



DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA CÁLCULO DE PERDAS DE CARGA EM LINHAS LATERAIS COM CONECTORES “ON-LINE”

KELLY NASCIMENTO LEITE^a, OSVALDO RETTORE NETO^b, JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE^b,
CLAYTON MOURA CARVALHO^c, FABRÍCIO MOTA GONÇALVES^a

^a Universidade Federal do Ceará

^b ESALQ – USP

^c Instituto Centro de Ensino Tecnológico

RESUMO

O presente trabalho teve como finalidade determinar as perdas de carga causada por conectores “on-line” em laterais com diferentes diâmetros, e sugerir uma equação que possa facilitar nos cálculos de perda de carga localizada, provocada pela conexão de emissores “on-line”. O trabalho foi realizado no laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural – ESALQ/USP, localizado na cidade de Piracicaba, SP. Utilizou-se no experimento tubos de polietileno de baixa densidade, com diâmetros internos de 13,015 mm e 20,021 mm, com 10 m de comprimento entre os pontos de medição de pressão e com a tubulação em nível. Para medições da perda de carga do emissor foi utilizado um manômetro diferencial no qual se realizava leituras no final de cada dez minutos, podendo-se prever a perda de carga causada pela conexão de emissores “on-line”, através do conhecimento de suas características geométricas, mostrando que a perda de carga localizada é proporcional a área de protrusão do emissor. A perda de carga total na linha lateral consiste na perda de carga distribuída mais a perda de carga localizada devido ao emissor, resultando em uma equação que pode ser utilizada para a determinação da perda de carga total, provocada pela conexão de emissores “on-line”, com áreas de protrusão semelhantes, as estudadas neste trabalho.

Palavras-chave: Área protrusão, Acréscimo de perda de carga, Emissores on-line.

DETERMINING THE LOSS OF CARGO IN CONNECTORS “ON-LINE” THE PIPER LINE OF VARIOUS DIAMETERS

ABSTRACT

This study was to determine the purpose of cargo losses caused by connectors online in different diameters and develop an equation that can facilitate the calculation of loss of load located, caused by the connection of issuers online, the work was carried out Irrigation in the laboratory of the Department of Rural Engineering – ESALQ/USP, located in the city of Piracicaba, SP. It was used in the experiment tubes of polyethylene of low density, with internal diameters 13.015 mm and 20.021 respectively, with 10 m in length between the points of measurement of pressure in the tubing in level. For measurements of the loss of cargo from the emitter was used a differential manometer which was done their readings at the end of every ten minutes, can provide up to the loss of load caused her connection to issuing online through knowledge of their geometric features, showing that the loss of load located and proportional to the area of protrusion of the issuer. The loss of total load on the line side is the loss of cargo distributed more the loss of load located due to the sender, resulting in an equation that can be used for the determination of the loss of total load, caused by the connection of issuers online, with the areas of similar protrusion, as studied in this work.

Key words: Area protrusion, Adding to loss of cargo, Issuing online.

INTRODUÇÃO

De todos os métodos de irrigação utilizados, a irrigação localizada vem apresentando um crescimento contínuo. (Nascimento, 2006) Na irrigação localizada, o uso de gotejadores ou mesmo microaspersores requerem conexões, que são encaixes introduzidos na linha lateral e lá permanecem ocupando uma área interna desta linha lateral, provocando assim uma perda de carga localizada. (Cardoso, 2007; Vilela, *et al.* 2000).

Os projetos de irrigação localizada requerem um criterioso dimensionamento, sendo contabilizadas as perdas de carga, com intuito de aumentar a uniformidade de distribuição e diminuir os custos. O espaçamento entre os gotejadores ao longo das linhas laterais são estabelecidos em função do espaçamento entre as plantas ao longo da fileira e do tipo de plantas a ser irrigada, pois, no caso de irrigação de árvores frutíferas, é comum instalar mais de um gotejador por planta. (Bernardo, *et al.*, 2005). O dimensionamento de uma linha lateral deve seguir critérios que permitam alta uniformidade de distribuição de água. Para emissores não compensados de pressão. (Provenzano; Pumo, 2004). De acordo com Al-amoud (1995), Bagarello *et al.* (1997) e Alves (2000), o número de gotejadores instalados e a relação entre o modelo do gotejador com o diâmetro do tubo chegam a provocar uma perda de carga localizada bastante significativa sobre o total de perdas nas linhas laterais. O uso de equações generalizadas de perda de carga localizada torna-se uma tarefa difícil, uma vez que essas perdas dependem de diversos fatores, dentre os quais, a geometria da peça. (Melo; Silva; Faria, 2000) Cada tipo de emissor tem uma equação específica que o identifica.

Segundo Pizzarro (1990) um emissor perfeito teria o expoente $x=0$ (autocompensante), os de regime laminar $x = 1$ e nos regime turbulento $x < 1$; já Keller e Karmeli (1974) consideram de regime laminar os emissores com expoente $x = 1$ e de regime turbulento $x = 0,5$.

Gomes (1994) analisa que em um sistema de irrigação por gotejamento a uniformidade de distribuição das vazões dos gotejadores nas unidades de irrigação depende de vários fatores, dentre eles, as variações de pressão como consequência das perdas de carga nas tubulações.

Em projetos hidráulicos de irrigação localizada é comum calcular a perda de carga total (continua e

localizada). Em publicações citadas por Al-amoud (1995) utilizam-se para o cálculo dessas perdas, índices percentuais médios aplicados sobre a perda de carga distribuída ou ainda um coeficiente fixo de carga cinética independente da relação tubo/gotejador.

Com intuito de facilitar os cálculos estima-se uma porcentagem de 5% das perdas de cargas totais sobre a localizada.

Para Alves e Porto (2002) A perda de carga localizada em gotejadores on-line se deve à resistência a movimentação da corrente fluida oferecida pela sua projeção dentro do tubo.

Assim uma vez que a escolha do tipo de linha e emissor seja adequada, uma parte de importância no projeto, o mesmo estará bem dimensionado. No entanto é preciso que o projeto hidráulico e a contabilidade das perdas de cargas sejam precisas, afim que indique um conjunto moto-bomba ideal para o sistema.

Com embasamento no texto, este trabalho teve como objetivo determinar as perdas de carga causadas pela conexão de emissores “on-line”, usados na irrigação localizada em tubulações de diferentes diâmetros e determinar um modelo matemático que determine essas perdas de carga em linha laterais.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural – ESALQ/USP, localizado na cidade de Piracicaba, SP. Utilizou-se no experimento tubos de polietileno de baixa densidade, com diâmetros internos de 13,015 mm e 20,021 mm, com 10 m de comprimento entre os pontos de medição de pressão e com a tubulação em nível.

Utilizou-se no início da linha lateral, para controlar a pressão de entrada, um manômetro digital. Para medição da pressão diferencial um manômetro diferencial com coluna de mercúrio e com menor divisão de escala de 1 mmHg.

A vazão foi controlada com um registro de gaveta no final da tubulação e medida por um medidor de vazão eletromagnético, modelo KC 1000, associado a um conversor de sinais IFC010, ambos fabricados por Controles Automáticos Ltda. (CONAUT). De acordo com as informações do fabricante, esse aparelho apresenta capacidade de leitura de $2,78 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e

precisão de mais ou menos 0,14% para vazões compreendidas entre $5,56 \times 10^{-5}$ e $5,56 \times 10^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (200 a 2000 L h^{-1}).

Para impulsionar a água de um reservatório subterrâneo, existente no laboratório, para um reservatório com capacidade de 1000 litros foi usada uma bomba elétrica modelo Hydrobloc C3000-KSB ligada a um inversor de frequência Siemens modelo Micromaster 420, com a finalidade de manter a rotação do motor constante durante os ensaios, evitando-se alterações de vazão provocada pela a variação de voltagem na rede e alimentação.

Foram selecionados seis tipos diferentes de emissores, os quais foram tirados suas medidas através de um projetor, modelo HB400-2.

Para medição da perda de carga na tubulação utilizou-se tomadas de pressão localizadas nas extremidades da linha. Para alocar essa conexão na linha lateral tomou-se o cuidado para não introduzir nenhum elemento na tubulação e nem deixar qualquer resíduo proveniente da perfuração do tubo de modo a causar possíveis perdas de carga (Figura 1).

Na confecção desse padrão utilizou-se a metodologia descrita por Alves (2002) e Rettore (2008), em que se utiliza de uma barra de aço inox com diâmetro de 2,4 mm e comprimento de 20 cm, feito uma ponta em uma das extremidades para a perfuração do tubo.

O furo foi feito a uma distância de 0,50 m do primeiro emissor apenas para marcar o local, após o furo a barra de aço inox é aquecida e novamente introduzi-

da no furo retirando-a lentamente em movimentos circulares de modo a retirar todos os resíduos originários do furo marcador.

A padronização do furo deu-se pela necessidade de evitar rebarbas que possam obstruir a tomada de pressão e prejudicar medições no manômetro diferencial, o experimento procedeu-se com a introdução do emissor, vedado com durepoxi, na tubulação, e mediu-se a perda de carga, em 20 vazões diferente, variando de 0, 080 $\text{m}^3 \text{ h}$ a 1,600 $\text{m}^3 \text{ h}$ para o diâmetro menor, e vazão de 0,390 a 3,810 $\text{m}^3 \text{ h}$ na tubulação de maior diâmetro, realizou-se a leitura no manômetro diferencial ao final de cada 10 minutos após estabilização da coluna de mercúrio.

Para a tubulação em nível, considerou-se a perda de carga no tubo como sendo a diferença de pressão entre as duas extremidades distantes de 10 metros de tubo contendo 10 emissores. O que correspondia às perdas distribuídas nos tubos mais as localizadas nos emissores conectados.

Al-Amoud (1995) propõe que os valores de perda de carga unitária sejam realizados da seguinte forma: mede-se a perda de carga unitária em uma linha lateral sem emissor (J), em seguida mede-se a mesma com emissores vedados (J'). As diferenças entre os valores de perdas de carga devem ser multiplicadas pelo comprimento da linha (L) e dividida pelo numero de emissores (N) conectados a ela. O resultado é a perda de carga provocada por um emissor. Como descrito na equação abaixo:

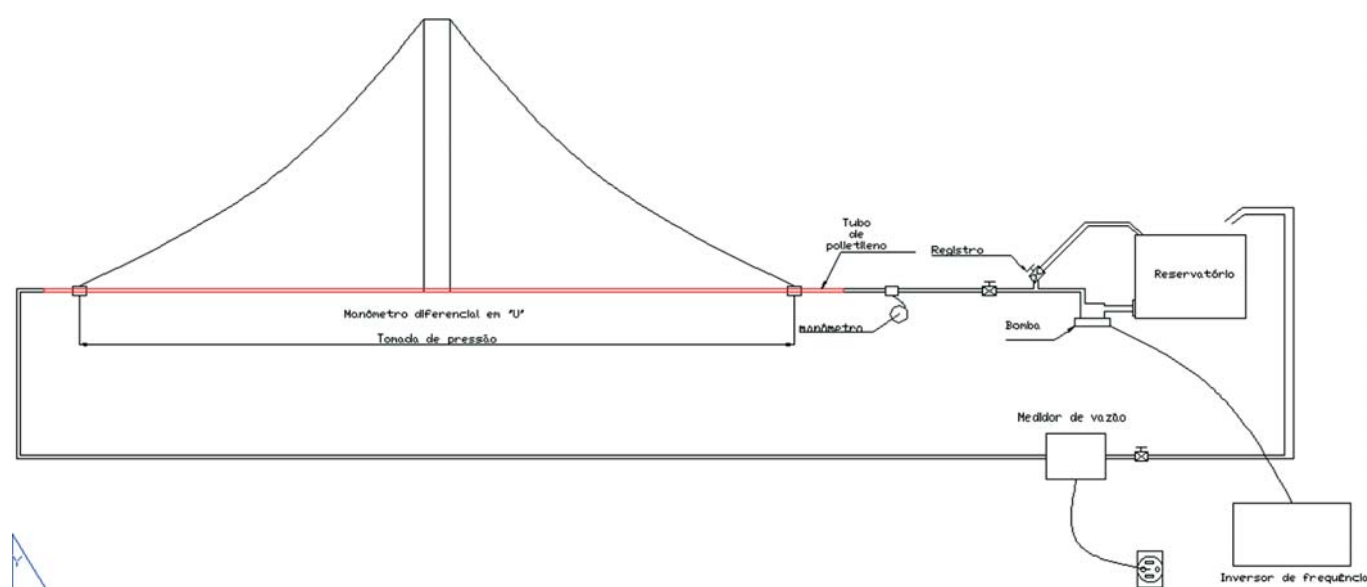


Figura 1. Croqui da bancada de ensaios de perda de carga.

$$hf_i = \frac{J' - J}{N} L \quad (1)$$

A perda de carga observada foi analisada em função da vazão utilizando-se um modelo potencial conforme Eq. (2):

$$J = k \cdot Q^n \quad (2)$$

onde: J – perda de carga unitária no tubo com emissores vedados ($m \cdot m^{-1}$); Q – vazão ($L^3 \cdot h^{-1}$); e k e n são constantes.

Outra forma de se calcular a perda de carga é por unidade de comprimento de tubo conforme a Eq. 3.

$$J = f \frac{1}{D} \frac{V_o^2}{2g} \quad (3)$$

Sendo J a perda de carga unitária ($L \cdot L^{-1}$)

A resistência hidráulica expressa pelo um fator de atrito (f) constitui a informação básica necessária ao projeto hidráulico (Yoo; Sing, 2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionados seis tipos diferentes de emissores, os quais foram tirados suas medidas através de um projetor óptico, modelo HB400-2, fabricado pela Starret Precision Optical, acoplado a um micro-computador com software QC 4000 desenvolvido pela Metronics, e interpretam os sinais enviados pelo sensor, com sistema de medição integrado pelo projetor óptico, o computador QC 4000 e pelas funções de medição foi possível a determinar suas características,

foram tiradas médias de 30 conectores de cada modelo, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização dos emissores testados

Conector	Fabricante	Modelo	Área do conector (mm ²)
A	Plastro	Conector, Base borboleta	24,60
B	Plastro	Conector polietileno, múltiplas saídas macho	24,41
C	Plastro	Conector polietileno, múltiplas saídas fêmea	41,84
D	Plasnova	Conector microtubo	32,75
E	Netafim	Gotejador katif	16,68
F	Netafim	Gotejador "tipo pica-pau"	21,15

Na Figura 2, estão apresentados as perdas de carga observadas, obtidas em experimento em laboratório, ajustadas em função da vazão, para os dois diâmetros testados (Diâmetro (1) 13,015 mm e Diâmetro (2) 20,0 mm), em cada modelo de conector on line. O tipo de gotejador denominado “sobre a linha” possui cargas de pressão nominais variando de 3 a 40 mca, e a carga de pressão de serviço fica geralmente em torno de 10 mca, conforme Bernardo (1995).

Para todos os testes as equações apresentaram coeficientes de regressão superiores a 0,90. Os resultados foram obtidos para números de Reynolds (Re) entre 7000 e 76700, em velocidades médias entre 0,5 e 3,4 ms^{-1} . Alguns autores reconhecem que as turbulências são geradas pelas contrações que a conexão do emissor provoca na linha lateral, diminuindo o diâmetro para a passagem da água. A introdução do conector modifica o curso da água causando turbulência local, diminuindo o diâmetro de escoamento (Zayani *et al.*, 2001)

Na Tabela 2 estão descritos os valores dos coeficientes k' e n' , da equação de perda de carga localizada,

Tabela 2. Coeficientes da Equação tipo potência, para os dois diâmetros e modelos de conectores

Diâmetros internos (mm)	Conectores	Área de protrusão (mm ²)	Coefficiente k' da equação	Coefficiente n' da equação	R ²
13,015	A	24,60	0,0819	2,183	0,98
	B	24,41	0,0392	2,329	0,98
	C	21,15	0,0378	2,178	0,95
	D	41,84	0,4610	2,089	0,95
	E	16,88	0,1113	2,007	0,99
	F	32,75	0,0617	2,197	0,90
20,021	A	24,60	0,0032	2,465	0,92
	B	24,41	0,0028	2,484	0,93
	C	21,15	0,0013	2,828	0,97
	D	41,84	0,0140	1,973	0,95
	E	16,88	0,0032	2,433	0,98
	F	32,75	0,0035	2,437	0,93

para cada modelo de conector nos dois diâmetros observados.

As equações da perda de carga observada foram ajustadas com os coeficientes descritos na Tabela 2. Os acréscimos da perda de carga provocada pela conexão dos emissores, em relação à tubulação sem conectores foram calculados para uma velocidade de escoamento variando de 0,5 m s⁻¹ a 3,0 m s⁻¹. Na Tabela 3 está determinado o acréscimo da perda de carga no tubo provocada pela área de protrusão do conector e velocidade do escoamento, para as diferentes velocidades o aumento das perdas de carga ocorreu de forma proporcional e na Figura 2 estão apresentadas as perdas de carga em função da vazão para os diferentes conectores nos dois diâmetros testados.

Tabela 3. Acréscimos da perda de carga provocada pela área de protrusão do conector

Diâmetros internos (mm)	Conectores	Acréscimo de perda de carga (%)		
		velocidade 0,5 (m s ⁻¹)	velocidade 1,5 (m s ⁻¹)	velocidade 3,0 (m s ⁻¹)
13,015	A	10,0	20,5	30,0
	B	9,7	19,8	29,6
	C	9,2	18,8	28,1
	D	35,5	60,5	73,0
	E	9,1	18,0	25,5
	F	35,3	43,2	49,8
20,021	A	4,0	9,0	12,0
	B	9,0	12,0	14,0
	C	4,0	10,0	10,1
	D	21,1	28,1	33,0
	E	7,2	9,4	11,2
	F	20,0	27,2	32,1

Nota-se que ocorreu um aumento à medida que a área de protrusão aumentou vários autores reconhece a importância das perdas de carga em conexões de emissores, o que estimula o desenvolvimento de modelos matemáticos relacionados ao assunto (Juana *et al.*, 2002; Provenzano *et al.*, 2005; Palau-Salvador *et al.*, 2006)

Acréscimos de perda de carga como esses apresentados, na tabela acima, não devem ser negligenciados, quando dimensionado sistemas de irrigação localizada. O estudo da perda de carga localizada provocada por conectores tem sido objeto de estudo de diversos autores, Al-Amoud (1995) realizou um estudo utilizando oito tipos de emissores on-line, inseridos com um espaçamento de um metro, em cinco tubos de polietileno de diferentes diâmetros, os resultados mostraram um acréscimo significativo da perda de

carga em tubulações, em função da área protrusão do emissor, podendo chegar a 32% em tubos de 13 mm de diâmetro. O trabalho comprova que a perda de carga localizada na protrusão do emissor cresce em função do aumento do grau de obstrução causado pelo emissor na tubulação.

Howell e Barinas (1980), também analisaram as perdas de carga localizadas em conexões de emissores sobre um tubo de 13 mm de diâmetro e sugeriram uma equação para estimar a perda de carga localizada em termos de comprimento equivalente.

Com isso desenvolveu-se uma equação que possa determinar a perda de carga localizada por comprimento equivalente determinando-a da seguinte forma:

$$Le = \frac{2g}{f} \frac{hfe \cdot D}{\left(\frac{Q}{A}\right)^2} \quad (4)$$

O mesmo que:

$$Le = 43,4365 hfe D^{4,75} \gamma^{-0,25} Q^{-1,75} \quad (5)$$

Onde:

$$hfe = k' Q^n \quad (6)$$

Assim: *hfe* é a perda de carga do emissor, *Q* é a vazão e *k'* e *n'* são as constantes.

Sendo assim sugere-se a seguinte equação para determinar a perda de carga total da linha lateral com conectores “on-line” inseridos.

$$hf_T = 2,3018 \cdot 10^{-2} Q^{1,75} \gamma^{0,25} \cdot D^{-4,75} L(1 + Le/Se) \quad (7)$$

onde:

- Q*– vazão (m³ s⁻¹);
- γ – viscosidade cinemática (m² s⁻¹);
- D*– diâmetro (m);
- Le*– comprimento equivalente (m);
- Se*– espaçamento entre emissores(m);
- L*– comprimento (m).

CONCLUSÕES

1. Pode-se prever a perda de carga causada pela conexão de emissores on-line através do conhecimento

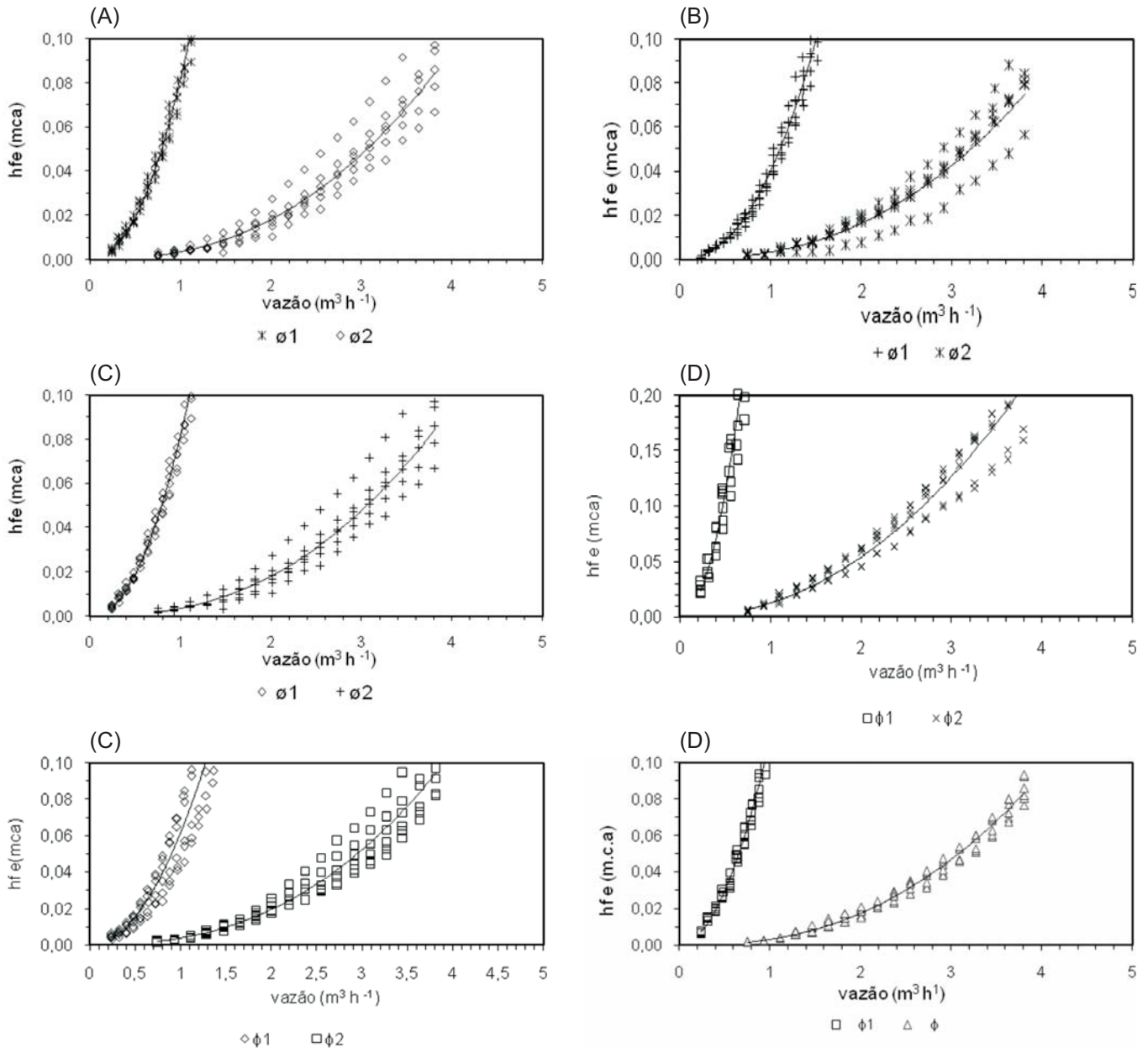


Figura 2. Perda de carga em função da vazão para os conectores A, B, C, D, E e F nos dois diâmetros testados (Diâmetro 1: 13,015 mm e Diâmetro 2: 20,021 mm).

de suas características geométricas

2. A perda de carga localizada e proporcional à área de protrusão do emissor, ou seja, quanto maior a área do emissor maior o acréscimo da perda de carga causada pelo mesmo.

3. A equação sugerida neste trabalho pode ser utilizada para a determinação da perda de carga total na lateral considerando a conexão de emissores “on-line”, coma áreas de protrusão semelhante, as estudadas neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AL-AMOUD, A. I. Significance of energy losses due to emitter connections in trickle irrigation lines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, New York, v. 60, p. 1-5, 1995.
- ALVES, P. R. V; Análise de um coeficiente geométrico para estimativa de perdas de carga em linhas laterais de irrigação por gotejamento. 2000. 163p. Dissertação (mestrado em engenharia civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos 2000.

- ALVES, P. R. V.; PORTO, R. M. Coeficiente geométrico para estimativa de perdas de carga localizada em linhas laterais de irrigação por gotejamento. *Rev. Engenharia Agrícola. Jaboticabal*. v. 22, n. 1, p. 51-59. Jan 2002.
- BAGARELLO, V.; FERRO, V.; PROVENZANO, G.; PUMO, D. Evaluating pressure losses in drip irrigation lines. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 123, n. 1, p. 1-7, January/February, 1997.
- BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 6. ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 657p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, C. E. Manual de irrigação. 7. ed. Viçosa: Ed UFV, 2005. 611p.
- CARDOSO, G. G. G de. Índice geométrico na determinação da perda de carga localizada em conexão de emissores sobre tubos de polietileno de pequenos diâmetros. Piracicaba-SP 2007. 64p.: Dissertação de Mestrado-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
- JUANA, L.; RODRIGUES-SINOBAS, L.; LOSADA, A. Determining minor head losses in drip irrigation laterals. II: Experimental study and validation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 128, n. 6, 2002.
- GOMES, H. P. Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. João Pessoa: UFPB, 1994. 344p.
- HOWELL, T. A.; BARINAS, F. A. Pressure losses across trickle irrigation fittings and emitters. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 23, n. 4, p. 928-33, 1980.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 878-880, 1974.
- MELO, L. J. V.; SILVA, E. L.; FARIA, M. A. Perda de carga em conectores utilizados em sistemas de irrigação localizada. *Rev. Ciência Agrotécnica, Lavras*, v. 24 (Edição Especial), p. 205-214, dez 2000.
- NASCIMENTO, J. M. S. do. Desenvolvimento e avaliação hidráulica de um sistema de gotejamento por gravidade para pequenas propriedades. Lavras – MG. 2006. 80f. Dissertação Mestrado (Irrigação e Drenagem). Universidade Federal de Lavras. 2006.
- PALAU-SALVADOR, G.; SANCHIS, L. H.; GONZÁLES ALTOZANO, P.; ARVIZA VALVERDE, J. Real local losses estimation for on-line emitters using empirical and numerical procedures. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 132, n. 6, 2006.
- PIZARRO, F. Riego localizados de alfa frecuencia: Geteo, microaspersión, exudación. 2. ed. Ediciones Mundi, Madrid: 1990.
- PORTO, R. M. Hidráulica básica. São Carlos: EESC/USP, 1998. 540p.
- PROVENZANO, G.; PUMO, D. Experimental analysis of local pressure losses for microirrigation laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 130, n. 4, p. 318-324, 2004.
- PROVENZANO, G.; PUMO, D.; DIDIO, P. simplified procedure to evaluate head losses in drip irrigation lateral. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v. 131, n. 6, 2005.
- RETTORE N, O. Metodologia para determinação da perda de carga localizada em emissores não coaxiais integrados a tubos de polietileno Piracicaba-SP 2008. 61p.: Dissertação de Mestrado-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008
- VILELA, L. A. A.; SOCCOL, O. J.; GERVÁSIO, 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, 2000.
- YOO, D. H.; SINGH, V. P. Two methods for the computation of commercial pipe friction factors. *Journal of Hydraulics Engineering*, New York, v. 116, n. 2, 2005.
- ZAYANI, K.; ALOUINI, A.; LEBDI, F.; LAMADDALENA, N. Design of drip irrigation systems using the energy drop ratio approach. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 44, n. 5, 2001.