

Comparação de equações para estimativa da perda de carga em tubulação de polietileno

Resumo

A determinação da perda de carga em projetos de irrigação não é utilizada por ser um método de baixa praticidade. Para isso, existem equações que estimam essa variável, embasando-se em características das tubulações e do projeto, tais como material do tubo, diâmetro e vazão do sistema. Dessa forma, objetivou-se avaliar a melhor equação para a estimativa da perda de carga em tubulação de polietileno com diâmetro interno de 25 mm, comparando os resultados à perda de carga determinada em manômetro de mercúrio. O experimento foi realizado no laboratório de irrigação da FCAV/Unesp, Jaboticabal em junho de 2017. A estimativa da perda de carga foi realizada pela equação de Hazen-Williams e de Darcy-Weisbach, sendo que para essa última o fator de atrito (f) foi estimado pelos modelos de Swamee e Jain e de Blasius. As equações foram comparadas com os dados determinados em coluna de mercúrio em 5 vazões, com valores variando de $1,55 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a $5,15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. A estimativa da perda de carga pelo método de Swamee e Jain superestimou os valores determinados na coluna de mercúrio. Até a vazão de $5,15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ o método de Hazen-Williams apresentou a menor variação e, conseqüentemente, a maior eficiência de estimativa de perda de carga em relação aos valores determinados para a tubulação de polietileno com diâmetro de 25 mm.

Palavras-chave: Atrito externo; Blasius; Hazen-Williams; Swamee e Jain.

Anderson Prates Coelho ¹

José Renato Zanini ²

Rogério Teixeira de Faria ²

Alexandre Barcellos Dalri ²

Luiz Fabiano Palaretti ²

Abstract

Comparison of equations for the estimation of head loss in polyethylene tube

The determination of the head loss in irrigation projects is not used because it is a low practical method. For this, there are equations that estimate this variable, based on characteristics of the pipes material, diameter and system flow. Thus, the objective of this study was to evaluate the best equation for estimating the head loss in polyethylene tubing with internal diameter of 25 mm, comparing the results to the head loss determined in a mercury manometer. The experiment was carried out in the irrigation laboratory of the FCAV/Unesp, Jaboticabal, in June 2017. The estimation of the head loss was performed by the Hazen-Williams and Darcy-Weisbach equation, with the friction factor (f) estimated by Swamee and Jain and Blasius models. The equations were compared with the data determined in column of mercury in five flows, with values ranging from $1.55 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a $5.15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. The estimation of the head loss by Swamee and Jain method overestimated the values determined in the mercury column. Up to the $5.15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ flow the Hazen-Williams method presented the lowest variation and, consequently, the higher efficiency of estimated of head loss in relation to the values determined for polyethylene tubing with a diameter of 25 mm.

Key words: External friction; Blasius; Hazen-Williams; Swamee and Jain.

Received at: 31/06/2017

Accepted for publication at: 27/11/2017

¹ Eng. Agrônomo. Mestrando em Agronomia. Universidade Estadual Paulista - UNESP - Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane - Vila Industrial, Jaboticabal - SP, 14884-900. Email: anderson_100ssp@hotmail.com

² Eng. Agrônomo. Dr. Prof. Universidade Estadual Paulista - UNESP - Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane - Vila Industrial, Jaboticabal - SP, 14884-900. Email: jrzanini@fcav.unesp.br; rogeriofaria@fcav.unesp.br; dalri@fcav.unesp.br; lfpalaretti@fcav.unesp.br

Resumen

Comparación de ecuaciones para estimación de la pérdida de carga en tubería de polietileno

La determinación de la pérdida de carga en proyectos de riego no es utilizada por ser un método de baja practicidad. Para ello, existen ecuaciones que estiman esa variable, basándose en características de las tuberías y del proyecto, tales como material del tubo, diámetro y caudal del sistema. De esta forma, se objetivó evaluar la mejor ecuación para la estimación de la pérdida de carga en tubería de polietileno con diámetro interno de 25 mm, comparando los resultados a la pérdida de carga determinada en manómetro de mercurio. El experimento fue realizado en el laboratorio de irrigación de la FCAV / Unesp, Jaboticabal en junio de 2017. La estimación de la pérdida de carga fue realizada por la ecuación de Hazen-Williams y de Darcy-Weisbach, siendo que para esa última el factor de fricción (f) fue estimado por los modelos de Swamee y Jain y de Blasius. Las ecuaciones fueron comparadas con los datos determinados en columna de mercurio en 5 caudales, con valores que varían de $1,55 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a $5,15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. La estimación de la pérdida de carga por el método de Swamee y Jain sobreestimó los valores determinados en la columna de mercurio. Hasta el caudal de $5,15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ el método de Hazen-Williams presentó la menor variación y, consecuentemente, la mayor eficiencia de estimación de pérdida de carga en relación a los valores determinados para la tubería de polietileno de diámetro de 25 mm.

Palabras clave: fricción externa; Blasius; Hazen-Williams; Swamee y Jain.

Introdução

Dentre os fatores que influenciam o sucesso de um sistema de irrigação, o componente hidráulico ganha destaque. Isso ocorre, pois a uniformidade de aplicação de água é basicamente influenciada pelos equipamentos, condições ambientais e pressões dimensionadas (FARIA et al., 2009). Um sistema com baixa uniformidade de aplicação de água gera problemas como elevado consumo de água, déficit hídrico e excesso de água em partes da área, além da perda de produtividade agrícola (PAULINO et al., 2009). Dessa maneira, o fator mais importante a se levar em conta no projeto hidráulico de um sistema de irrigação é a perda de carga.

A perda de carga (hf) é um termo utilizado para explicar a dissipação de energia que ocorre no movimento da passagem de um fluido de um ponto ao outro na tubulação (PORTO, 1998). Em condições de um fluido perfeito, ou seja, incompressível e sem viscosidade, a perda de energia é nula. Embora a água tenha pequena viscosidade e seja pouco compressível, ainda sim podem existir grandes valores nas tubulações de um sistema de irrigação (GOMES et al., 2010). Dessa maneira, torna-se uma importante variável no dimensionamento hidráulico da irrigação.

É uma medida que sofre influência de diversos fatores, dentre eles podem ser destacados a temperatura do fluido, sua viscosidade e a rugosidade da tubulação. A perda de carga imprime uma resistência ao escoamento, aumentando quanto maior for a viscosidade do fluido e a inércia das partículas (AZEVEDO NETTO et al., 1998). A resistência ao fluxo do fluido se dá tanto pelo atrito entre suas partículas (atrito interno) como entre suas partículas e a parede do tubo (atrito externo), pois a parede da tubulação pode aumentar muito a turbulência de escoamento (SAMPAIO et al., 2007).

Como a determinação da perda de carga em campo torna-se inviável ao projetista para o dimensionamento hidráulico, logo existem diversas equações que estimam a perda de carga nas tubulações. Frequentemente, os projetistas de sistemas de irrigação utilizam as equações de perda de carga disponíveis na literatura, considerando os diâmetros informados pelos fabricantes. Dentre elas podem ser destacadas a equação de Darcy-Weisbach e a de Hazen e Williams (1963). Para a primeira, existe um fator de atrito (f) que varia de acordo com a condição de escoamento, devendo ser determinado por meio de equações matemáticas, dentre as quais estão os modelos de Swamee e Jain (1976) e o de Blasius. No entanto, os diâmetros dos tubos podem

modificar-se em virtude das variações na pressão de operação e, as variações nas perdas de carga podem ser superiores a 20% do valor real (VILELA et al., 2003). A diferença no diâmetro pode chegar a mais de 10% do valor informado pelo fabricante, mesmo trabalhando na faixa de pressão recomendada (ANDRADE, 1990).

As equações para estimar a perda de carga foram determinadas ou deduzidas teoricamente para um regime de escoamento específico (ZITTERELL, 2011). Os regimes de escoamento dependem basicamente do número de Reynolds. O número de Reynolds representa a relação entre a força de inércia por unidade de área. Quanto maior o número de Reynolds, mais importantes são as forças de inércia e menos relevantes as forças viscosas (GILES, 1970). O regime de escoamento pode ser classificado como laminar ou turbulento, baseando-se no número de Reynolds. Valores inferiores a 2.000 indicam regime laminar, já para valores acima de 4.000 o regime é turbulento (AZEVEDO NETTO et al., 1998). A equação de Darcy-Weisbach, com o fator de atrito (f) calculado por Swamee e Jain, é a única equação recomendada para qualquer valor de número de Reynolds (ANDRADE e CARVALHO, 2000).

No entanto, como a perda de carga é dependente de diversos fatores, a utilização de equações para sua estimativa é uma tarefa difícil e que muitas vezes não representa a realidade (ALAZBA et al., 2012). Geralmente as equações superestimam as perdas de carga que ocorrem, pois as tubulações de PVC, mais comumente utilizadas em sistemas de irrigação, aumentam seu diâmetro quando pressurizadas, diminuindo a perda de carga que é determinada (RETTORE NETTO et al., 2013).

Dessa maneira, o objetivo do experimento foi comparar as estimativas da perda de carga pelas equações de Hazen-Williams e de Darcy-Weisbach, com os coeficientes de atrito propostos por Swamee e Jain e Blasius, com a perda de carga determinada em manômetro de mercúrio tipo coluna em "U".

Material e Métodos

O experimento foi realizado no laboratório de irrigação do departamento de engenharia rural da FCAV, Unesp, Campus de Jaboticabal. A determinação da perda de carga, utilizada como padrão, foi realizada em manômetro diferencial tipo coluna de mercúrio em "U". A coluna de mercúrio em nível fica a uma altura de 1,5 m em relação ao

solo. O teste constou de um reservatório de água, moto-bomba centrífuga de 1 cv e tubulação de polietileno com diâmetro nominal de 25 mm, na qual dois pontos, afastados 10 metros na tubulação, foram conectados à coluna de mercúrio. As variações de vazão do sistema eram controladas por meio da abertura do registro no final da linha e foram realizadas cinco variações de vazão durante o teste. A determinação da vazão foi realizada utilizando-se balança de pesagem e considerando o peso específico da água de 1.000 kg m⁻³.

Em cada teste realizado os dados foram alocados em planilhas eletrônicas, anotando-se variáveis como leitura no manômetro, tempo de coleta, volume coletado, vazão, velocidade de escoamento, número de Reynolds e perda de carga (m/100m). Os valores de perda de carga determinados foram comparados aos dados estimados através das equações de Hazen e Williams (1963) (Equação 1), Swamee e Jain (1976) (Equação 2 e 3) e Blasius (Equação 4).

$$Hf = 10,645 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,85} * \frac{L}{D^{4,87}} \quad (1)$$

Em que:

Hf= Perda de carga total (mc.a.);

Q= Vazão (m³ s⁻¹);

C= Coeficiente de rugosidade (adimensional);

L= Comprimento da tubulação (m);

D= Diâmetro (m);

$$Hf = f * \left(\frac{L}{D}\right) * \left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (2)$$

Em que:

Hf= Perda de carga total (mc.a.);

f= Coeficiente de atrito (adimensional);

L= Comprimento da tubulação, m;

D= Diâmetro da tubulação (m);

V= Velocidade média (m s⁻¹);

g= Aceleração da gravidade (m s⁻²);

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

Em que:

e= Rugosidade (m);

Rey= Número de Reynolds (adimensional);

$$Hf = 7,779 * 10^{-4} L \left(\frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \right) \quad (4)$$

Em que:

Hf= Perda de carga total (mc.a.);

Q= Vazão (m³ s⁻¹);

L= Comprimento da tubulação (m);

D= Diâmetro (m).

Resultados e discussão

Em comparação ao padrão, a estimativa da perda de carga pelo método de Swamee e

Jain foi a única que superestimou todos os testes (Tabela 1). Em média, o aumento foi de 6,42% dos valores determinados, sendo que a maior diferença foi de 10,6% e a menor de 2,2%. Nas estimativas realizadas pelos métodos de Hazen-Williams e Blasius não ocorreu uma tendência única de sub ou superestimativa dos valores determinados. No método de Hazen-Williams, os valores de perda de carga foram subestimados nos dois extremos de vazão.

Na média, a perda de carga pelo método de Hazen-Williams variou 2,44% em relação aos valores determinados. Também não existiu uma tendência pré-determinada no comportamento da estimativa da perda de carga pelo método de Blasius em relação aos valores determinados. A variação média da perda de carga pelo método de Blasius foi de 3,74%.

Tabela 1. Perda de carga determinada em manômetro de mercúrio e estimada pelos métodos de Hazen-Williams, Swamee & Jain e Blasius.

Leitura (mm)		hf= 12,596 h'	Tempo coleta	Volume coletado	Q
Inferior	Superior	mc.a.	(s)	(L)	(m ³ s ⁻¹)
8	23	0,39	49,91	21,5	0,000431
27	43	0,88	38,85	27,7	0,000695
57	70	1,6	30,62	28,8	0,00094
91	104	2,46	21,72	26,4	0,00121
133	145	3,5	27,23	38,7	0,00142
V	Reynolds	Hazen-Williams	Swamee & Jain	Blasius	
(m s ⁻¹)	(VD/visc.)	(m/100m)	(m/100m)	(m/100m)	
0,88	27.782	3,78	4,13	4,08	
1,42	34.901	9,1	9,73	9,42	
1,91	47.277	16	16,82	15,98	
2,48	61.386	25,5	26,64	24,86	
2,9	71.666	34,3	35,78	32,9	

O comportamento da variação das estimativas da perda de carga em relação aos valores determinados é apresentado nas Figuras 1 e 2. As variações de leituras nas cinco diferentes vazões testadas, em relação aos valores determinados na coluna de mercúrio, foram de 5,9%, 10,6%, 5,1%, 8,3%, 2,2% para Swamee e Jain, -3,1%, 3,4%, 0%, 3,7%, -2% para Hazen-Williams e 4,6%, 7,0%, -0,1%,

1,0%, -6% para Blasius, respectivamente. De acordo com Cavalcanti et al. (2009), todas as equações para estimativa de perda de carga superestimam os valores determinados, principalmente a partir da vazão de 7 m³ h⁻¹ (0,00194 m³ s⁻¹). Segundo Rettore Neto et al. (2013), a equação de Darcy-Weisbach, com o cálculo do fator de atrito por Blasius, apresenta a menor variação dos valores determinados em laboratório.

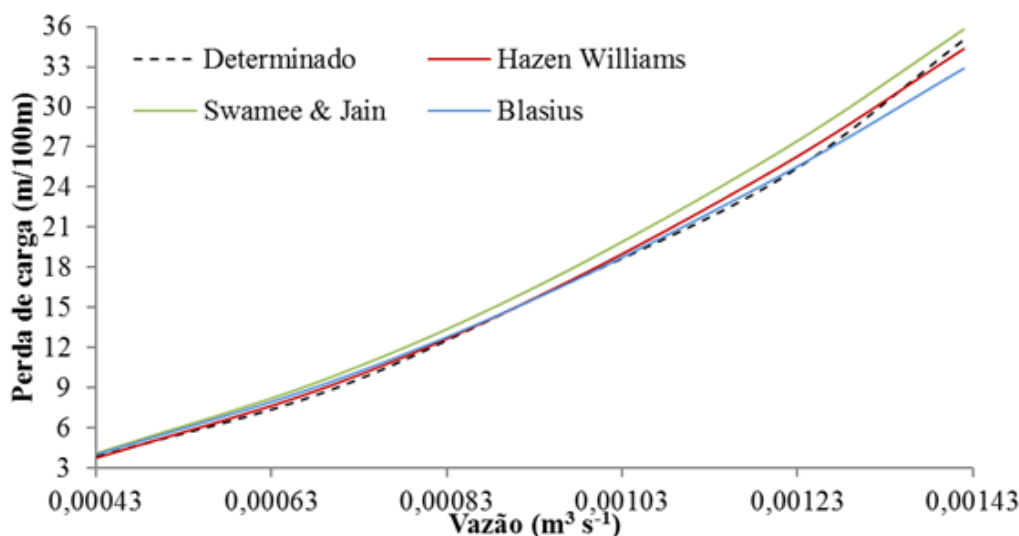


Figura 1. Perda de carga determinada e estimadas pelas equações de Hazen-Williams, Swamee e Jain e Blasius.

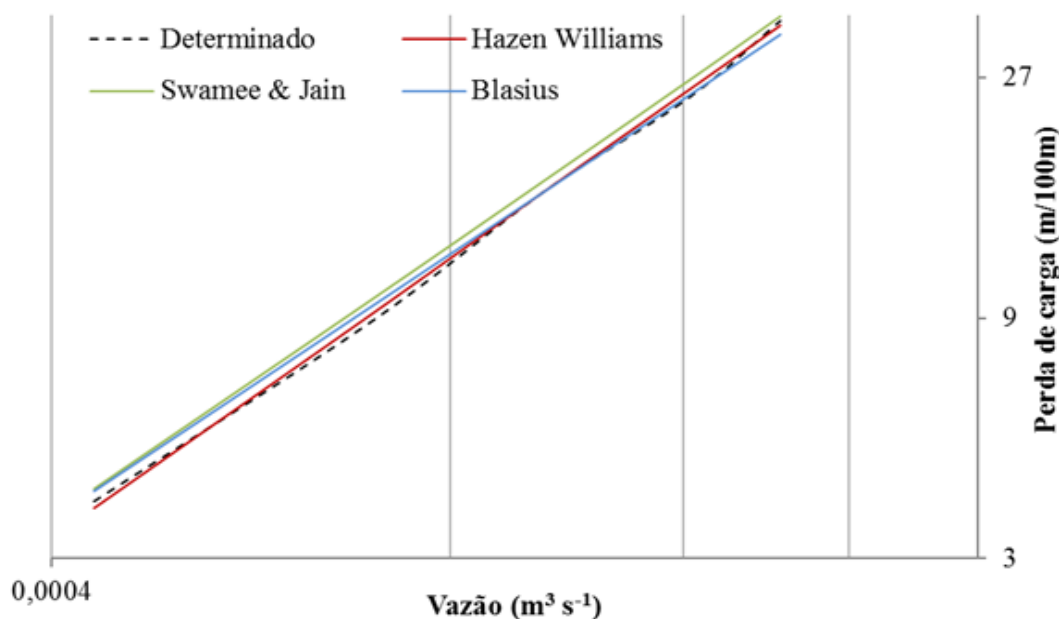


Figura 2. Perda de carga determinada e estimadas pelas equações de Hazen-Williams, Swamee e Jain e Blasius em escala logarítmica.

Para tentar diminuir a variação da perda de carga calculada com a real, diversos coeficientes podem ser adicionados às equações tradicionais para melhor precisão das mesmas, além da utilização de ferramentas computacionais e métodos mais específicos (RETTORE NETO et al., 2009; ARBAT et al., 2011; SADEGHI et al., 2011). No entanto, muitas vezes esses métodos são complexos e exigem elevado

conhecimento do projetista, além da necessidade de informações muito específicas dos materiais das tubulações como coeficientes de elasticidade, valores que nem sempre são facilmente disponíveis (RETTORE NETO et al., 2014).

Equações com coeficientes muito específicos tornam-se úteis quase que exclusivamente para fins acadêmicos, possuindo pequena praticidade. Nesse

contexto, a utilização de equações que melhor se adaptam à condição de interesse é o melhor caminho para o projetista (YURDEM et al., 2010)

Dessa maneira, verifica-se que as equações de Hazen-Williams e Blasius foram as que apresentaram menor variação em relação aos valores de perda de carga determinados em coluna de mercúrio e que o modelo proposto por Swamee e Jain superestimou todos os testes realizados para o tubo de polietileno com diâmetro interno de 25 mm.

Conclusões

A estimativa da perda de carga pelo método de Swamee e Jain superestimou os valores determinados na coluna de mercúrio. Até a vazão de $5,15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ o método de Hazen-Williams apresentou a menor variação e, conseqüentemente, a maior eficiência de estimativa de perda de carga em relação aos valores determinados para a tubulação de polietileno com diâmetro de 25 mm.

Referências

- ALAZBA, A.A.; MATTAR, M.A.; ELNESR, M.N.; AMIN, M.T. Field assessment of friction head loss and friction correction factor equations. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, V. 167, 2012.
- ARBAT, G.; PUJOL, T.; PUIG-BARGUES, L.; DURAN-ROS, M.; BARRAGAN, J.; MONTORO, L.; RAMIREZ, F.C. Using computational fluid dynamics to predict head losses in the auxiliary elements of a microirrigation sand filter. **Transactions of the ASABE**, v.54, n.4, p.1367-1376, 2011.
- ANDRADE, D.V. **Avaliação hidráulica de tubos flexíveis de polietileno perfurados a laser, utilizados na irrigação**. 147 p. Dissertação de Mestrado (Piracicaba) – ESALQ/USP, 1990.
- ANDRADE, L.; CARVALHO, J.de A. Análise da equação de Swamee-Jain para cálculo do fator de atrito. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3, p.554-557, 2001.
- AZEVEDO NETTO, J.M.; FERNADEZ Y FERNADEZ, M.; ARAUJO, R.de; ITO, A.E. **Manual de hidráulica**. 8 ed: São Paulo: Edgard Blucher, 1998. 670 p.
- CAVALCANTI, R.A.; CRUZ, O.C.; BARRETO, A.C. Determinação da perda de carga em tubo de PVC e comparação nas equações empíricas. In: **Anais... Seminário Iniciação Científica – IFTM, 2º**, Uberaba, 2009.
- FARIA, L.C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H.F.E.; PRADO, G. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.1, p.19-27, 2009.
- GILES, R.V. **Mecânica dos fluidos e hidráulica**. Rio de Janeiro: McGraw-Hill do Brasil, 1970. 401 p.
- 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**, v.30, n.3, p.435-446, 2010.
- HAZEN, A.; WILLIAMS, G. S. **Hydraulic tables**. New York: John Wiley e Sons, 1963. 120p
- PAULINO, M.A.de O.; FIGUEIREDO, F.P.de; FERNANDES, R.C.; MAIA, J.T.L.S.; GUILHERME, D.de O.; BARBOSA, F.S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.3, n.2, p.48-54, 2009.
- PORTO, W.M. **Hidráulica básica**. São Carlos: USP, EESC, 1998. 540 p.
- 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**, v.52, n.3, p.729-739, 2009.
- 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**, v.33, n.6, p.1312-1321, 2013.
- RETTORE NETO, O.; BOTREL, T.A.; FRIZZONE, J.A.; CAMARGO, A.P. Method for determining friction head loss along elastic pipes. **Irrigation Science**, v.32, p.329-339, 2014.

SAMPAIO, S.C.; CILENE, K.; VILAS BOAS, M.A.; QUEIROZ, M.F.; GOMES, B.M.; FAZOLO, A. Equação de Hazen-Williams corrigida para água residuária proveniente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, p.5-10, 2007.

SADEGHI, S.H.; MOUSAVI, S.F.; GHEYSAARI, M.; SARDEGHI, S.H.R. Evaluation of the Christiansen method for calculation of friction head loss in horizontal sprinkler laterals: effect of variable outflow in outlets. **Transactions of Civil Engineering**, v.35, n.22, p.233-245, 2011.

SWAMEE, P.K., JAIN, A.K. Explicit equation for pipe flow problems. *J. Hydraul. Div. ASCE* v.102, n.5, p.657-664, 1976.

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

YURDEM, H.; DEMIR, V.; DEGIRMENCIOGLU, A. Development of a mathematical model to predict clean water head losses in hydrocyclone filters in drip irrigation systems using dimensional analysis. **Biosystems Engineering**, v.105, p.495-506, 2010.

ZITTERELL, D.B. **Perda localizada de carga em conectores utilizados em microirrigação**. 65 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.