(Lh⁻¹) = ah _(kPa) ^x	
		\bar{x}	σ			\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	a	x
1	9,80	13,60	0,15	10	0,98	34,34	0,05	108,74	2,13	2,048	0,064
2	10,14	13,91	0,22	13	0,78	35,94	0,07	105,10	1,91	2,592	-0,027
3	9,90	13,75	0,07	11	0,90	50,04	0,14	109,35	2,06	3,994	0,001
4	10,40	13,57	0,16	20	0,52	34,22	0,07	107,45	2,04	1,518	0,092
5 ⁺	10,50	13,65	0,23	21	0,50	68,15	0,04	110,01	1,45	0,045	0,625
6	10,36	13,49	0,18	14	0,74	35,86	0,07	105,76	2,14	2,722	-0,017
7	10,27	15,01	0,17	13	0,79	37,39	0,08	135,97	2,47	1,659	0,046
8	10,36	15,22	0,17	14	0,74	36,03	0,09	137,03	1,90	3,380	-0,043
9 ⁺	10,40	17,12	0,24	52	0,20	39,59	0,07	197,97	1,64	0,106	0,500
10 ⁺	10,20	15,67	0,37	17	0,60	32,06	0,05	191,46	1,76	0,132	0,520
11	10,40	14,28	0,30	26	0,40	48,87	0,09	187,94	1,57	1,650	0,038
12	10,50	17,30	0,39	35	0,30	48,84	0,10	189,96	1,64	0,644	0,072

Cod. – Código do tubo gotejador; ⁺ - Gotejadores não regulados; Se – Espaçamento entre gotejadores; \bar{x} - média; σ – desvio padrão; a e x – coeficientes de vazão dos gotejadores determinados de acordo com norma ABNT NBR ISO 9261 de (2006).

Expoentes negativos da equação de vazão dos gotejadores 2, 6 e 8 são devidos as características dos gotejadores, já que no primeiro ponto da equação ajustada (pressão de 98,1 kPa) ocorreu a maior vazão.

Coeficiente de carga cinética (K)

Considerou-se a perda localizada de carga da Eq. (4) igual à perda de carga no gotejador [(Eq. (5)]. Para todos os modelos avaliados, a perda de carga no gotejador aumenta linearmente com a carga cinética, de modo que uma equação pode ser ajustada aos dados, sendo K o coeficiente angular da reta ajustada (Figura 3).

Figura 3. Perda de carga no gotejador versus carga cinética.

Na tabela 3 são apresentados os valores de K ajustados: $K_{\text{máximo}}$, $K_{\text{médio}}$ e $K_{\text{mínimo}}$. Os valores máximos, médios e mínimos do coeficiente K, obtidos a partir da Eq. (5), mostram a amplitude de variação do valor K. A maior variação de K ocorreu para o gotejador 2 e a menor para o 12, conferindo menor incerteza na estimativa da perda de carga localizada para este gotejador. O coeficiente de determinação para K ajustado foi menor que 0,99 somente para os tubos gotejadores 10 e 11. Para todos os modelos de gotejadores, a probabilidade de que os valores de K ajustados pela regressão linear sejam devido ao acaso é inferior a 0,001 pelo Teste t.

Tabela 3. Coeficiente de carga cinética.

Gotejador	K	R ²	K _{máximo}	K _{médio}	K _{mínimo}
1	1,1941 ⁺⁺	0,9978 ^{**}	1,866	1,248	1,145
2	0,8382 ⁺⁺	0,9949 ^{**}	1,624	0,943	0,799
3	1,5333 ⁺⁺	0,9993 ^{**}	1,857	1,563	1,480
4	1,231 ⁺⁺	0,9991 ^{**}	1,621	1,287	1,201
5	0,3616 ⁺⁺	0,9961 ^{**}	0,555	0,395	0,347
6	0,6091 ⁺⁺	0,998 ^{**}	0,801	0,653	0,583
7	0,5343 ⁺⁺	0,9958 ^{**}	0,721	0,569	0,457
8	0,9028 ⁺⁺	0,9999 ^{**}	1,169	0,900	0,583
9	0,2058 ⁺⁺	0,9953 ^{**}	0,224	0,199	0,059
10	0,0939 ⁺⁺	0,9478 ^{**}	0,155	0,083	-0,086
11	0,0464 ⁺⁺	0,8449 ^{**}	0,066	0,003	-0,178
12	0,6585 ⁺⁺	0,9956 ^{**}	0,696	0,648	0,536

K – coeficiente angular da equação linear ajustada; ⁺⁺ - P<0,001 pelo teste t; ^{**} - P<0,001 pelo teste F; $K_{\text{médio}}$ – K médio.

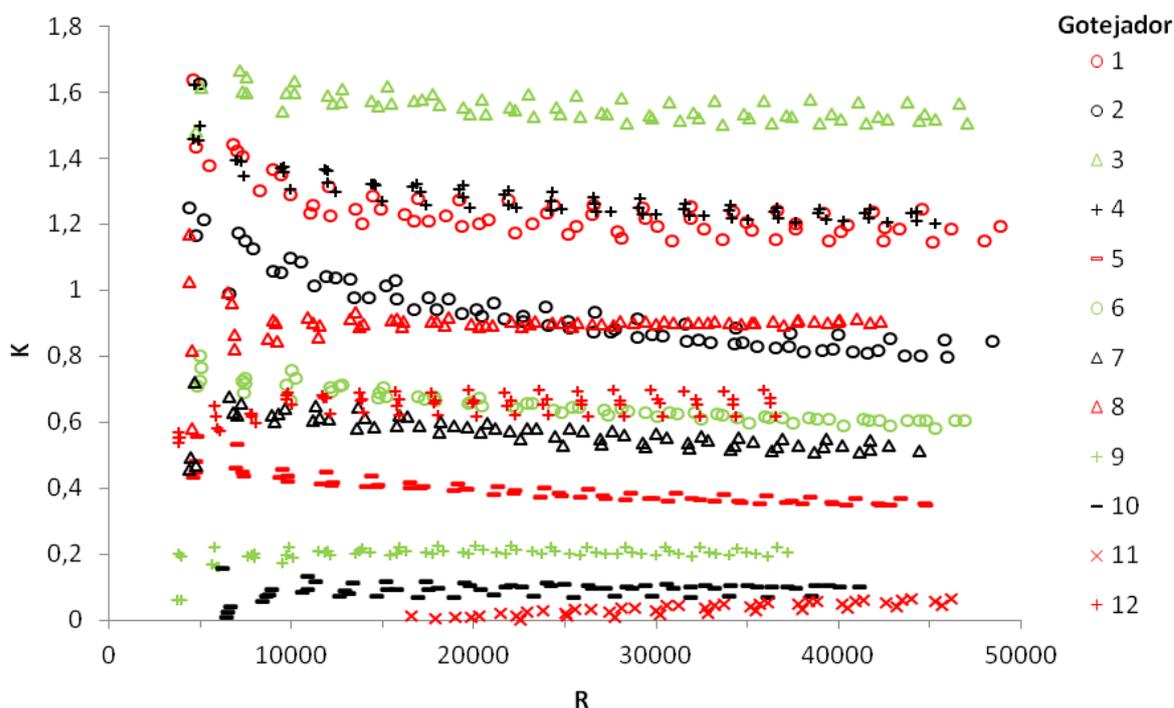
Os valores negativos de K para os gotejadores 10 e 11 são decorrentes de erros experimentais na determinação da perda localizada de carga. O gotejador 10 possui A_{e_m} próxima à A_t enquanto o gotejador 11 apresenta A_{e_m} maior que A_t . A Eq. (1) superestima a perda de carga, devido à desconsideração da dilatação dos tubos com a pressão, que nos ensaios

foi mantida em 196 kPa no início da linha lateral.

O fenômeno da dilatação foi relatado por Vilela et al., (2003), trabalhando com tubos de polietileno de diâmetro de 12 mm (A) e 20 mm (B), espessura da parede de 1050 μm e 1325 μm , respectivamente. O diâmetro interno dos tubos apresentou um aumento de 3,9% (A) e 7,3% (B), quando alteraram a pressão de teste de 50 kPa para 400 kPa. Além disso, a espessura da parede diminuiu em 2,0% (A) e 3,3% (B) variando a pressão de teste de 50 kPa para 300 kPa. Também relataram que a variação do diâmetro interno, devido à pressão de funcionamento, pode provocar alterações na perda de carga da ordem de 20%.

Os coeficientes obtidos foram relacionados com R, verificando-se tendência a valores constantes para $R \geq 10^3$ para a maioria dos gotejadores avaliados (Figura 4). Resultados semelhantes foram obtidos por Bagarello et al., (1997), que assumiram o coeficiente K praticamente independente do número de Reynolds, ao determinar perdas de pressão em linhas de irrigação com gotejadores “online”. Esses autores recomendam a adoção de um valor médio de K obtido a partir dos valores mensurados nos ensaios.

Figura 4. Coeficiente K em função do número de Reynolds.



Ressalta-se que para $R \leq 10^4$ o valor de K é variável à medida que se aumenta o R, associando-se a características próprias de cada gotejador. O valor de K apresentou-se inversamente proporcional a R para o gotejador 2, por exemplo, estabilizando somente a partir de $R \geq 3 \times 10^4$. Provenzano et al., (2005) relatam que o valor de K depende de características intrínsecas ao tipo de gotejador, podendo-se assumir valores constantes a partir de determinado valor para R. Desta forma, pode-se considerar que o efeito das forças viscosas seja desprezível para $R \geq 10^4$, valor a partir do qual o coeficiente K passa a ser influenciado pela forma e tamanho do elemento obstrutor (GOMES et al., 2010).

Negligenciando o efeito das forças viscosas pode-se relacionar K_m com a razão A_{e_m}/A_t . A probabilidade de que os valores de K_m ajustados pela Eq. (6) sejam devido ao acaso é inferior a 0,001 pelo Teste t e o efeito do acaso na regressão é inferior a 0,001 no Teste F. A Eq. (6) é válida para as seguintes condições: $0,735 \leq A_{e_m}/A_t \leq 0,842$.

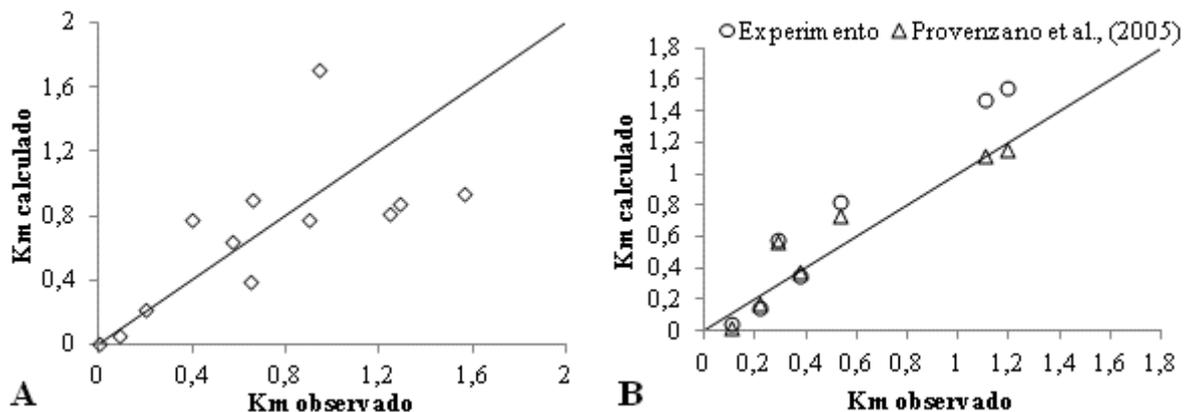
$$\overline{K_m} = 0,0354 \left(\frac{A_{e_m}}{A_t} \right)^{-10,96} ; R^2 = 0,9051 \quad (6)$$

Provenzano et al., (2005) desenvolveram uma relação que permite prever o valor de K_m em função da razão entre o diâmetro do tubo (D_t) e o diâmetro equivalente da área de escoamento no local em que o gotejador está inserido (D_e). Para validar a Eq. (6), utilizou-se os dados de K_m para gotejadores “in-line” do tipo cilíndrico observados por Provenzano et al., (2005). Na figura 5 são apresentados os resultados do ajuste utilizando a Eq. (6) e a equação proposta por Provenzano et al., (2005) em torno da reta 1:1.

Na Figura 5 A os pontos se distribuíram de forma aleatória em torno da reta 1:1 indicando ausência de tendência, porém alguns pontos ficaram distante da reta. O maior desvio entre dados observados e estimados foi de 0,76.

Na Figura 5 B observa-se que quatro valores de K_m estimados pela Eq. (6) ficaram distantes da reta 1:1 enquanto que para valores ajustados pela equação de Provenzano et al., (2005) apenas dois ficaram distantes da reta 1:1.

Figura 5. A - $K_{m\text{médio}}$ calculado versus observado e B – Validação da Eq. (6) com os dados de Provenzano et al., (2005).



Exemplo de cálculo do comprimento máximo de linhas laterais

No exemplo seguinte utilizou-se a equação de Darcy-Weisbach para calcular a perda contínua de carga em uma linha lateral de irrigação por gotejamento e o coeficiente K determinado experimentalmente para o cálculo das perdas localizadas nos gotejadores.

Para gotejadores não regulados, adotou-se os critérios de pressão máxima na entrada da linha lateral de 120 kPa e variação máxima de vazão de 5%. Para gotejadores regulados foi adotada pressão de 200 kPa na entrada da linha lateral. Outro critério adotado para os dois tipos de gotejadores foi velocidade máxima de escoamento de $1,5 \text{ m s}^{-1}$. Para calcular o comprimento máximo da linha lateral, foi utilizado o procedimento passo a passo.

Na Tabela 4 são apresentadas simulações para os 12 modelos de tubos gotejadores utilizando o procedimento passo a passo, com comprimento de linha para cada passo igual ao espaçamento entre gotejadores.

Tabela4. Comprimento máximo para linhas laterais em nível.

Tubo gotejador	hf_{adm} (m)	A L_{max} (m)	B L_{max} (m)	(A-B)/A*100 ΔL_{max} (%)
1	10,2	208	179	13,9
2	10,2	211	184	12,8
3	10,2	158	129	18,3
4	10,2	154	119	22,7
5 ⁺	0,92	122	111	9,02
6	10,2	183	163	10,9
7	10,2	260	235	9,61
8	10,2	212	178	16,0
9 ⁺	1,14	91	78	14,3
10 ⁺	1,1	128	124	3,12
11	10,2	159	156	1,89
12	10,2	303	227	25,08

L_{max} =comprimento máximo da linha lateral (m); hf_{adm} = perda de carga admissível (m); A=cálculo desconsiderando as perdas de carga localizadas; B= cálculo das perdas localizadas com o coeficiente K; ⁺ = gotejadores não regulados.

Observa-se uma diferença máxima de comprimento da linha lateral de 14,3% para gotejadores não regulados e de 25,08% para gotejadores regulados quando se comparam os cálculos considerando e não considerando a perda localizada de carga. Gomes et al., (2010) observaram que a desconsideração da perda de carga localizada levou-os à superestimar o comprimento máximo da linha lateral até 25,7% para gotejadores regulados e até 9,5% para os gotejadores não regulados.

6 CONCLUSÕES

A perda localizada de carga nos gotejadores “in-line” do tipo cilíndrico aumentou linearmente com o aumento da carga cinética. Cada modelo de gotejador possui um valor de K característico, que depende em grande parte de sua forma geométrica e do tamanho. O ajuste de uma equação potencial aos dados de coeficiente de carga cinética média e razão entre área média da seção de escoamento do gotejador e área do tubo, apresentou coeficiente de determinação de 0,9051. Sua significância estatística comprova que a área média da seção de escoamento do gotejador pode ser usada para determinar o valor médio do coeficiente de carga cinética K.

Desconsiderando a perda de carga localizada nos gotejadores ocorreu uma superestimativa do comprimento máximo da linha lateral de até 14,3% para gotejadores não regulados e de até 25,08% para gotejadores regulados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-AMOUD, A.I. Significance of energy losses due to emitter connections in trickle irrigation lines. Journal of Agriculture Engineering Research, Silsoe, v.60, n1, p. 1-5, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9261**: equipamentos de irrigação agrícola-gotejadores e tubos gotejadores -especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006. 17 p.

BAGARELLO, V.; FERRO, V.; PROVENZANO, G.; PUMO, D. Experimental study on flow-resistance law for small-diameter plastic pipes. **Journal of Irrigation and Drainage engineering**, Reston, v. 121, n. 5, p. 313-316, 1997.

GOMES, A. W. A.; FRIZZONE, J. A.; RETTORE NETO, O.; MIRANDA, J. H. Perda de carga localizada em gotejadores integrados em tubos de polietileno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 435-446, 2010.

HOWELL, T. A.; BARINAS, F. A. Pressure losses across trickle irrigation fittings and emitters. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v. 23, n. 4, p. 928-933, 1980.

MUNSON, B. R.; YOUNG, F. D.; OKIISHI, T. H.; HUEBCH, W. W. **Fundamentals of Fluid Mechanics**. 6. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009. 778 p.

PROVENZANO, G.; PUMO, D.; DI DIO, P. Simplified procedure to evaluate head losses in drip irrigation lateral. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 131, n. 6, p. 525-532, 2005.

RETTORE NETO, O.; MIRANDA, J. H.; FRIZZONE, J. A.; WORKMAN, S. R. Local head loss of non-coaxial emitters inserted in polyethylene pipe. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 52, n. 3, p. 729-738, 2009.

THOMPSON, E. J.; MERKLEY, G. P.; KELLER, A. A.; BARFUSS, M. Experimental determination of the hydraulic properties of low-pressure, lay-flat drip irrigation systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 137, n. 1, p. 37-48, 2011.

VEKARIYA, P. B.; SUBBAIAH, R.; MASHRU, H. H. Hydraulics of microtube emitters: a dimensional analysis approach. **Irrigation Science**, New York, v. 29, n. 4, p. 341-350, 2011.

VILELA, L. A. A.; SOCCOL, O. J.; GERVÁZIO, E. S.; FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A. Alteração no diâmetro de tubos de polietileno submetidos a diferentes pressões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 182-185, 2003.

YILDIRIM, G. An assessment of hydraulic design of trickle laterals considering effect of minor losses. **Irrigation and drainage**, New York, v. 56, n. 4, p. 399-421, 2007.

YILDIRIM, G. Simplified procedure for hydraulic design of small-diameter plastic pipes. **Irrigation and drainage**, New York, v. 58, n. 2, p. 209-233, 2009.

YILDIRIM, G. H. Total energy loss assessment for trickle lateral lines equipped with integrated in-line and on-line emitters. **Irrigation Science**, New York, v. 28, n. 4, p. 341-352, 2010.

ZHU, D. L.; WU, P. T.; MERKLEY, G. P.; JIN, J. Drip irrigation lateral design procedure based on emission uniformity and field microtopography. **Irrigation and Drainage**, New York, v. 59, n. 5, p. 535–546, 2010.