

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997; (impresso): 1981-1160

v.5, n.3, p.413-417, jul.-set., 2010

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI: 10.5039/agraria.v5i3a657

Protocolo 657 – 28/09/2009 *Aprovado em 29/04/2010

Ceres D. G. C. de Almeida¹

Tarlei A. Botrel^{2,3}

Determinação do diâmetro de microtubos em irrigação localizada

RESUMO

Os microtubos têm sido utilizados como gotejadores de longo percurso desde a década de 70. Nestes tubos, pequenas diferenças no valor do diâmetro podem provocar uma estimativa errônea da vazão, comprometendo o projeto de irrigação, mesmo quando os valores reais determinados são próximos aos do catálogo do fabricante. Este trabalho teve como objetivo comparar os valores do diâmetro obtidos no projetor ótico de perfil e na determinação hidrodinâmica com os dados fornecidos pelo fabricante. Os microtubos utilizados neste experimento possuíam diâmetro interno de 0,6; 0,7; 0,8; 1,0 e 1,5 mm, de acordo com o fabricante. A determinação ótica do diâmetro foi realizada num projetor de perfil de fabricação da Starrett Precision Optical, em 30 anéis de cada microtubo com, aproximadamente, 5 mm de comprimento. A determinação hidrodinâmica do diâmetro foi realizada com dados obtidos em ensaio sob regime laminar, aplicados nas equações de Bernoulli e universal de perda de carga. Com base nos dados deste trabalho recomenda-se a determinação hidrodinâmica do diâmetro, já que não apresentou diferenças quando comparado com o padrão (projetor ótico de perfil, que possui maior custo). Portanto, o correto dimensionamento de um projeto de irrigação deve ser baseado ou no diâmetro do microtubo determinado hidráulicamente ou pelo projetor ótico de perfil, e não no diâmetro fornecido pelo fabricante.

Palavras-chave: Bernoulli, Darcy-Weisbach, irrigação localizada, projetor ótico de perfil

Microtubes diameter determination in trickle irrigation

ABSTRACT

A microtube is a simple type of drip emitter which has been used since the 70's. In microtubes, small differences in the diameter can cause errors in estimating discharge, reducing the irrigation project efficiency, even if the real values are close to those specified by the manufacturer. This worked aimed at comparing diameter values, determined by using an optic measuring projector and hydraulic determination, with the data provided by the manufacturer. The microtubes used had internal diameters of 0.6; 0.7; 0.8; 1.0 and 1.5 mm, according to the manufacturer. The optical projector manufactured by Starrett Precision Optical was used in thirty rings of each microtube, of 5 mm in length. Hydraulic determination of diameter was calculated with data obtained in assays under laminar flow, applied using the basic equation for energy drop by friction and Bernoulli's equation. Based on our results, we suggest that optimum irrigation project design should be based on microtube diameters determined from hydraulically determination, as well as from optic measuring projectors, not only from the diameter supplied by manufacturer. Hydraulic determination of the diameter is the most simple and viable way, as it doesn't present differences when compared to standard optical projector.

Key words: Bernoulli's equation, Darcy-Weisbach's equation, trickle irrigation, optical measuring projector

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco, Colégio Agrícola Dom Agostinho Ilkas Codai, Agricultura, Rua Francisco Correia, 643, Centro, CEP 54735-907, São Lourenço da Mata-PE, Brasil. Fone: (81) 3525-0175. Fax: (81) 3320-6220. E-mail: ceres@codai.ufrpe.br

² Universidade de São Paulo (USP), Av. Pádua Dias, 11, Agronomia, CEP 13418-900, Piracicaba-SP, Brasil. Caixa-Postal: 9. Fone: (19) 3447-8546. Fax: (19) 3447-8571. E-mail: tabotrel@esalq.usp.br

³ Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq

INTRODUÇÃO

Os microtubos têm sido utilizados como gotejadores de longo percurso desde a década de 70 (Bucks & Myers, 1973; Wu & Gitlin, 1973; Karmeli, 1977; Khatri et al., 1979). Na Espanha, segundo Pizarro Cabello (1996), a popularidade dos microtubos deve-se não somente ao seu baixo custo, mas também por uma peculiaridade interessante: o agricultor pode uniformizar as vazões, mesmo em um sistema já instalado, cortando o emissor no comprimento que se mostre adequado.

O princípio hidráulico de funcionamento do microtubo consiste em dissipar energia ao longo de seu comprimento, liberando uma pequena quantidade de água para irrigação. O seu comprimento e diâmetro podem ser selecionados para diferentes vazões, possibilitando utilizá-lo como emissor (Khatri et al., 1979). Outra proposta apresentada por Wu & Giltlin (1973), visando obter vazão uniforme ao longo da linha lateral, baseia-se em utilizar diferentes diâmetros, comprimentos e espaçamentos entre emissores. No entanto, independente do tipo de sistema utilizado para determinar com precisão a vazão do microtubo, é preciso utilizar uma equação que correlacione os parâmetros envolvidos no seu dimensionamento (vazão, comprimento, pressão na entrada do microtubo e diâmetro).

Keller & Karmeli (1974) relataram que o comprimento da passagem de um gotejador de longo percurso, necessário para a obtenção de uma vazão pré-estabelecida, pode ser obtido pela equação de Darcy-Weisbach. Khatri et al. (1979) afirmaram que a hidráulica básica do microtubo é similar à hidráulica de tubos lisos, portanto a perda de carga contínua dentro do microtubo e a perda de carga localizada têm equações idênticas àquelas desenvolvidas para tubos lisos, ratificando a observação feita por Keller & Karmeli (1974). Nessa equação, qualquer variação no diâmetro da seção transversal do fluxo influirá consideravelmente na perda de carga contínua no tubo.

Sabe-se que, a vazão de um emissor é função da sua área, que por sua vez é função do quadrado do diâmetro. Consequentemente, pequenas variações no diâmetro refletem numa maior variação de vazão. Assim, pode-se afirmar que a determinação precisa do diâmetro está intimamente relacionada à vazão do emissor. Souza & Botrel (2004) comentaram que mesmo quando os valores reais determinados são próximos aos do catálogo do fabricante, em se tratando de microtubos, uma pequena diferença no valor do diâmetro pode provocar uma estimativa errônea da vazão, comprometendo a eficiência do projeto de irrigação.

Existem diversos meios de se determinar o diâmetro de bocais de emissores de irrigação. A medição do diâmetro por meios óticos é uma abordagem diferente e valiosa no controle da qualidade. Este método, sem contato, fornece uma visualização gráfica de muitos tipos de peças, as quais podem ser medidas. Dimensões e formas que seriam difíceis de medir com instrumentos tradicionais são facilmente verificadas por meio da ótica. Esses sistemas são constituídos por elementos óticos de precisão, iluminação intensa e capacidade de medição extremamente exata numa mesa de trabalho. Estes elementos asseguram imagens nítidas, com alta resolução e

excepcionalmente fiéis. Em laboratório esses procedimentos são realizados via projetor ótico de perfil, com precisão de três casas decimais. Para bocais de emissores utilizados na irrigação, bem como para microtubos, recomenda-se um projetor horizontal, o qual se destina a peças que precisam ser presas em morsas ou entrepontas (Souza & Botrel, 2004; Starret, 2007; Teixeira et al., 2007). No entanto, a ampla utilização deste equipamento é limitada em função do seu alto custo de aquisição.

Outra maneira de se determinar o diâmetro em laboratório é o método hidrodinâmico, o qual devido sua simplicidade, não exige conhecimentos técnicos específicos para realizá-lo.

Diante do exposto em termos de determinação precisa do diâmetro de microtubo para o dimensionamento de sistemas de irrigação, foi definida a hipótese desta pesquisa: o diâmetro de microtubos pode ser determinado por medida de fluxo sob regime laminar de escoamento com elevada precisão. Para validar esta hipótese compararam-se as medidas do diâmetro realizadas com o projetor ótico de perfil, bem como aquelas obtidas na determinação hidrodinâmica com os dados fornecidos pelo fabricante, comumente utilizados para dimensionar os projetos de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, utilizando microtubos de polietileno fabricados pela Plasnova Louveira Indústria e Comércio de Plásticos Ltda., com diâmetro interno nominal de 0,6; 0,7; 0,8; 1,0 e 1,5 mm.

Para determinação hidrodinâmica do diâmetro interno dos microtubos, sob regime laminar, realizou-se o ensaio esquematizado pela Figura 1. O reservatório superior tem área quatro vezes maior que o inferior. A água utilizada foi destilada, fervida e resfriada a vácuo. O ensaio consistiu-se em permitir que a água fluísse por gravidade para o reservatório inferior de peso conhecido, destinado a coleta, durante um determinado intervalo de tempo, e pesado posteriormente. Em cada repetição foi realizada a medição da temperatura da água para cálculo e correção da viscosidade cinemática. A necessidade desta ação deve-se ao fato de que o fluxo sob regime laminar é bastante sensível à variação de temperatura (Pizarro Cabello, 1986; Soares, 1981; Souza et al., 2006). Alguns pré-ensaios foram realizados para definir a metodologia de determinação hidrodinâmica do diâmetro em microtubos. Nesta etapa os microtubos tinham comprimentos de 0,5 a 3 m (com incrementos de 0,5 m), sendo que para cada comprimento avaliou-se o diâmetro variando a distância entre o nível da água do reservatório superior e a extremidade inferior do microtubo (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 m), com três repetições para cada altura e comprimento. Como não houve mudanças significativas no valor do diâmetro calculado em função das diversas alturas e comprimentos, estabeleceu-se, portanto, que as determinações do diâmetro, neste ensaio, seriam realizadas em microtubos com 3 m de comprimento e uma diferença de nível de aproximadamente 2 m, e que a vazão de cada microtubo seria mensurada cinco vezes.

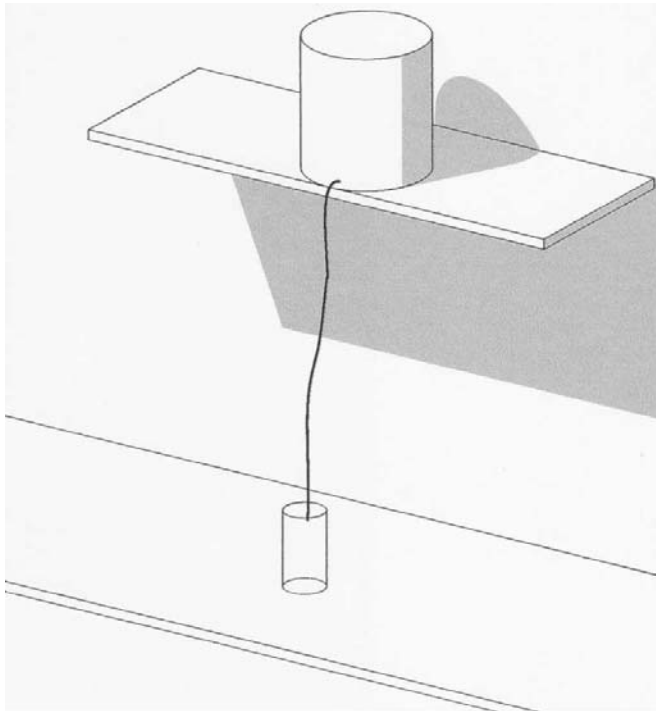


Figura 1. Esquema de coleta de vazão para medição hidrodinâmica do diâmetro

Figure 1. Scheme for flow measurement of hydrodynamic diameter

Para o cálculo do diâmetro utilizaram-se as equações de Bernoulli (1) e de Darcy-Weisbach (2) descritas a seguir:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + hf \quad (1)$$

em que $\frac{P}{\gamma}$ - energia de pressão, $J N^{-1}$; $\frac{V^2}{2g}$ - energia cinética

$J N^{-1}$; z - energia potencial, $J N^{-1}$ e hf - perda de carga no microtubo, $J N^{-1}$.

Várias equações permitem calcular a perda de carga em tubulações de polietileno de pequenos diâmetros e, entre elas, consagrou-se a equação de Darcy-Weisbach, que é a equação universal para determinação de perda de carga. Esta equação pode ser utilizada em regime laminar e turbulento, com resultados satisfatórios.

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

em que hf - perda de carga, $J N^{-1}$; f - fator de atrito na parede do tubo, adimensional; L - comprimento do microtubo, m ; D - diâmetro do microtubo, m ; V - velocidade da água no microtubo, $m s^{-1}$ e g - aceleração da gravidade, $m s^{-2}$.

O fator de atrito (f) da equação de Darcy-Weisbach depende do número de Reynolds e da rugosidade relativa do tubo. Como neste trabalho assumiu-se que o regime de escoamento

é laminar, a rugosidade relativa foi desconsiderada.

Substituindo a equação da continuidade na equação (1), considerando que o nível de referência passa no ponto z_2 e realizando as devidas simplificações, obtém-se a equação (3).

$$hf = z_1 - \frac{0,08262647Q^2}{D^4} \quad (3)$$

Souza & Botrel (2004) realizaram a avaliação de microtubos em diferentes condições de diâmetro, pressão e comprimento e concluíram que eles funcionavam em regime laminar. Esta condição deve ser considerada na determinação hidrodinâmica do diâmetro, evitando assim as incertezas e dificuldades de representação do fenômeno de perda de energia no microtubo em regime de transição. Portanto, o fator de atrito (f) da equação (2) para regime de escoamento laminar é calculado pela equação (4).

$$f = \frac{64}{Re} \quad (4)$$

em que Re - número de Reynolds, adimensional.

Realizada a substituição da equação (4) na equação (2) e as necessárias simplificações, obtém-se a equação (5).

$$hf = \frac{4,153269vLQ}{D^4} \quad (5)$$

em que hf - perda de carga no microtubo, $J N^{-1}$; v - viscosidade cinemática da água, $m^2 s^{-1}$; L - comprimento do microtubo, m ; Q - vazão, $m^3 s^{-1}$ e D - diâmetro do microtubo, m .

Sendo assim, agora pode-se igualar as equações (3) e (5) e, isolar o diâmetro como apresentado na equação (6).

$$D = \left(\frac{0,08262647Q^2 + 4,153269vLQ}{z_1} \right)^{0,25} \quad (6)$$

Por meio do ensaio apresentado na Figura 1, obtiveram-se os valores de vazão (Q) e diferença de nível (z). De posse destes dados e através da equação (6) calculou-se o diâmetro interno do microtubo pelo método hidrodinâmico.

Para determinação ótica do diâmetro foi utilizado o projetor de perfil de fabricação da Starrett Precision Optical, do tipo Horizontal de Bancada N° HB400, específico para este tipo de aplicação. Este equipamento permite aferir em escalas digitais com resolução de 0,001 mm o diâmetro interno do microtubo, na condição de pressão hidrostática nula. A determinação do diâmetro no projetor ótico de perfil foi realizada com 30 anéis de cada microtubo com 5 mm de comprimento, aproximadamente. O valor médio destas leituras foi considerado padrão para efeito de comparação entre o diâmetro determinado hidrodinamicamente e aquele fornecido pelo fabricante, chamado neste trabalho de nominal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no ensaio hidrodinâmico foram 0,617; 0,698; 0,890; 1,072 e 1,500 mm, respectivamente para os diâmetros nominais de 0,6; 0,7; 0,8; 1,0 e 1,5 mm.

As medidas dos diâmetros dos microtubos obtidas através do projetor ótico de perfil são apresentadas na Tabela 1. A precisão do equipamento e homogeneidade dos microtubos estão refletidas no baixo coeficiente de variação de fabricação calculado para os microtubos.

Souza & Botrel (2004) avaliaram os diâmetros de alguns microtubos do mesmo fabricante, no projetor ótico de perfil, e encontraram valores ligeiramente diferentes dos apresentados neste trabalho (0,679; 0,695; 0,820 e 1,024 mm). Este fato indica que periodicamente devem ser mensurados os diâmetros para obter maior precisão no dimensionamento de projetos de irrigação com microtubos.

Tabela 1. Valores dos diâmetros internos dos microtubos obtidos com o projetor ótico de perfil

Table 1. Internal diameter values of microtubules obtained with optical profile projector

Amostras de microtubos	Diâmetro Nominal, mm				
	0,6	0,7	0,8	1,0	1,5
	Diâmetro medido (mm)				
1	0,570	0,631	0,828	1,088	1,512
2	0,606	0,636	0,826	1,085	1,512
3	0,573	0,618	0,844	1,041	1,518
4	0,580	0,635	0,829	1,066	1,501
5	0,578	0,648	0,827	1,056	1,491
6	0,568	0,645	0,819	1,068	1,517
7	0,562	0,636	0,839	1,064	1,483
8	0,589	0,641	0,853	1,081	1,508
9	0,588	0,625	0,851	1,071	1,521
10	0,587	0,640	0,818	1,035	1,454
11	0,572	0,616	0,810	1,077	1,534
12	0,571	0,636	0,827	1,076	1,427
13	0,567	0,662	0,839	1,072	1,502
14	0,580	0,651	0,817	1,069	1,520
15	0,567	0,628	0,838	1,075	1,511
16	0,573	0,656	0,834	1,076	1,453
17	0,577	0,644	0,835	1,057	1,516
18	0,578	0,662	0,859	1,065	1,540
19	0,596	0,658	0,827	1,075	1,528
20	0,582	0,619	0,833	1,069	1,523
21	0,567	0,618	0,828	1,067	1,518
22	0,576	0,633	0,858	1,083	1,537
23	0,572	0,617	0,862	1,076	1,516
24	0,584	0,656	0,845	1,072	1,523
25	0,598	0,652	0,812	1,075	1,495
26	0,576	0,655	0,821	1,074	1,530
27	0,584	0,638	0,829	1,058	1,505
28	0,566	0,622	0,822	1,068	1,524
29	0,570	0,612	0,817	1,073	1,524
30	0,570	0,631	0,828	1,076	1,535
Média	0,579	0,638	0,834	1,072	1,517
CvF	1,9	2,3	1,8	1,1	1,7

Na Tabela 2 estão resumidas, em valores percentuais, as diferenças entre os valores médios dos diâmetros dos microtubos proveniente das três fontes. Ao comparar-se os valores médios obtidos hidrodinamicamente com o diâmetro nominal, observa-se que a maior diferença no valor do diâmetro foi de 11,25 %, equivalente a uma diferença na ordem de 9 centésimos de milímetros. Esta análise ratifica a importância da determinação do diâmetro interno de microtubos com precisão para uso na irrigação. Através do projetor ótico de perfil as medidas dos diâmetros dos microtubos, 0,6 e 0,7 mm foram menores que os nominais em 3,6 e 8,9 %, respectivamente. No entanto, para os microtubos de diâmetro nominal de 0,8; 1,0 e 1,5 mm os diâmetros medidos foram maiores em 4,2; 7,2 e 1,1 % respectivamente (Tabela 2). Esta variação reflete a imprecisão da informação do fabricante.

Diante dos dados apresentados pode-se inferir que o diâmetro interno dos microtubos determinado hidrodinamicamente deve ser tomado por referência no dimensionamento de projetos de irrigação localizada. Esta decisão baseia-se na simplicidade do método e seu baixo custo. Além disso, o comprimento do microtubo utilizado na determinação hidrodinâmica é mais representativo (3m) do que no projetor ótico de perfil (5 mm), logo, acredita-se que esta seja uma estimativa mais próxima do diâmetro interno real.

Vale ressaltar ainda que, os projetos de irrigação têm por base critérios hidráulicos e, portanto, é mais coerente utilizar o valor do diâmetro determinado hidrodinamicamente. Em relação ao diâmetro indicado pelo fabricante, apesar de atualmente ser bastante utilizado, em se tratando de tubos de pequeno diâmetro, o projetista pode estar incidindo em erros, uma vez que evidentemente há variação de fabricação em função do desgaste das máquinas e contração do material. Já o projetor ótico de perfil, exige um elevado custo de aquisição o que limita seu uso de maneira geral.

Tabela 2. Diferenças observadas nas medidas dos diâmetros obtidos hidrodinamicamente e pelo projetor ótico de perfil em relação ao diâmetro nominal

Table 2. Differences in diameter measurements obtained hydrodynamically and with optical profile projector as related to the nominal diameter

DN(mm)	Diferença (%)		
	DN x DH	DN x DP	DP x DH
0,6	2,83	-3,6	-6,2
0,7	-0,29	-8,9	-8,6
0,8	11,25	4,2	-6,3
1,0	7,20	7,2	0,0
1,5	0,00	1,1	-1,1

DN: diâmetro nominal; DH: diâmetro determinado hidrodinamicamente e DP: diâmetro obtido no projetor ótico de perfil.

CONCLUSÕES

Tanto o método hidrodinâmico proposto, como o projetor ótico de perfil são mais precisos para o correto dimensionamento de um projeto de irrigação por microtubos do que o valor fornecido pelo fabricante. No entanto, a determinação hidrodinâmica do diâmetro em microtubos é mais viável, já que não apresenta diferenças quando comparado com o padrão (projetor ótico de perfil) e tem menor custo.

AGRADECIMENTOS

À Plasnova Louveira Ind. Com. Plásticos Ltda, pela doação dos microtubos utilizados nesta pesquisa.

LITERATURA CITADA

- Bucks, D.A.; Myers, L.E. Trickle of irrigation – application uniformity from simple emitter. *Transaction of ASAE*, v.16, n. 6, p. 1108-1111, 1973.
- Karmeli, D. Classification and flow regime analysis of drippers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 22, n. 2, p. 165-173, 1977.
- Keller, J.; Karmeli, D. Trickle irrigation design parameters. *Transaction of the ASAE*, v.17, n.4, p.678-684, 1974.
- Khatri, K.C.; Wu, I.; Giltlin, H.M.; Phillips, A. Hydraulics of microtube emitters. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v.105, n. IR2, p.167-173, June, 1979.
- Pizarro Cabello, F. Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación. 3ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513p.
- Soares, A.A. Características hidráulicas de microtubos Cipla e linhas laterais para irrigação por gotejamento. Viçosa: UFV, 1981. 68p. Dissertação Mestrado.
- Souza, R.O.R.M.; Botrel, T.A. Modelagem para o dimensionamento de microtubos em irrigação localizada. *Agriambi*, v.8, n.1, p.16-22. 2004.
- Souza, R.O.R.M.; Espinoza Pérez, G.F.; Botrel, T.A. Irrigação localizada por gravidade com microtubos. *Irriga*, v.11, n.2, p.266-279, 2006.
- Starrett. Projetores de perfil. <http://www.starrettonline.com/produto.asp?catPai=53&catID=53&prdID=621>. 20 Jun. 2008.
- Teixeira, M.B.; Melo, R.F.; Coelho, R.D. Coeficiente de descarga de emissores de pivô central. *Irriga*, v. 12, n. 1, p. 123-134, 2007.
- Wu, I.P.; Gitlin, H.M. Hydraulics and uniformity for drip irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Division*, v.99, n. IR3, p. 157-168, 1973.