convibra
www.convibra.org

DESENVOLVIMENTO DE EMISSOR DO TIPO MICROTUBO COM MÚLTIPLAS SAÍDAS

Dinara Grasiela Alves[1]; Marinaldo Ferreira Pinto[1]; Tarlei Arriel Botrel[2]

[1]Departamento de Engenharia, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, Brasil.
[2]Departamento de Engenharia de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, Brasil

*Autor para correspondência: dinara_alves@hotmail.com

RESUMO: Para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável no Brasil é imprescindível realizar investimentos nos setores que desenvolvem tecnologias inovadoras de baixo custo e adaptadas às condições peculiares do país, em substituição a dependência por produtos importados de alto custo e inacessíveis a maioria dos pequenos produtores. Nesse sentido, os emissores do tipo microtubo utilizados em sistemas de microirrigação se apresentam como uma alternativa tecnológica atrativa a essa parcela de produtores, devido ao baixo custo de confecção e instalação. O emissor proposto é caracterizado por possuir menor custo em comparação com os sistemas atuais, que utilizam microtubos, tendo em vista a menor quantidade de material necessário à sua implantação. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um emissor do tipo microtubo com múltiplas saídas. A condução desta pesquisa consistiu na determinação do diâmetro interno dos microtubos, da determinação da curva vazão versus pressão dos microtubos com múltiplas saídas e na determinação do coeficiente de variação de fabricação, os quais foram realizados no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, em Piracicaba - SP. A configuração do emissor proposto consiste em um microtubo regulador de pressão ligado a um conector com disposição radial de onde derivam seis microtubos emissores. O emissor avaliado apresentou um coeficiente de variação de fabricação próximo a 3%, valor considerado excelente. Pequenas diferenças entre dois emissores aparentemente idênticos podem ocasionar modificações significativas na vazão do sistema. Logo, a qualidade do emissor é uma informação muito importante, tendo em vista que, o alto coeficiente de variação de fabricação pode causar baixa uniformidade de vazão no sistema. A equação representativa da curva vazão-pressão dos microtubo com múltiplas saídas apresentou elevado coeficiente de determinação, demonstrando um bom ajuste dos dados observados.

Palavras-chave: microirrigação; inovação tecnológica; emissor

INTRODUÇÃO

A irrigação se caracteriza como uma tecnologia que está frequentemente apresentando inovações, capazes de assegurar elevados níveis de desempenho dos sistemas, nas mais adversas e diversas condições. Isso é proveniente das pesquisas, as quais promovem o desenvolvimento da ciência de irrigação, numa procura constante do melhor resultado aliado ao menor custo.

A utilização de sistemas de microirrigação com microtubos destaca-se como uma boa alternativa para pequenos agricultores. O microtubo, também chamado de espaguete, é um gotejador de longo percurso e de baixo custo, feito de polietileno de pequeno diâmetro (0,5 a 1,5 mm), cujo comprimento pode ser ajustado de acordo com a pressão no ponto de inserção do microtubo na linha lateral. Com isso, o interesse por microtubos vem aumentando, principalmente por entidades que prestam assistência técnica a pequenos produtores e comunidades carentes.

A maioria desses agricultores trabalham com agricultura familiar, a qual é responsável por garantir boa parte do suprimento de alimentos, caracterizando-se como importante fornecedora de alimentos para o mercado interno brasileiro (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2006). Em geral, esses agricultores são de baixa renda, e por consequência, apresentam baixa capacidade de adoção de tecnologias em irrigação.

O grupo de pesquisa em hidráulica da ESALQ/USP vem estudando de forma mais sistemática o uso dessa tecnologia. Inicialmente, Souza e Botrel (2004) desenvolveram softwares de dimensionamento hidráulico e avaliaram o desempenho da tecnologia na irrigação por gotejamento de hortaliças e fruticultura em condições de regime laminar. Em seguida, Souza (2008) avaliou seu uso em condições de regime turbulento. E com caráter mais inovador, Almeida (2008) e Almeida, Botrel e Smith (2009) utilizaram o microtubo como mecanismo de regulação de pressão em sistemas de microaspersão.

Diversos modelos matemáticos foram desenvolvidos para o dimensionamento de sistemas de irrigação que utilizam microtubos. Recentemente, por ser uma configuração inovadora, foi desenvolvido um novo modelo para o caso de microtubo conectado a seis microtubos emissores (microtubos ramificados). Esse sistema é caracterizado por possuir menor custo em comparação com os sistemas atuais, que utilizam microtubos, tendo em vista a menor quantidade de material necessário à sua implantação (Alves et al., 2012). Todavia, esse sistema apresentou problemas de obstrução e aprisionamento de ar. Neste sentido, foi realizado um aprimoramento dessa configuração inovadora de modo a eliminar os problemas observados. Portanto, o emissor aprimorado denominado “microtubo com múltiplas saídas” é um tipo de gotejador inexistente no mercado e em trabalhos acadêmicos.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um emissor do tipo microtubo espaguete com múltiplas saídas.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e etapas da pesquisa

A condução dessa pesquisa consistiu no aprimoramento do emissor com múltiplas saídas desenvolvido por Alves (2010); na determinação do diâmetro interno dos microtubos; determinação da curva vazão versus pressão; e, na determinação do coeficiente de variação de fabricação, que foram realizados no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, situada no município de Piracicaba - SP. Ressalta-se que, em todos os ensaios a temperatura da água foi mensurada a fim de obter o valor da viscosidade cinemática e o valor de sua massa específica.

Descrição do microtubo com múltiplas saídas (MMS)

Com base no emissor desenvolvido por Alves (2010), denominado de "microtubo ramificado", realizou-se um aprimoramento desse emissor, uma vez que foi observado problemas de obstrução e acúmulo de ar relatado pelo autor. O emissor proposto nesta pesquisa, tem distribuição radial de água, de forma a reduzir os problemas constatados por Alves (2010).

O emissor proposto consiste de um microtubo regulador de pressão (MRP), seis microtubos emissores (ME) que estão acoplados ao MRP por meio de um conector (Figura 1). Esse conector pode ser visualizado em maiores detalhes na Figura 2. Ressalta-se que, o MRP foi denominado desta forma pelo fato de seu comprimento poder ser ajustado de acordo com a pressão no ponto de inserção do MRP na linha lateral de forma a manter constante a pressão na parte central do conector.

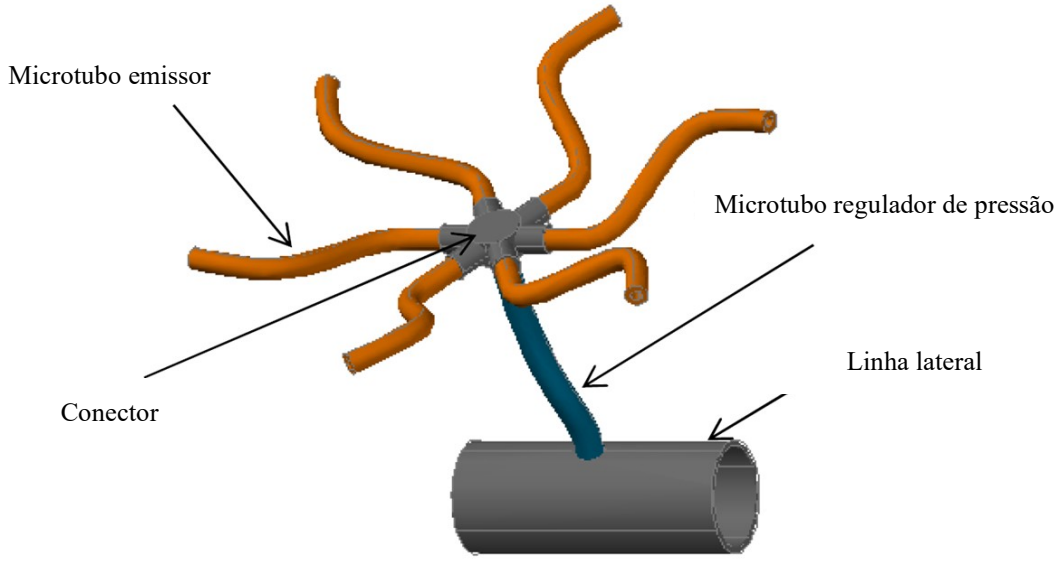

Figura 1 - Esquema do microtubo com múltiplas saídas

A. B. C. D.

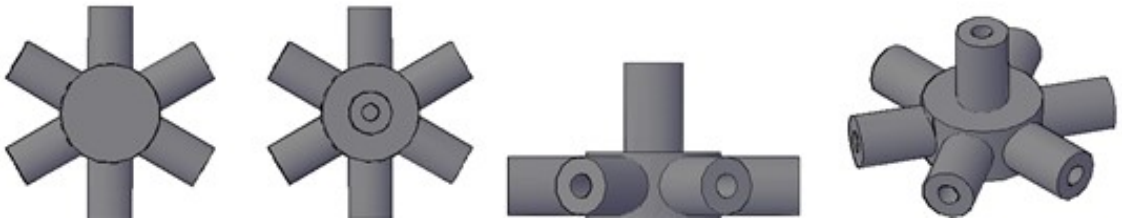

Figura 2 - Conector: A - vista inferior; B - vista superior; C - vista lateral; D - vista em perspectiva

Determinação do diâmetro interno dos microtubos

Antes de serem realizados os testes com o sistema de irrigação proposto, necessitou-se determinar o diâmetro real dos microtubos, pois, qualquer variação no diâmetro poderia ocasionar grande alteração no valor da vazão prevista no projeto.

Foram avaliados microtubos com diâmetro nominal de 0,8 e 1,0 mm, fabricados pela empresa Plasnova Louveira Ind. Com. Ltda, cujo diâmetro externo de ambos é de 2,5 mm. A determinação do diâmetro interno do microtubo foi realizada por meio de medidas hidrodinâmicas em laboratório, sob regime laminar, conforme metodologia proposta por Almeida e Botrel (2010).

Para isso, foram utilizados microtubos com comprimento de 5 m, submetidos a uma pressão constante de 12,4 kPa. Considerou-se um comprimento de microtubo buscando reduzir os efeitos da perda localizada de carga (existente na entrada do microtubo), minimizando a importância da mesma na determinação do diâmetro. A pressão de operação foi estimada com base na distância entre o nível da água do reservatório superior e o final do microtubo. Foram utilizados dois reservatórios em que por meio da força da gravidade, a água presente no reservatório superior foi conduzida pelo microtubo para o reservatório inferior de massa conhecida, destinado à coleta de água durante um determinado intervalo de tempo, e pesado posteriormente em uma balança analítica de resolução de 0,01g. A vazão foi determinada pela razão entre o volume e o tempo em que a água foi coletada. Para cada microtubo foram realizadas três repetições. A necessidade de saber a temperatura da água se deve ao fato do escoamento sob regime laminar ser bastante sensível à variação da viscosidade da água, a qual é influenciada pela variação da temperatura, além disso, o peso específico da água é também função da temperatura.

Os diâmetros internos dos microtubos foram calculados por meio de dados obtidos nos ensaios, aplicados na eq. (1) proposta por Almeida e Botrel (2010).

$$D = \left(\frac{0{,}08262647 Q^2 + 4{,}153269 \mu L Q}{Z} \right)^{0{,}25} \quad (11)$$

em que:

D - diâmetro interno do microtubo, m;

μ - viscosidade cinemática da água, $m^2\ s^{-1}$;
L - comprimento do microtubo, m;
Q - vazão no microtubo, $m^3\ s^{-1}$; e
Z - carga de posição, m.

Dimensionamento do microtubo espaguete com múltiplas saídas

O cálculo do comprimento dos MRP e ME, foi realizado com base em uma planilha eletrônica, cujas variáveis independentes foram: pressão, diâmetro e vazão. Utilizou-se o modelo desenvolvido por Alves et al. (2012) para o dimensionamento dos microtubos.

Inicialmente admitiu-se os seguintes valores no projeto: vazão de 1 L h^{-1} para o ME e de 6 L h^{-1} para MRP, viscosidade de $1{,}01 \times 10^{-6}$ $m^2\ s^{-1}$ para uma temperatura de 23 ºC, pressão de alimentação de 49,05 kPa e pressão na parte central do conector de 10,79 kPa.

O fator de atrito (f) e o número de Reynolds (Re) foram calculados por meio das equações. 2 e 3, respectivamente. Ressalta-se que a utilização da eq. 2 deve-se ao fato do regime de escoamento ser laminar ($Re \leq 2300$).

$$f = \frac{64}{Re} \tag{2}$$

em que:

Re - número de Reynolds, adimensional calculada pela eq. (3).

$$Re = \frac{VD}{\mu} \tag{3}$$

em que:
D - diâmetro interno do microtubo, m;
V - velocidade da água no microtubo, m s^{-1}; e
μ - viscosidade cinemática da água, $m^2\ s^{-1}$.

No cálculo da perda de carga no microtubo regulador de pressão e no microtubo emissor, foi utilizada a equação de Bernoulli apresentada na eq. (4).

$$hf = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + Z_2 - Z_1 \tag{4}$$

em que:
hf - perda contínua de carga no microtubo, m;
$\frac{P}{\gamma}$ - carga de pressão, m;

$\frac{V^2}{2g}$ - carga cinética, m; e
Z - carga de posição, m.

Foram calculados os comprimentos (L) do microtubo regulador de pressão e do microtubo emissor dividindo-se a perda de carga (hf) pela perda de carga unitária (J) eq. (5) do microtubo. Isto pode ser observado na eq. (6). Esse cálculo foi realizado desprezando-se a perda localizada de carga que pode existir na conexão do microtubo regulador de pressão com a linha lateral e o conector.

$$J = f\frac{V^2}{2gD} \quad (5)$$

$$L = \frac{hf}{J} \quad (6)$$

Os resultados dos cálculos do comprimento do microtubo emissor e do microtubo regulador de pressão podem ser visualizados na Tabela 1. Esses dados são a base dos ensaios realizados em laboratório, visando obter a relação entre pressão e vazão, e a verificação da aderência do modelo de dimensionamento.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados para determinação do comprimento do microtubo emissor e do microtubo regulador de pressão

Microtubo	Vazão* ($L\ h^{-1}$)	D (mm)	Re	f	J ($m\ m^{-1}$)	P* (kPa)	hf (kPa)	L (m)
Emissor	1,0	0,888	395	0,162	1,87	10,79**	10,69	0,584
Regulador de pressão	6,0	1,074	1960	0,033	5,26	49,05***	38,26	0,742

D: diâmetro interno; Re: número de Reynolds; f: fator de atrito; J; perda de carga unitária; hf: perda de carga; L: comprimento do microtubo
* Valores predefinidos
** Pressão na parte central do conector
*** Pressão na entrada do microtubo regulador de pressão

Coeficiente de variação de fabricação

Solomon (1979) propôs um coeficiente de variação de fabricação (CVf), dado pela eq. (7).

$$CVf = \frac{\sigma}{\bar{q}} \quad (7)$$

em que:

em que:
CVf - coeficiente de variação de fabricação, adimensional;
σ - desvio padrão das vazões dos emissores, sob mesma carga de pressão; L h^{-1} e,
$\bar{q}$ - média das vazões, L h^{-1}.

Foram ensaiados 30 microtubos com múltiplas saídas submetidos a pressão constante de 49,05 kPa e tempo de coleta de 5 min, sendo efetuadas 3 repetições. O CVf foi determinado aplicando-se a eq. 7. Os recipientes para coleta de água foram pesados antes e depois de cada coleta em balança de precisão de 0,01 g, sendo a massa transformada em volume ao dividi-la pela massa específica da água. As vazões foram determinadas mediante a razão entre o volume e o tempo de cada coleta.

Curva vazão-pressão dos microtubos com múltiplas saídas

Foi montada uma bancada de ensaios composta por: uma bomba centrífuga, uma caixa d'água, um filtro de tela, uma linha lateral (LL) com diâmetro interno de 10 mm, três microtubos com múltiplas saídas, um manômetro tipo tubo U utilizando mercúrio como líquido indicador para monitorar a pressão de alimentação da linha, e três piezômetros para medir e monitorar a pressão no conector em cada microtubo com múltiplas saídas (Figura 3). Para isto, foi realizado um furo no centro da parte inferior do conector e neste foi colado um tubo o qual foi conectado ao piezômetro (Figura 4).

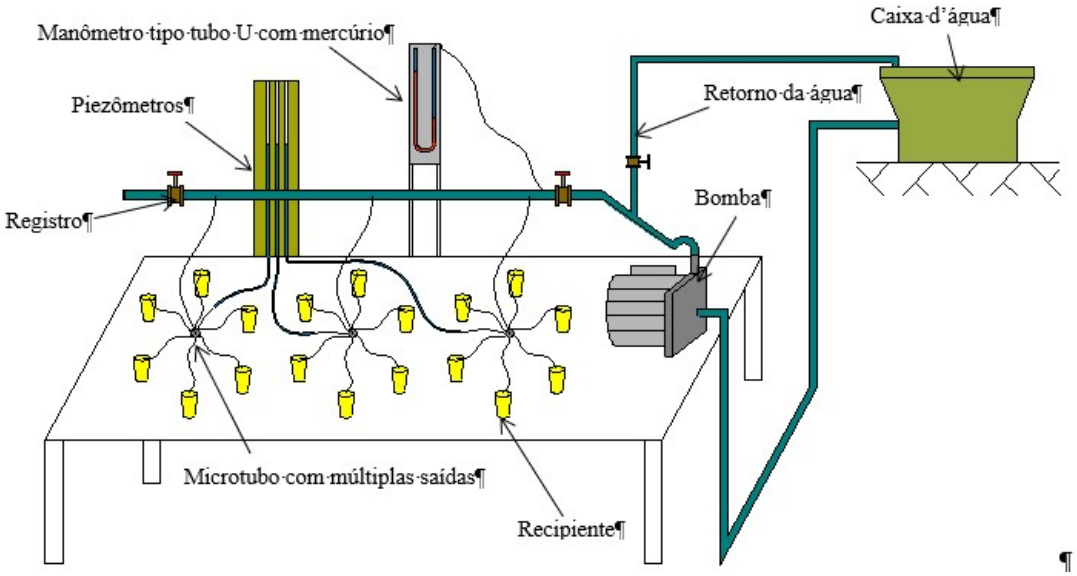

Figura 3 - Esquema da bancada de ensaio

Durante os ensaios, os três microtubos com múltiplas saídas foram colocados em funcionamento simultaneamente, os quais foram ensaiados sob diferentes pressões de entrada: 20,40; 30,31; 35,22; 40,22; 45,13; 49,05; 50,03; 55,03 e 59,93 kPa. As pressões foram reguladas por meio de dois registros sendo um instalado no início da LL e outro no final onde

era realizado o controle da quantidade de água que saía no final da linha lateral. Cada teste teve três repetições.

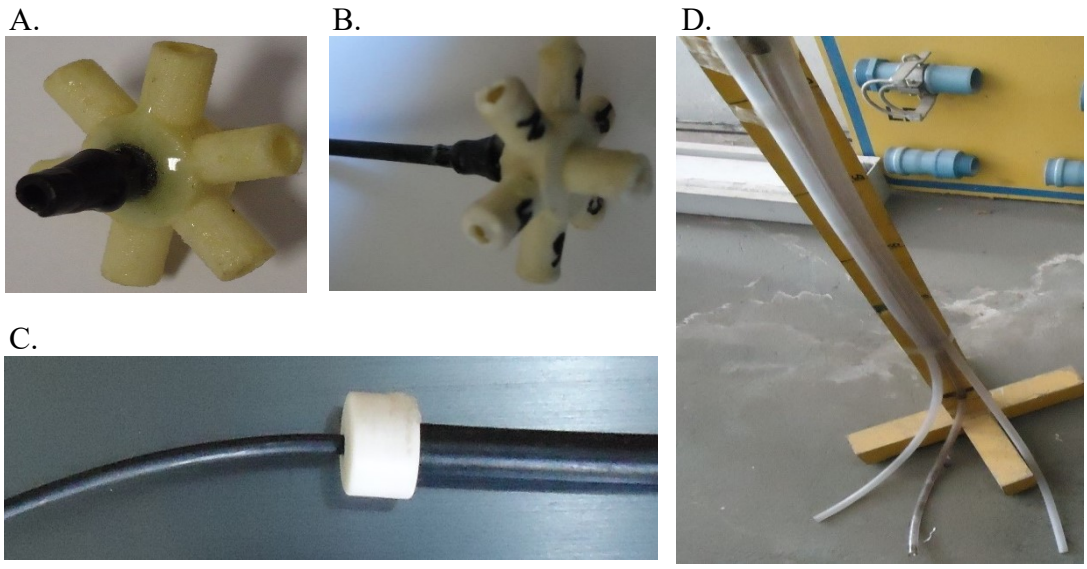

Figura 4 – Detalhes da ligação do conector ao piezômetro. A - adaptador para leitura da pressão no conetor; B - microtubo inserido no adaptador; C - conexão do microtubo ao tubo de diâmetro maior; D - piezômetros

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Coeficiente de variação de fabricação dos microtubos com múltiplas saídas

O emissor avaliado apresentou um CVf próximo a 3%, valor considerado excelente segundo Solomon (1979), bom segundo a ASABE (2010); e, abaixo dos 7% especificado pela NBR ABNT IS0 9261:2006. O resultado obtido está em concordância com a afirmação de Frizzone et al. (2012), que relatam que o coeficiente de variação de vazão para microtubos, em geral é baixo, da ordem de 2% a 5%.

De acordo com Dantas Neto et al. (1997), pequenas diferenças entre dois emissores aparentemente idênticos podem ocasionar modificações significativas na vazão do sistema. Logo, a qualidade do emissor é uma informação muito importante, tendo em vista que, o alto CVf pode causar baixa uniformidade de vazão no sistema.

Frizzone et al. (2012) afirmam que qualquer desvio na geometria interna do emissor, em forma ou em tamanho, causará variação de vazão do emissor, por este motivo, se um conjunto de emissores de igual modelo for submetido à mesma pressão esses terão vazões diferentes.

Curva vazão-pressão para microtubos com múltiplas saídas

Os ensaios realizados em laboratório, com o emissor proposto, estabeleceram a relação entre a vazão e pressão dos MMS (Figura 5).

O expoente com valor de 0,8059 apresentado pela equação para MMS está de acordo com o recomendado por Keller e Karmelli (1974). Segundo esses autores, o expoente (x) da curva vazão-pressão caracteriza o regime de escoamento do emissor, em que x = 0,5 para o regime totalmente turbulento; 0,5 < x < 0,7 para regime parcialmente turbulento; 0,7 < x < 1,0 para regime de transição, e x = 1,0 para regime de escoamento laminar. Contudo, os mesmos autores comentam que emissores autocompensantes possuem expoentes < 0,5 (sendo o autocompensante ideal com x = 0).

Além disso, o coeficiente de determinação foi superior a 99,6%, demonstrando um bom ajuste dos dados observados. Elevado valor de coeficiente de determinação também foi verificado no trabalho realizado por Alves et al. (2012) que utilizaram um sistema de microirrigação com microtubos ramificados.

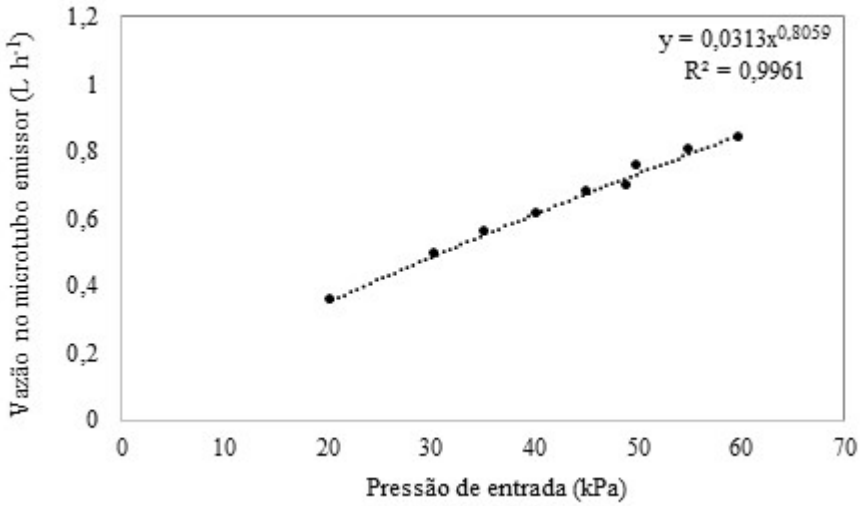

Figura 5 - Curva vazão versus pressão de entrada no microtubo com múltiplas saídas

CONCLUSÕES

O emissor proposto apresentou excelente coeficiente de variação de fabricação que é um importante fator que influencia a uniformidade de emissão da água e a eficiência do sistema de irrigação.

A equação representativa da curva vazão-pressão dos microtubo com múltiplas saídas apresentou elevado coeficiente de determinação, demonstrando um bom ajuste dos dados observados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, A.C.S. **Desenvolvimento de um sistema de irrigação por microaspersão com microtubos para hortas agrícolas.** 2008. 88 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

Almeida, C.D.G.C.; Botrel, T.A. Determinação do diâmetro de microtubos em irrigação localizada. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, p. 413-417, 2010.

Almeida, C.D.G. C.; Botrel, T.A.; Smith, R.J. Characterization of the microtube emitters used in a novel micro-sprinkler. **Irrigation Science**, New York, v. 27, p. 209-214, 2009.

Alves, D.G. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de irrigação com ultra baixa vazão utilizando microtubos ramificados.** 2010. 86 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

Alves, D.G.; Pinto, M.F.; Salvador, C.A.; Almeida, A.C.S.; Almeida, C.D.G.C. de; 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, fev. 2012.

American Society of Agricultural and Biological Engineers. ASABE. **ASAE EP405.1:** design and installation of microirrigation systems. St. Joseph, 2010. 4 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. **NBR ISO 9261:** equipamentos de irrigação agrícola. Emissores e tubos emissores. Especificação e métodos de ensaio. São Paulo, 2006. 17 p.

Dantas Neto, J.; Medeiros, M.G.A.; Azevedo, C.A.V.; Azevedo, H.M. Performance hidráulica e perfil de distribuição de água do microaspersor Naan 7110, sob diferentes condições de vento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, p. 57-61, 1997.

Frizzone, J.A.; Freitas, P.S.L. de; Rezende, R.; Faria, M.A. **Microirrigação:** gotejamento e microaspersão. Maringá: Eduem, 2012. 356 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2006:** agricultura familiar. Rio de Janeiro, 2006. 267 p.

Keller, J.; Karmeli, D. Trickle irrigation design parameters. **Transaction of the ASAE**. St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-684, July/Aug. 1974.

Solomon, K. **Manufacturing variation of trickle emitters**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.22, n.5, p.1034-1038, Sept/Oct. 1979.

Souza, R.O.R.M.; BOTREL, T.A. Modelagem para o dimensionamento de microtubos em irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, p. 16-22, 2004.

Souza, W.J. **Escoamento em regime turbulento aplicado à irrigação localizada com microtubos.** 2008. 117 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.