

DECRÉSCIMO DA ENERGIA DE PRESSÃO DEVIDO A INSTALAÇÃO DE CONEXÕES E PEÇAS ESPECIAIS NAS TUBULAÇÕES

Giuliani do Prado¹

1. Professor Doutor, Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha, Brasil
(gprado@uem.br)

Recebido em: 31/03/2015 – Aprovado em: 15/05/2015 – Publicado em: 01/06/2015

RESUMO

Na condução de água para abastecimento ou irrigação, as perdas de cargas são de suma importância, pois têm influência direta no dimensionamento hidráulico do projeto. Em função disso, o presente trabalho visou avaliar, para dois diâmetros distintos (1" e 1 ¼"), a perda de carga linear de tubos de PVC e a perda de carga localizada de conexões e peças especiais. Os ensaios foram conduzidos no Laboratório de Hidráulica da Universidade Estadual de Maringá, em Cidade Gaúcha/PR e as perdas de carga linear e localizada foram determinadas com auxílio de manômetro diferencial para uma faixa de vazão compreendida entre 0 a 15 m³h⁻¹. Para os dados de perda de carga linear e localizada, obtidos em função da vazão, foram ajustadas equações do tipo potencial. Os coeficientes de perda de carga linear das equações de Hazen-Williams (C) e de Flamant (b), obtidos nos ensaios de laboratório, apresentaram valores próximos aos sugeridos na literatura para tubos de PVC. Os valores de perda de carga localizada das conexões e peças especiais obtidos, expressos em comprimento equivalente (Leq) de tubulação, coeficiente de perda de carga (K) e número de diâmetros (Nd) de tubulação, apresentaram discrepâncias em relação aos valores sugeridos na literatura.

PALAVRAS-CHAVE: coeficientes, fator de atrito, tubos de PVC

DECREASING PRESSURE ENERGY DUE TO INSTALLING FITTINGS AND VALVES ON PIPES

ABSTRACT

The head losses of pumping for water supply or irrigation systems are very relevant due to their influence on the hydraulic design. According to this assumption, the paper aimed to evaluate the friction head loss of two different pipe diameters (1" and 1 ¼"), as well as the minor loss of fittings and valves installed at these pipes. The trials were carried out at Laboratory of Hydraulic of the State University of Maringá, in Cidade Gaúcha/PR and, the head losses and minor losses were measured by a differential manometer for a flow rate range from 0 to 15 m³ h⁻¹. The friction losses data, quantified as a function of flow rate, were adjusted for a model of potential equation type. The head loss coefficients obtained in the laboratory trials, for the equations of Hazen-Williams (C) and Flamant (b), presented values near to those suggested in literature for PVC pipes. However, the minor losses values of the fittings and the valves set out at laboratory trials and expressed as equivalent length (Leq),

coefficient K and diameter numbers of pipe (Nd), presented discrepancies in regarding to those suggested in literature.

KEYWORDS: coefficients, friction factor, PVC pipes

INTRODUÇÃO

No escoamento de água nas tubulações, parte da energia disponível ao fluido acaba se transformando em calor, devido à resistência ao escoamento oferecida pela viscosidade do fluido e pela inércia das partículas, sendo variável com a rugosidade da parede do tubo, diâmetro da tubulação e com a velocidade da água (YITAYEW, 2009). Essa perda de carga ou de pressão pode ser linear, que ocorre ao longo das tubulações, ou localizada, que é ocasionada pela presença de conexões e peças especiais alocadas nessas tubulações (BAPTISTA & COELHO, 2003; CARVALHO JÚNIOR, 2013).

De acordo com BRUNETTI (2008), a perda de carga localizada é classificada como uma perda de energia onde o fluido no seu escoamento sofre alterações de forma brusca. Ao contrário da perda de carga linear, a perda de carga localizada promove uma maior perda de energia em pequenos comprimentos devido à presença de conexões (curvas, joelhos, tês, ampliações, etc) e peças especiais (registros, válvulas, etc). Essas perdas de carga localizadas podem ser desprezadas nas tubulações longas cujo comprimento exceda a 4.000 vezes o diâmetro do tubo ou, em tubulações que a velocidade do fluido é baixa e o número de conexões e peças especiais não é grande (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

Para o dimensionamento correto de sistemas de abastecimento de água e de irrigação, é de fundamental importância o conhecimento de dados técnicos de seus componentes. Dentre essas informações técnicas, a perda de carga nas tubulações apresenta grande influência na pressão disponível do sistema e na vazão de condução (GOMES et al., 2010; CARDOSO & FRIZZONE, 2014). No dimensionamento hidráulico, essa perda de carga é empregada, principalmente, no cálculo de diâmetro de tubos e na escolha do conjunto motobomba.

Na determinação da altura manométrica total de sistemas hidráulicos de irrigação é muito comum fazer a contabilização das perdas de carga localizadas acrescentando de 5%, sobre o valor da perda de carga linear. Entretanto, com o uso da informática, cálculos são resolvidos com facilidade, permitindo o emprego de modelos cada vez mais complexos para o cálculo da perda de carga nos sistemas de irrigação (RETTORE NETO et al., 2013).

A perda de carga em um sistema hidráulico influencia no custo do projeto, pois quanto maior a perda de carga ocasionada por tubulações, peças especiais e acessórios, maiores serão os gastos com energia devido à necessidade de um conjunto motobomba de maior potência para conseguir manter a mesma vazão de projeto. Conforme FOX et al., (2006), para que os cálculos de engenharia tenham resultados satisfatórios com exatidão, as perdas de carga localizadas devem ser cuidadosamente quantificadas, e ter suas magnitudes bem estimadas.

ALVES et al. (2012), para um sistema de irrigação localizada, observaram que na estimativa da vazão dos emissores, em função do comprimento do microtubo, é fundamental considerar a perda localizada de carga para alcançar uma maior

exatidão. Desta forma, na condução de água tanto para abastecimento ou para irrigação as perdas de cargas (lineares e localizadas) devem ser quantificadas.

Na quantificação da perda de carga localizada em projetos hidráulicos, existe uma discrepância entre manuais técnicos de perda de carga localizada (FOX et al., 2006; GOMES, 2010; KOTOWSKI et al., 2011) e há uma ausência de dados técnicos atualizados referentes a conexões e peças especiais disponíveis atualmente no mercado. Desta maneira, ensaios de laboratório, para a obtenção de dados atuais de perda de carga localizada, são de grande valia para o correto dimensionamento de projetos de abastecimento de água ou de irrigação.

Segundo TSAKIRIS & TSAKIRIS (2011) atualmente, com a inovação tecnológica e desenvolvimento de novas técnicas de fabricação e aperfeiçoamentos do modo construtivo, além de máquinas que promovem um acabamento muito mais preciso, os materiais disponíveis no mercado apresentam melhor qualidade. Assim sendo, supõe-se que haja diferenças entre os valores de perda de carga localizada em conexões e peças especiais disponíveis no mercado, em relação aos dados informados nas tabelas hidráulicas disponíveis na literatura.

Com o intuito de fornecer dados mais atualizados de perda de carga, para um melhor dimensionamento de projetos de abastecimento de água e irrigação, o objetivo deste trabalho foi avaliar a perda de carga linear em dois diâmetros distintos de tubos de PVC e quantificar a perda de carga localizada de conexões e peças especiais comumente empregadas em projetos hidráulicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de perda de carga contínua de tubos de PVC roscável, com dois diâmetros distintos (1" e 1 ¼"), e de perda de carga localizada de conexões e peças especiais foram realizados no Laboratório de Hidráulica da Universidade Estadual de Maringá, em Cidade Gaúcha/PR.

Na condução dos ensaios, primeiramente, foram avaliadas as perdas de carga lineares nos tubos de PVC. Esse procedimento foi necessário para gerar as equações de perda de carga unitária dos tubos, que foram empregadas na quantificação das perdas de carga localizadas das conexões e peças especiais.

A partir dos ensaios de perda de carga contínua foram realizadas as quantificações, para os dois diâmetros de tubo de PVC, das perdas de carga localizadas, para três tipos de conexões e para três tipos de peças especiais. As três conexões de PVC empregadas têm a função de interligação, curva de 90° (Figura 1a), joelho de 90° (Figura 1b) e joelho de 45° (Figura 1c), nas tubulações. Já as peças especiais utilizadas, para os dois diâmetros de tubo, têm como finalidade regular o fluxo de água, registro de gaveta metálico (Figura 1d), interromper o fluxo de água, registro de globo de PVC (Figura 1e) e evitar golpes de Aríete nas tubulações, válvula de retenção horizontal metálica (Figura 1f).

A determinação das perdas de carga foi conduzida em bancada de ensaio constituída de: i) reservatório de 6.000L para captação de água; ii) conjunto motobomba para proporcionar vazão e pressão ao sistema; iii) medidor de vazão hidromagnético, com faixa de leitura de 0 a 15 m³.h⁻¹; iv) tomadas de pressão para acoplamento do manômetro; v) manômetro diferencial e; vi) registro gaveta para regular a vazão e pressão do sistema.

Para realização dos ensaios, cada tubo de PVC de 1" e 1 ¼", com 6 m de comprimento, foi alocado em nível entre as tomadas de pressão (Figura 2a). Essas

tomadas de pressão, alocadas a dez diâmetros internos de tubo de qualquer elemento perturbador do fluxo de água, foram instaladas de modo a evitar saliências no interior da tubulação (Figura 2b).

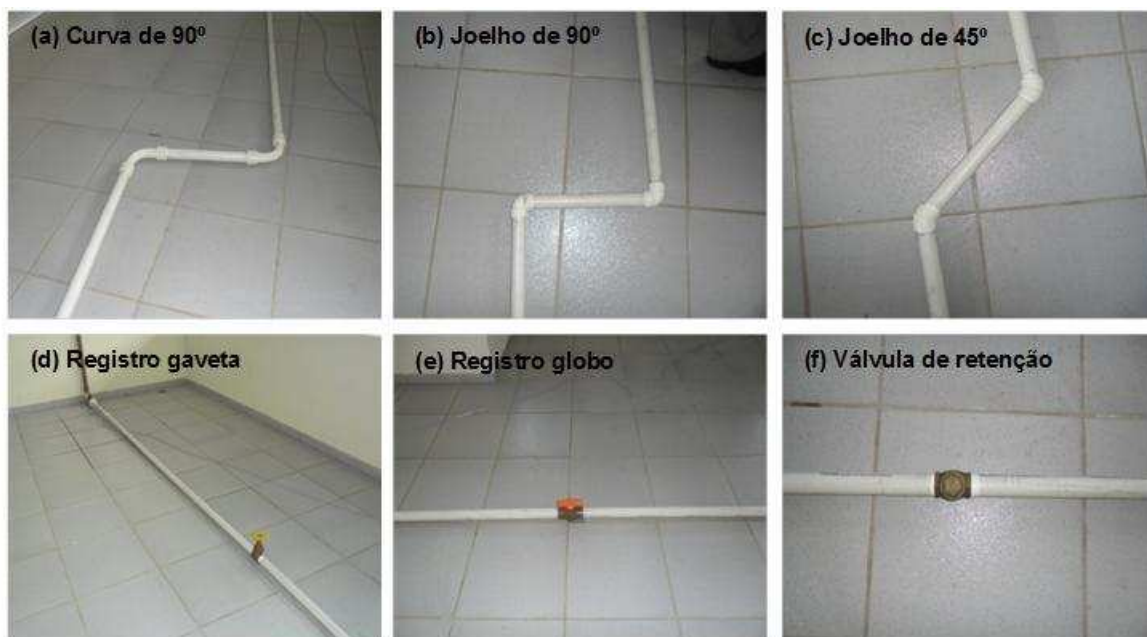


FIGURA 1. Conexões e peças especiais avaliadas nos ensaios em laboratório.
Fonte: Acervo pessoal.

Na condução dos ensaios, os valores de deflexão manométrica foram medidos no manômetro diferencial (Figura 2c), com mercúrio como líquido manométrico, e os valores de vazão foram mensurados com auxílio de um medidor hidromagnético de vazão (Figura 2d). Os valores de vazão obtidos nos ensaios, compreendidos entre 0 a 15 m³.h⁻¹, foram regulados com auxílio de registro de gaveta posicionado na entrada da tubulação.

De acordo com CARVALHO & OLIVEIRA (2008), a perda de carga, para uma tubulação em nível e de mesmo diâmetro, conduzindo uma vazão Q é calculada por:

$$h_f = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = 12,6 \cdot \Delta h \quad (1)$$

em que:

- h_f: perda de carga entre os pontos 1 e 2 (m);
- p₁: pressão no ponto 1 considerado (kgf m⁻²);
- p₂: pressão no ponto 2 considerado (kgf m⁻²);
- γ: peso específico do fluido (kgf m⁻³);
- Δh: deflexão manométrica (mHg).

Os valores de perda de carga contínua, dados pela expressão 1, em função da vazão, conforme ZITTERELL et al., (2009), podem ser ajustados à equação do tipo potencial (Equação 2). Esses valores de perda de carga linear também foram

divididos pelo comprimento de tubulação (L em m), para obtenção da perda de carga unitária (J em m m⁻¹).

$$hf = a \cdot Q^n \quad (2)$$

em que:

Q: vazão (m³ h⁻¹);

a e n: parâmetros de ajuste.

Nos ensaios de perda de carga localizada, para os dois diâmetros de tubos avaliados (1" e 1¼"), conforme a Figura 1, foi adicionada na tubulação duas conexões ou a peça especial a ser estudada, com a mesma seção transversal do tubo. Os ensaios foram realizados com intervalo de vazões compreendidos entre 0 e 15 m³ h⁻¹ e regulados com auxílio de registro de gaveta.



FIGURA 2. Tomadas de pressão alocadas (a), acoplamento das tomadas de pressão (b), manômetro diferencial (c) e medidor de vazão (d) empregados nos ensaios de perda de carga.

Fonte: Acervo pessoal.

Os valores de perda de carga, obtidos nos ensaios de perda de carga localizada com a expressão 1, representam a perda de carga localizada e a perda de carga linear referente aos comprimentos de tubulação compreendidos entre as tomadas de pressão do manômetro diferencial. Segundo CARVALHO & OLIVEIRA (2008), para a determinação da perda de carga localizada, em função da vazão, a perda de carga linear da tubulação deve ser estimada e subtraída do valor de perda de carga obtido nos ensaios por:

$$hf_{loc} = \frac{hf_{total} - Lt \cdot J}{n} \quad (3)$$

em que:

hf_{loc} : perda de carga localizada (m);

hf_{total} : perda de carga total entre as tomadas de pressão (m);

Lt : comprimento de tubulação entre as tomadas de pressão (m);

J : perda de carga unitária ($m \cdot m^{-1}$);

n : número de conexões ou peças especiais alocadas entre as tomadas de pressão.

Os valores de perda de carga contínua obtidos nos ensaios de laboratório, em função da vazão e dos dois diâmetros de tubo (1" e 1¼"), correspondentes aos diâmetros internos de 27,01 e 34,59 mm, foram empregados para calcular os coeficientes C (Equação 4), b (Equação 5) e f (Equação 6), respectivamente, das equações de Hazen-Williams, Flamant e Universal (AZEVEDO NETTO et al., 1998).

$$C = 0,000996 \cdot \frac{Q}{J^{0,54} \cdot D^{2,63}} \quad (4)$$

$$b = 274079,58 \cdot \frac{J \cdot D^{4,75}}{Q^{1,75}} \quad (5)$$

$$f = 156849727,1 \cdot \frac{J \cdot D^5}{Q^2} \quad (6)$$

em que:

C : coeficiente de Hazen-Williams;

b : coeficiente de Flamant;

f : fator de atrito da equação Universal;

D : diâmetro interno da tubulação (m).

A perda de carga localizada pode ser expressa de duas formas distintas, pelo método direto, que é determinada pelo coeficiente "K" de perda de carga localizada, ou pelo método do comprimento equivalente, que vem a substituir o valor de perda de carga por um comprimento "L" de tubulação que promova a mesma perda de carga ocasionada pela conexão. No método indireto, a perda de carga localizada também pode ser apresentada em termos do número de diâmetros de tubulação.

O método direto que é a determinação do coeficiente de perda de carga "K", representa a relação entre a perda de carga localizada e a energia cinética do fluido, dado pela expressão 7 (FOX et al., 2006).

$$K = \frac{2 \cdot g \cdot hf_{loc}}{V^2} \quad (7)$$

em que:

K: coeficiente de perda de carga;
V: velocidade de escoamento (m s^{-1});
g: aceleração da gravidade ($9,80665 \text{ m s}^{-2}$).

Conforme CARVALHO & OLIVEIRA (2008), a perda de carga localizada, expressa em termos de comprimento equivalente (L_{eq}) representa a igualdade entre a equação Universal de perda de carga linear e a equação de perda de carga localizada, isolando o valor de comprimento, resulta em:

$$L_{eq} = \frac{D \cdot K}{f} = \frac{hf_{loc}}{J} \quad (8)$$

em que:

L_{eq} : comprimento equivalente (m);
f: fator de atrito da fórmula Universal de perda de carga.

De acordo com AZEVEDO NETTO et al. (1998), para reduzir o número de informações relativas à perda de carga localizada, o comprimento equivalente pode ser expresso em termos do número de diâmetros de tubulação por:

$$Nd = \frac{L_{eq}}{D} \quad (9)$$

em que:

Nd: número de diâmetros;
L: comprimento equivalente(m);
D: diâmetro interno da tubulação (m).

Conforme AZEVEDO NETTO et al. (1998), para números de Reynolds superiores a 50.000, os valores de K, L e Nd tendem a uma constância. Desta forma, foram determinados os valores médios de K, L e Nd para número de Reynolds superior a esse valor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 são apresentadas as curvas que relacionam a perda de carga linear em função da vazão de água conduzidas em tubulações de diâmetros de 1" e 1 1/4". As equações potenciais ajustadas de perda de carga versus vazão (Tabela 1), para os dois diâmetros estudados, apresentaram coeficientes de determinação próximos a unidade.

TABELA 1. Equações de perda de carga linear (h_f em m) e unitária ($m\ m^{-1}$), em função da vazão (Q em $m^3\ h^{-1}$), e coeficientes de atrito das equações de Hazen-Williams (C), de Flamant (b) e Universal (f).

Tubo	Equações	R^2	C	b	f
1"	$J = 0,0139Q^{1,795}$ $h_f = 0,0838Q^{1,795}$	0,999	141	0,000147	0,02143
1 1/4"	$J = 0,0043Q^{1,707}$ $h_f = 0,0259Q^{1,707}$	0,999	153	0,000125	0,01911

Os expoentes da vazão das equações de perda de carga linear (Tabela 1) apresentaram valores de 1,707 e 1,795. No ensaio de microtubos, ZITTERELL et al. (2009) encontraram variações de 1,780 a 1,800 para o expoente da vazão das equações potenciais de perda de carga ajustadas. Esses valores de expoentes são próximos aos expoentes da vazão das fórmulas de perda de carga (Universal, Hanzem-Williams e Flamant) apresentadas na literatura (AZEVEDO NETTO et al., 1998; CARVALHO & OLIVEIRA, 2008).

O comportamento da perda de carga contínua é nítido na Figura 3, observa-se que a redução do diâmetro da tubulação e o incremento da vazão de condução promovem um aumento da perda de carga na tubulação. Entretanto, ao aumentar o diâmetro essa perda de carga acaba diminuindo consideravelmente. De acordo com AZEVEDO NETTO et al. (1998) e YITAYEW (2009), a perda de carga ao longo da tubulação é proporcional a velocidade e inversamente proporcional ao diâmetro da tubulação, ou seja, diâmetros menores apresentam maiores velocidades promovendo maior resistência ao escoamento.

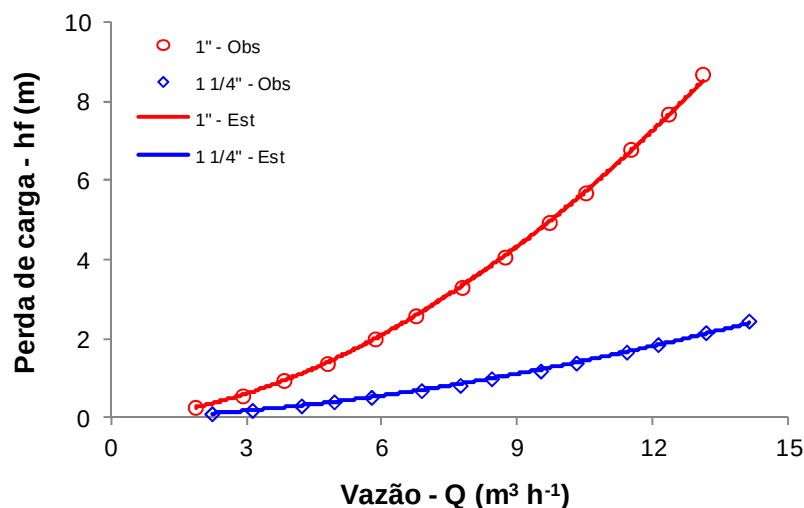


FIGURA 3. Perda de carga contínua em função da vazão para tubos de diâmetros de 1" e 1 1/4".

Fonte: Resultado da pesquisa.

Através das equações de Hazen-Williams, Flamant e Universal estimou-se os valores médios dos coeficientes de atrito " C ", " b " e " f " (Tabela 1). Conforme AZEVEDO NETTO et al. (1998) e CARVALHO & OLIVEIRA (2008), o valor do coeficiente " C " da equação de Hazen-Williams para uma tubulação de PVC nova é próximo a 140, os valores médios encontrados nos ensaios, respectivamente, para

os diâmetros de tubo de 1" e 1 1/4" foram de 141 e 153, sendo que o diâmetro de 1" apresentou um valor muito próximo ($C = 141$) ao sugerido na literatura. Para o coeficiente de atrito "b" da fórmula de Flamant, a literatura sugere, para tubulações de PVC, valores próximos a 0,000120, entretanto observou-se valores médios de 0,000125 e 0,000147 para os dois diâmetros de tubos estudados.

Os coeficientes de atrito dos tubos de PVC para a fórmula Universal apresentaram valores médios de 0,01911 e 0,02143 (Tabela 1), essa variação foi devido ao regime de escoamento e à rugosidade dos tubos estudados. Conforme apresentado na Figura 4, os valores do coeficiente de atrito "f", obtidos nos ensaios para o tubo de 1 1/4" de diâmetro, praticamente, correspondem aos valores de coeficientes de atrito "f" obtidos através da equação de Blasius para regime turbulento liso (CARVALHO & OLIVEIRA, 2008). Para o tubo de 1" de diâmetro, os valores de coeficientes de atrito "f" obtidos nos ensaios de laboratório ficaram acima dos valores de "f" encontrados pela equação de Blasius, sugerindo que os valores de "f" encontram-se em um regime turbulento de transição.

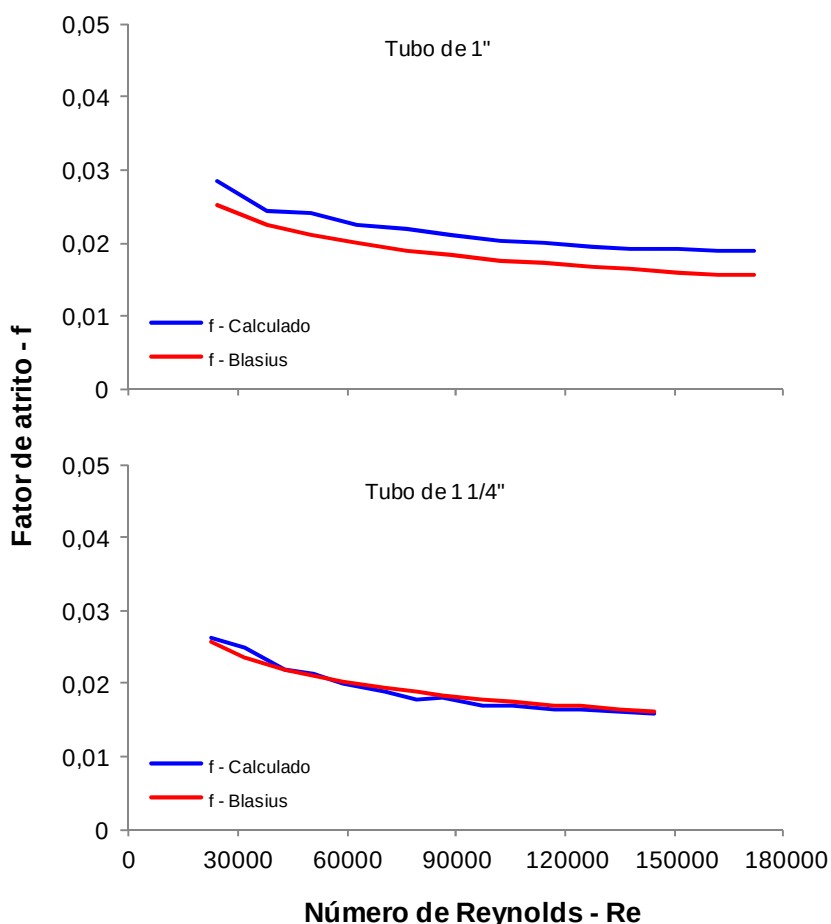


FIGURA 4. Fator de atrito "f" da fórmula Universal, obtido nos ensaios de laboratório e através da equação de Blasius, em função do número de Reynolds.

Fonte: Resultado da pesquisa.

Na Figura 5 são apresentadas as curvas da perda de carga localizada nas conexões e peças especiais referentes aos dois diâmetros estudados. A perda de carga localizada apresentou o mesmo comportamento que a perda de carga linear, ou seja, o incremento na vazão e a redução no diâmetro promovem um aumento da perda de carga, que se torna mais pronunciado com o tipo de conexão ou peça especial empregada. Conforme observado na Figura 5, o emprego de joelhos de 90°, ao invés de curvas de 90°, proporcionam maiores perdas de carga localizadas em um sistema hidráulico.

Nas Tabelas 2 e 3 são mostradas as equações de perda de carga localizada em função da vazão, ajustadas, respectivamente, para cada conexão e peça especial de diâmetro de 1" e 1 1/4". Essas equações apresentaram coeficientes de determinação todos superiores a 91%. Os expoentes de vazão tiveram variações entre 1,780 e 2,195, que são valores próximos aos expoentes das equações empregadas para o cálculo de perda de carga linear.

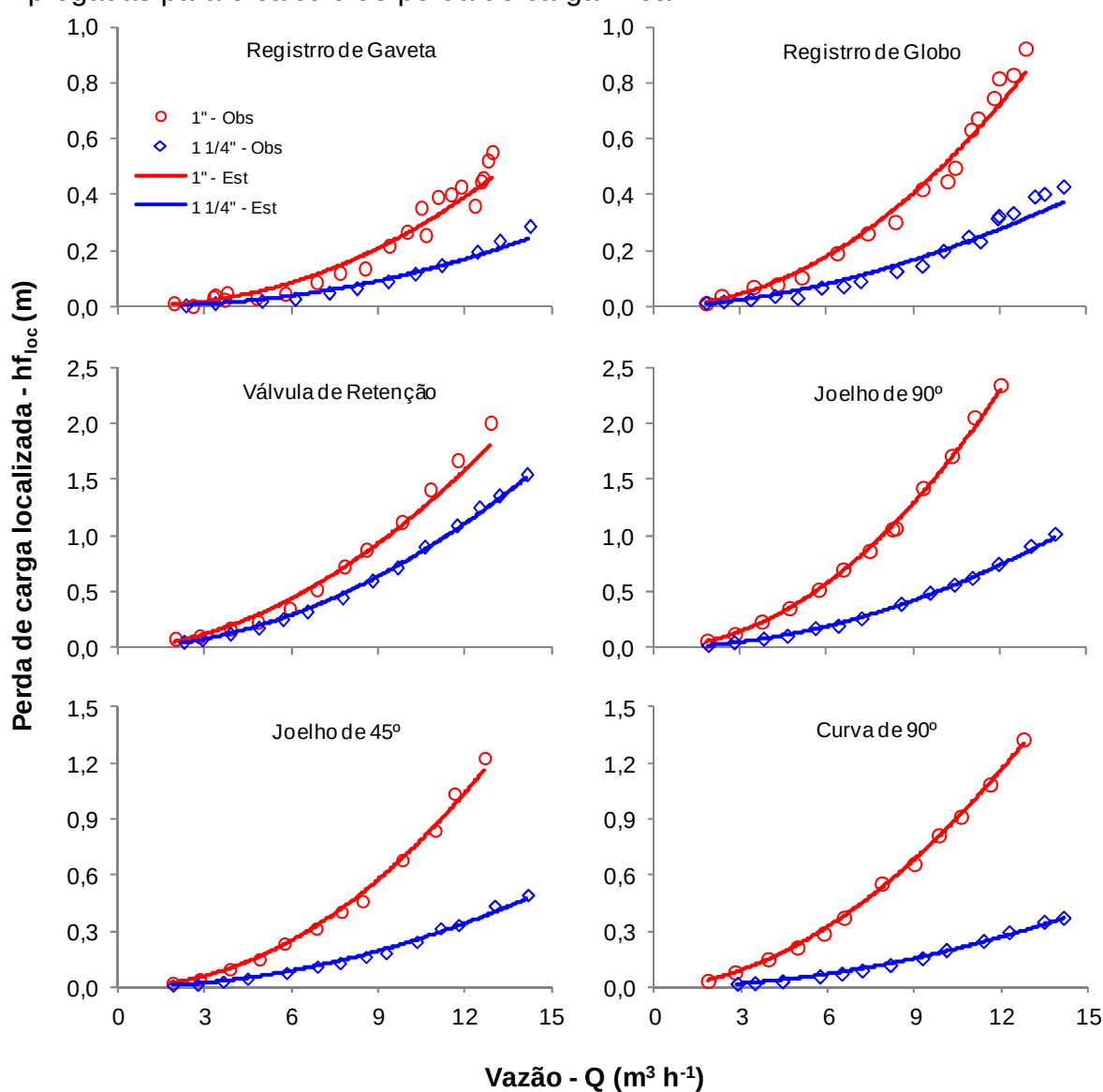


FIGURA 5. Perda de carga localizada em conexões e peças especiais em função da vazão.

Fonte: Resultado da pesquisa.

Os valores de perda de carga localizada, para o diâmetro de 1" e 1 1/4", expressos em termos do comprimento equivalente (Leq) de tubulação, coeficiente de perda de carga localizada (K) e em número de diâmetros (Nd) são apresentados, respectivamente nas Tabelas 2 e 3. Esses valores representam a média de Leq, K e Nd obtidos para números de Reynolds superiores a 50.000. Conforme AZEVEDO NETTO et al. (1998), para números de Reynolds maiores que 50.000, os valores de Leq, K e Nd tendem a uma constância (Figura 6), independentemente do diâmetro da tubulação, da velocidade e da natureza do fluido.

TABELA 2. Equações de perda de carga localizada (h_f em m) em função da vazão (Q em $m^3 h^{-1}$), comprimento equivalente (Leq), coeficiente de perda de carga localizada (K) e número de diâmetros (Nd), obtidos para conexões e peças especiais de diâmetro de 1".

Conexão e peça especial	Equação	R ²	Leq (m)	K	Nd
Registro gaveta	$h_f = 0,0017Q^{2,195}$	0,914	0,298	0,214	11
Registro globo	$h_f = 0,0048Q^{2,016}$	0,985	0,557	0,408	21
Válvula de retenção	$h_f = 0,0156Q^{1,860}$	0,980	1,260	0,954	47
Joelho de 45°	$h_f = 0,0061Q^{2,067}$	0,997	0,772	0,586	29
Joelho de 90°	$h_f = 0,0157Q^{2,005}$	0,999	1,752	1,321	65
Curva de 90°	$h_f = 0,0117Q^{1,851}$	0,999	0,942	0,719	35

TABELA 3. Equações de perda de carga localizada (h_f em m) em função da vazão (Q em $m^3 h^{-1}$), comprimento equivalente (Leq), coeficiente de perda de carga localizada (K) e número de diâmetros (Nd), obtidos para conexões e peças especiais de diâmetro de 1 1/4".

Conexão e peça especial	Equação	R ²	Leq (m)	K	Nd
Registro gaveta	$h_f = 0,0009Q^{2,130}$	0,982	0,507	0,250	15
Registro globo	$h_f = 0,0033Q^{1,780}$	0,959	0,902	0,442	26
Válvula de retenção	$h_f = 0,0092Q^{1,928}$	0,998	3,540	1,753	102
Joelho de 45°	$h_f = 0,0025Q^{1,980}$	0,994	1,075	0,534	31
Joelho de 90°	$h_f = 0,0056Q^{1,962}$	0,998	2,328	1,161	67
Curva de 90°	$h_f = 0,0022Q^{1,940}$	0,992	0,846	0,421	24

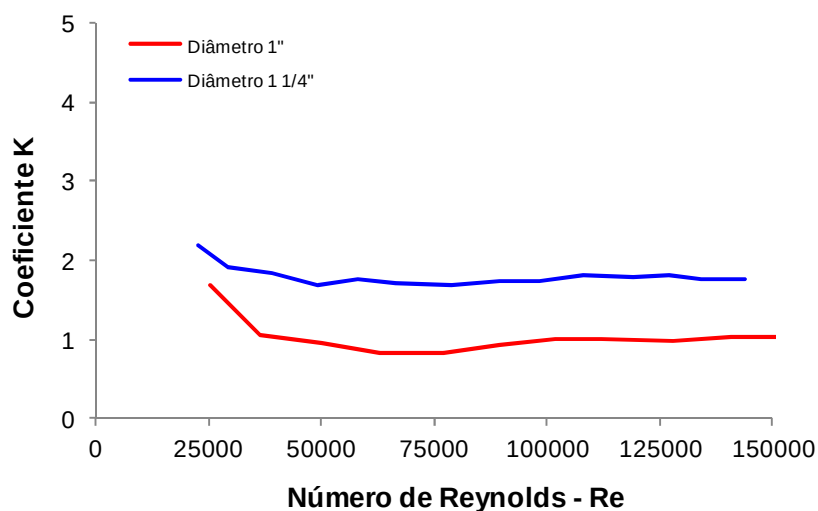


FIGURA 6. Coeficiente de perda de carga “K” em função do número de Reynolds para válvula de retenção.

Fonte: Resultado da pesquisa.

Os valores de perda de carga localizada, expressos pelo “Leq”, “K” e “Nd”, das Tabelas 2 e 3, foram confrontados com os valores apresentados nos livros de hidráulica (AZEVEDO NETTO et al., 1998; CARVALHO & OLIVEIRA, 2008). Grandes diferenças foram observadas entre esses valores, enquanto que os valores de perda de carga localizada, obtidas para as conexões foram superestimados, os valores obtidos para as peças especiais foram subestimados, com exceção ao registro de gaveta. A maior discrepância entre os valores observados e apresentados nos livros de hidráulica foi para o registro de globo, onde o valor obtido de comprimento equivalente em tabelas de hidráulica, para os diâmetros de 1” e 1 1/4”, foi, respectivamente 14,7 e 12,5 vezes maior que os valores obtidos nos ensaios de laboratório.

FOX et al., (2006), GOMES (2010) e KOTOWSKI et al., (2011) mencionam que existem discrepâncias nos valores de perda de carga localizada das conexões e peças especiais disponíveis no mercado com os valores publicados nos manuais técnicos de hidráulica. Conforme TSAKIRIS & TSAKIRIS (2011), essas diferenças devem-se as mudanças nos processos construtivos empregados atualmente.

CONCLUSÕES

- os coeficientes das equações de Hazen-Williams (C) e Flamant (b), para tubos de PVC, apresentaram valores próximos aos sugeridos na literatura;
- o fator de atrito “f” da fórmula Universal variou em função do Número de Reynolds;
- os valores de perda de carga localizada, expressos em termos do comprimento equivalente (Leq), coeficiente de perda de carga localizada (K) e número de diâmetros (Nd), encontrados nos ensaios em laboratório apresentaram discrepâncias em relação aos valores sugeridos nas tabelas de hidráulica;
- a perda de carga localizada, expressa em termos do número de diâmetros (Nd), não apresentou constância em relação aos dois diâmetros estudados.

REFERÊNCIAS

- ALVES, D. G.; PINTO, M. F.; SALVADOR, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; ALMEIDA, C. D. G. C.; BOTREL, T. A. Modelagem para o dimensionamento de um sistema de microirrigação utilizando microtubos ramificados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n. 2, p.125-132, 2012.
- AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1998. 664 p.
- BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2003. 440 p.
- BRUNETTI, F. **Mecânica dos fluidos**. 2. ed. São Paulo: Editora Pearson Prentice Hall, 2008. 420 p.
- CARDOSO, G. G. G.; FRIZZONE, J. A. Perda de carga localizada em conexão de emissor on-line. **Irriga**, Botucatu, v.19, n. 4, p.537-547, 2014.
- CARVALHO JÚNIOR, R. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura**. 7. ed. São Paulo: Blucher. 2013. 89 p.
- CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, L. F. **Instalações de Bombeamento para Irrigação**. Lavras: Editora UFLA. 2008. 354 p.
- FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução a mecânica dos fluidos**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2006. 798 p.
- GOMES, H. P. **Sistemas de Saneamento – Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB. 2010. 366 p.
- GOMES, A. W. A.; FRIZZONE, J. A.; RETTORE NETO, O.; MIRANDA, J. H. Perdas de carga localizada em gotejadores integrados em tubos de polietileno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n. 3, p.435-446, 2010.
- KOTOWSKI, A.; SZEWCZYK, H.; CIEŻAK, W. Entrance loss coefficients in pipe hydraulic systems. **Environment Protection Engineering**, Wrocław, v.37, n. 4, p.105-117, 2011.
- RETTORE NETO, O.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A.; PINTO, M. F.; CAMARGO, A. P. Quantificação do erro na determinação da perda contínua de carga em tubos elásticos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n. 6, p.1312-1321, 2013.
- TSAKIRIS, G.; TSAKIRIS, V. Pipe technologies for urban water conveyance distribution systems. **Water Utility Journal**, Athens, v.3, n. 1, p.29-36, 2012.
- YITAYEW, M. Simplified method for sizing laterals with two or more diameters. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.135, n. 1, p.111-114, 2009.

ZITTERELL, D. B.; FRIZZONE, J. A.; RETTORE NETO, O.; ULLMANN, M. N. Perda de carga em microtubos e conectores utilizados em microaspersão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n. 4, p.591-604, 2009.