

RELAÇÃO VAZÃO – PRESSÃO DE UM TUBO GOTEJADOR SUBMETIDO À CONDIÇÃO SUBSUPERFICIAL

MICHAEL SILVEIRA THEBALDI¹, WILLIAN FERNADES DE ALMEIDA², RAFAELLA RESENDE ANDRADE³, LUDMILA MAGALHÃES³, LUIZ ANTONIO LIMA⁴

¹ Engenheiro Agrícola, doutorando em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, DEG/UFLA, Lavras – MG, (35)92137976, micksilveira@gmail.com

² Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, doutor em Engenharia Agrícola, DEG/UFLA

³ Engenheira Agrícola, graduanda, DEG/UFLA

⁴ Engenheiro Agrícola, professor Associado, DEG/UFLA

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: O desenvolvimento da irrigação por gotejamento subsuperficial se deve ao fato deste apresentar maior eficiência de irrigação e durabilidade em relação gotejamento superficial. Porém, seu uso ainda apresenta algumas limitações técnicas, sendo a principal a variação na vazão dos emissores quando enterrados devido ao entupimento ou pela incidência do fenômeno da contrapressão. Assim, esse trabalho teve como objetivo determinar a curva vazão – pressão de um tubo gotejador autocompensante, indicado ao gotejamento enterrado, em condições superficiais e subsuperficiais. Para tal, a vazão dos emissores foi obtida em condição atmosférica e submersa em água, onde os níveis de submersão representaram a contrapressão. Os ensaios foram realizados utilizando as pressões de entrada de 25, 50, 100 e 150 kPa e contrapressões de 0,49, 1,47, 2,45, 4,41 e 6,37 kPa, com quatro repetições. A vazão do gotejador sob contrapressão diminuiu, alterando o coeficiente e expoente de descarga deste. O coeficiente de correlação da relação entre a vazão em condições atmosférica e submersa foi 0,97232.

PALAVRAS-CHAVE: gotejamento enterrado, contrapressão, hidráulica de emissores.

FLOW – PRESSURE RELATIONSHIP OF A DRIP LINE SUBMITTED TO SUBSURFACE CONDITION

ABSTRACT: The development of subsurface drip irrigation (SDI) is occurring because it produces higher irrigation efficiency and durability compared to surface irrigation. However, its use still has some technical issues, being the main problem, the flow rate variation when buried, due to clogging or the backpressure phenomenon. Thus, this paper had as objective to determine the flow – pressure curve of a pressure compensating drip line, indicated to SDI, under surface and subsurface conditions. To this, the emitters' flow rate was obtained at atmospheric and submerged conditions, where levels of submersion represented the backpressure. The assays were performed using the inlet pressures of 25, 50, 100 and 150 kPa and backpressures of 0.49, 1.47, 2.45, 4.41 e 6.37 kPa, with four replications. The dripper's flow rate under backpressure decreased, changing its discharge coefficient and exponent. The correlation coefficient of the relationship between flow rate under atmospheric and submerged conditions was 0.97232.

KEYWORDS: subsurface drip irrigation, backpressure, emitters' hydraulics.

INTRODUÇÃO

De acordo com BEN-GAL e LAZAROVITCH (2003), com o uso da irrigação por gotejamento, aplicada subsuperficialmente ou superficialmente, consegue-se aumentar a eficiência

de uso da água, através da redução ou extinção da evaporação, do escoamento superficial, da lixiviação de água e contaminantes para zonas abaixo do sistema radicular das culturas além da redução das plantas daninhas na área de cultivo e aumento na produtividade com o possível fornecimento de condições ótimas de absorção de água e nutrientes pelas culturas.

Os emissores no gotejamento subsuperficial são instalados no interior do solo, o que provoca um efeito adicional aos efeitos já gerados no gotejamento convencional, citados anteriormente. Adicionalmente, há um aumento na vida útil dos materiais (laterais e emissores) facilita o uso de máquinas no campo de produção e no caso de uso de águas residuária, previne o contato dos produtores e mão – de – obra com água de baixa qualidade (CAMP, 1998; LAMM, 2009).

O desenvolvimento do gotejamento enterrado teve início nos anos 60, porém, com o desenvolvimento da técnica em Israel nos anos 80 houve sua difusão pelo mundo (CAMP, 1998), representando nos dias atuais um importante componente da irrigação agrícola e paisagística.

Entretanto, o sucesso da irrigação por gotejamento superficial é dependente da transposição de alguns obstáculos. O emissor quando enterrado geralmente possui uma cavidade limitada ao seu redor que fica preenchida por água, o que cria uma pressão positiva quando a intensidade de precipitação do emissor supera a taxa de infiltração do solo (SHANI e OR, 1995).

Alguns autores sugerem o uso de emissores autocompensantes para que haja a redução do problema de uniformidade causada pelo fenômeno, porém, os valores de contrapressão encontrados na literatura, chegam a até 8 m.c.a., obtidos por SHANI et al. (1996), valores estes passíveis de fazer com que os emissores autocompensantes saiam de sua faixa de autocompensação, obtendo como resultado, com o efeito adicional da variabilidade espacial das características físico-hídricas do solo, baixa uniformidade na irrigação.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar a curva vazão – pressão de um tubo gotejador autocompensante, indicado ao gotejamento enterrado, em condições superficiais e submerso em água, a fim de se conhecer o comportamento deste em condições subsuperficiais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Hidráulica, pertencente ao Núcleo Didático-Científico de Engenharia de Água e Solo do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. O modelo de tubo gotejador utilizado foi o XFS Subsurface Dripline fabricado pela Rain Bird, com vazão nominal de $2,3 \text{ L h}^{-1}$, diâmetro nominal de 17 mm e espaçamento de 30,5 cm entre emissores. A faixa de pressão de operação do emissor informada pelo fabricante é entre 58,61 e 413,69 kPa (8,5 a 60 psi).

Para realização dos ensaios foi montado o aparato mostrado na Figura 1, constituído de um compressor anexado a um frasco de Mariotte construído com tubulação de PVC de diâmetro nominal de 150 mm. A pressão de entrada no frasco foi regulada através de um conjunto distribuidor de ar pressurizado fabricado pela Soilmoisture Equipment Corporation. A pressão de entrada nos emissores foi controlada por um manômetro digital. A vazão dos gotejadores foi medida através da taxa de queda do nível da água dentro do frasco de Mariotte, observado em uma mangueira transparente anexada ao corpo deste.

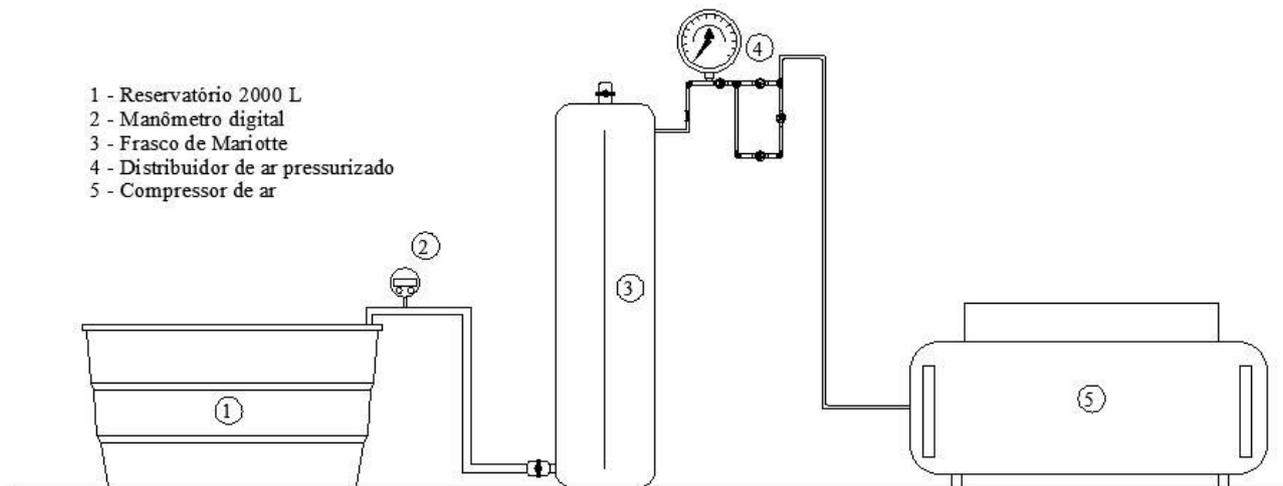


FIGURA 1. Esquema do aparato montado para a avaliação da vazão dos segmentos de tubo gotejadores.

Foram realizados testes com pressões (h_0) crescentes de 25, 50, 100 e 150 kPa, sendo avaliados 12 emissores e quatro repetições para cada pressão. Com os pares de valores de vazão média por emissor e pressão, foi obtida a equação do emissor, utilizando-se a Equação 1, que descreve a relação potencial entre a pressão e a descarga em orifícios (KELLER e KARMELI, 1975).

$$q = k \times h_0^x \quad (1)$$

em que,

- q - vazão média do emissor ($L h^{-1}$);
- k - coeficiente de descarga do emissor;
- h_0 - pressão de entrada da água no emissor (kPa), e
- x - expoente de descarga do emissor.

Para avaliação da vazão dos gotejadores submersos em água, foi utilizado o mesmo aparato da Figura 1, porém, os gotejadores foram submersos no interior de um reservatório em fibra de vidro de 2000 L, utilizando-se uma estrutura metálica (Figura 2A) para que se mantivesse a mesma profundidade de toda a linha de gotejadores. O reservatório era munido de quatro extravasores para que o nível da água permanecesse constante, mesmo com a descarga dos emissores.

Os gotejadores foram submersos nas profundidades de 0,05; 0,15; 0,25; 0,45 e 0,65 m, correspondentes a 0,49; 1,47; 2,45; 4,41 e 6,37 kPa de contrapressão (h_s) aplicadas. A linha de gotejadores na profundidade a ser ensaiado foi controlada através de conectores iniciais para tubo gotejadores com válvula acoplada (Figura 2B).



FIGURA 2. Estrutura metálica utilizada para manter os gotejadores na profundidade de ensaio (A) e detalhe do conector inicial com válvula utilizado para controle das linhas.

As pressões de entrada utilizadas também foram 25, 50, 100 e 150 kPa e foram realizadas quatro repetições. Os dados foram ajustados à equação de descarga de gotejadores submetidos à contrapressão (Equação 2).

$$q = k \times (h_0 - h_s)^x \quad (2)$$

em que,

h_s - contrapressão causada pelo nível de submersão (kPa).

Adicionalmente, foi realizado um experimento para a obtenção do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) proposto por Christiansen (1942) e do Coeficiente de Variação de Fabricação (CVF). Para tal, uma linha contendo 15 gotejadores foi ensaiada em uma bancada e os volumes aplicados individualmente por cada emissor foram coletados por coletores plásticos cilíndricos, que possuíam diâmetro de 80 mm e altura de 102 mm.

O CUC foi calculado pela Equação 3:

$$CUC = 100 \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_m|}{n \times q_m} \right) \quad (3)$$

em que,

q_i - vazão observada em cada coletor, $L h^{-1}$;

q_m - média das vazões considerando todos os coletores, $L h^{-1}$ e

n - número de coletores utilizados.

O CVF foi calculado pela Equação 4:

$$CVF = \left(\frac{S}{q_m} \right) \times 100 \quad (4)$$

em que,

S - desvio padrão da amostra e

q_m - média das vazões, considerando todos os coletores, $L h^{-1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de Uniformidade de Christiansen e de Variação de Fabricação obtidos são

mostrados na Tabela 1.

TABELA 1. Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e Coeficiente de Variação de Fabricação e suas classificações nas pressões avaliadas.

Pressão (kPa)	CUC (%)	Classificação Mantovani (2002)	CVF (%)	Classificação Hillel (1982)
25	97,05	Excelente	3,87	Bom
50	97,06	Excelente	3,83	Bom
100	96,60	Excelente	4,26	Bom
150	97,49	Excelente	3,17	Bom
Média		97,05		3,78

Os valores de CUC obtidos em todas as pressões ensaiadas foram classificados como “Excelente”, segundo critério apresentado por Mantovani (2002), e variaram entre 96,60% e 97,49%. Assim como esperado, os valores de CVF variaram inversamente em função dos valores do CUC, ou seja, quanto maior o CUC, menor o CVF. Refletindo a classificação do CUC, todos os valores de CVF foram classificados como “Bom” (Hillel, 1982) e os valores variaram entre 3,17% e 4,26%, com valor médio de 3,78%.

Na Figura 3 pode-se observar a correlação entre as vazões médias superficiais observadas e as vazões médias submersas observadas, formadas pelos pares pressão – contrapressão. O coeficiente da correlação foi 0,97232, positivo e inferior a um, o que denota uma vazão submersa inferior à superficial.

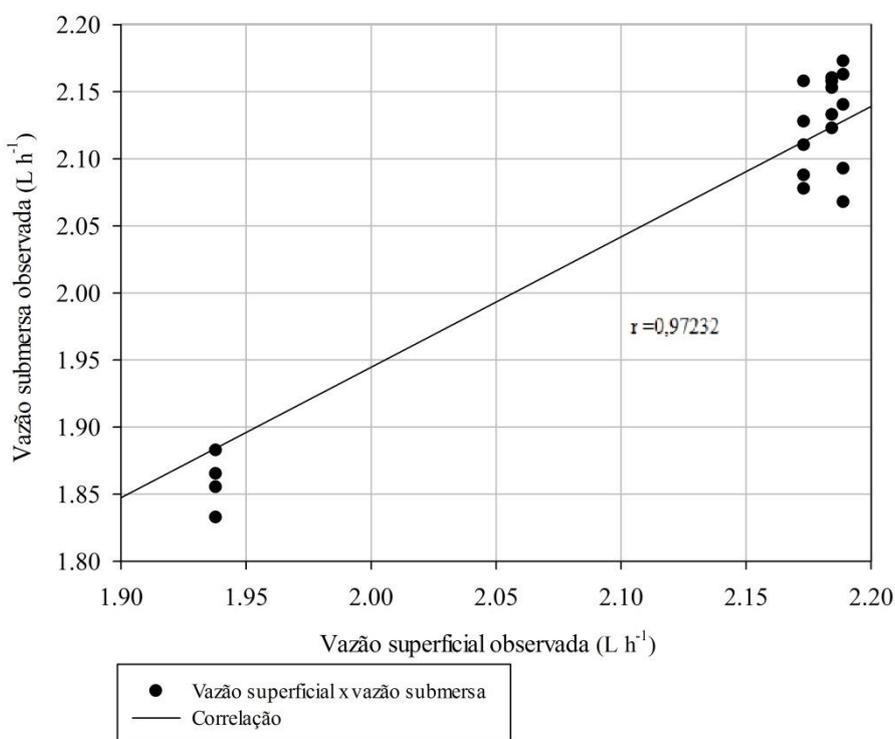


FIGURA 3. Correlação entre a vazão superficial observada e a vazão submersa observada nas pressões de entrada avaliadas para o tubo gotejador XFS Subsurface Dripline.

Ao analisar a Figura 3, nota-se que a maioria dos pares de dados se encontram concentrados

na parte superior direita do gráfico. Esse comportamento deve-se ao fato do emissor apresentar faixa de autocompensação a partir de 58,61 kPa, dado informado pelo fabricante. Os pares observados na área inferior esquerda correspondem à pressão de trabalho de 25 kPa, o que gerou vazões não-compensadas.

Nota-se que mesmo com uma baixa contrapressão (0,05 m.c.a) houve redução da vazão.

Após análise de regressão, obtiveram-se os parâmetros da relação vazão-pressão do emissor e o modelo é apresentado na Figura 4.

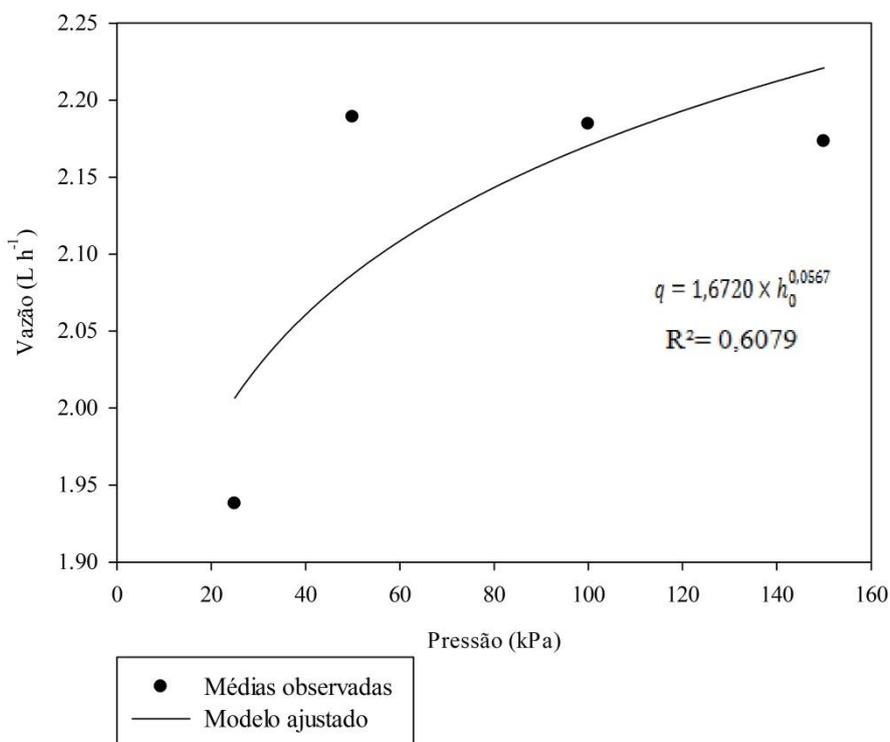


FIGURA 4. Relação vazão-pressão do emissor do tubo gotejador XFS Subsurface Dripline em aplicação superficial.

O baixo coeficiente de determinação do modelo, 60,79% pode ser explicado em função do aumento da vazão a partir do início da faixa de autocompensação e consequente tendência à manutenção desta, comportamento este que não se ajusta bem a um modelo potencial.

Segundo informa o fabricante, a faixa de trabalho do emissor inicia em 58,61 kPa, porém, nas quatro pressões avaliadas, a partir de 50 kPa já pode ser observada a autocompensação da vazão do emissor com o aumento da pressão de trabalho.

Os valores do coeficiente de descarga (k) e do expoente de descarga (x) foram 1,6720 e 0,0567, respectivamente. Esse valor obtido de x, muito próximo de zero, confirma que o emissor é autocompensante. Segundo Pizarro (1987), um emissor autocompensante deve apresentar o expoente da equação do emissor variando entre 0 a 0,4. Nas quatro pressões avaliadas, a vazão média encontrada foi inferior à vazão nominal informada pelo fabricante, 2,30 L h⁻¹.

Assim como o ocorrido na aplicação superficial, o coeficiente de determinação do modelo vazão – pressão em aplicação submersa (Figura 5) também foi baixo, 57,45%, e também pode ser explicado pela faixa de autocompensação que se inicia próxima aos 50 kPa de pressão de trabalho.

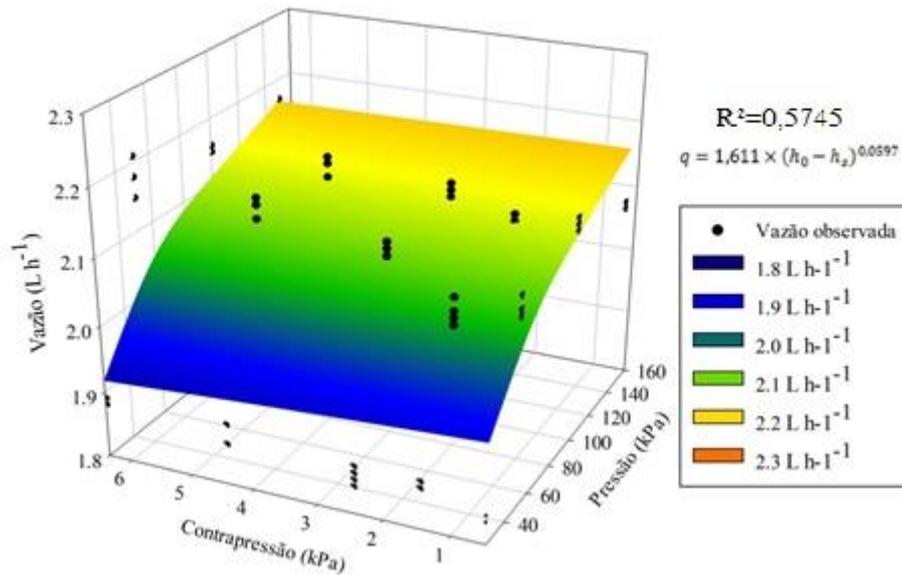


FIGURA 5. Relação vazão-pressão do emissor do tubo gotejador XFS Subsurface Dripline em aplicação submersa.

Ao se analisar modelo vazão – pressão/contrapressão do emissor submerso, mostrado na Figura 4, nota-se um coeficiente de descarga inferior ao encontrado no modelo superficial o que, em termos absolutos, denota uma vazão menor em relação à mesma pressão de trabalho ao se comparar os dois modelos. Já o expoente de descarga foi superior ao encontrado para o modelo superficial, porém, o valor obtido, 0,0597, mantém o emissor classificado como autocompensante.

Mesmo com o emissor sendo submetido a valores relativamente pequenos de contrapressão, observa-se uma redução na vazão deste graças à ação desta. Comparativamente, alguns trabalhos que avaliaram a contrapressão em aplicações subsuperficiais em diferentes solos, obtiveram valores entre 0,15 a 2,07 m.c.a. obtidos por GIL et al. (2011) e 0,3 a 1,10 m.c.a. encontrados por GIL et al. (2010), ou seja, valores que acarretariam em reduções ainda maiores da vazão. Nestes casos, o projeto de irrigação como um todo seria comprometido, não entregando as plantas a quantidade de água necessária.

A relação entre as vazões superficiais modeladas e submersas modeladas são apresentadas na Figura 6.

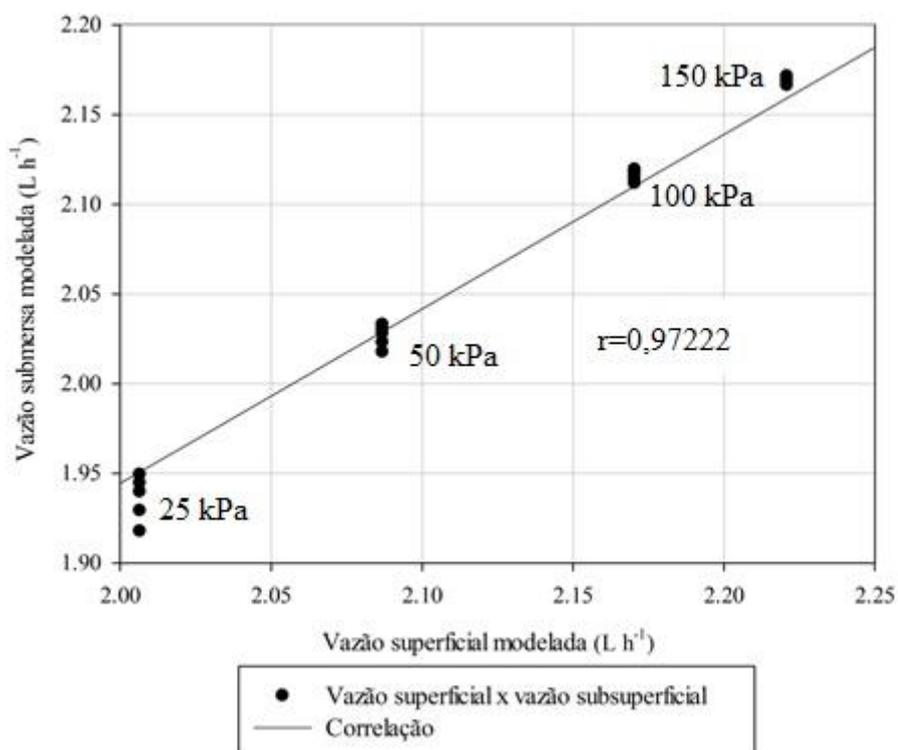


FIGURA 6. Correlação entre a vazão superficial modelada e a vazão submersa modelada nas pressões de entrada avaliadas para o tubo gotejador XFS Subsurface Dripline.

Comparando-se a Figura 3 com a Figura 6, nota-se que, como o expoente de descarga obtido tanto para a aplicação superficial quanto para a submersa não caracterizam o emissor como autocompensante perfeito (zero), com o aumento gradual da pressão após 25 kPa, produz-se também um aumento na vazão. O coeficiente de correlação da relação entre as vazões modeladas foi 0,97222, ligeiramente inferior à correlação encontrada entre as vazões observadas (Figura 3).

CONCLUSÕES

O CUC e o CVF em todas as pressões avaliadas foram classificados como “Excelente” e “Bom”, respectivamente.

O modelo vazão – pressão do emissor submerso em água apresentou parâmetros de ajustes diferentes aos obtidos para o emissor em aplicação superficial, porém, o valor do expoente de descarga submerso, 0,0597 demonstra a compensação da vazão do emissor com a variação da pressão de trabalho.

O emissor sujeito à contrapressão teve sua vazão reduzida.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelo auxílio aos autores para a participação no evento.

REFERÊNCIAS

BEN-GAL, A.; LAZAROVITCH, N. **Beyond burying the lateral: Current issues in and future opportunities for subsurface drip irrigation.** Prepared for Netafim Irrigation. 2003. Disponível em: http://mop.ardom.co.il/data/reports/Subsurface_drip_irrigation_2003.pdf. Acesso em: 23 jan. 2012.

CAMP, C. R. Subsurface drip irrigation: A review. **Transactions of ASAE**, v.41, n.5, p.1353-1376, 1998.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkle**. Berkeley: University of California, 1942. 41 p.

GIL, M. et al. Evolution of the spherical cavity radius generated around a subsurface drip emitter. **Biogeosciences**, v. 7, p.1935–1958, 2010.

GIL, M. et al. Procedures for Determining Maximum Emitter Discharge in Subsurface Drip Irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 137, n. 5, p. 287 -294, 2011.

HILLEL, D. **Advances in irrigation**. New York: Academic Press, 1982. V. 1, 302 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, v.17, n.4, p.678–684, 1975.

LAMM, F. R. et al. **Twenty years of progress with SDI in Kansas**. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. 23 p. ASABE paper no. 095923. Disponível em: <<http://www.ksre.ksu.edu/sdi/Reports/2009/FRL20Yr09.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2012.

MANTOVANI, E.C. **AVALIA – Manual do usuário**. Viçosa: DEA/UFV PNP&D/Café/EMBRAPA. 2002, 100 p.

PIZARRO, F. C. **Riegos localizados de alta frequência**. Madrid: Mundi Prensa, 1987. 461 p.

SHANI, U; OR, D. In Situ Method for Estimating Subsurface Unsaturated Hydraulic Conductivity, **Water Resources Research**, v. 31, n. 8, p. 1863–1870, 1995.

SHANI, U. et al. Soil limiting from Subsurface Emitters, I: Pressure Measurements, **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.122, p.291–295, 1996.