



Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.10, n°.2, p. 477 - 485, 2016  
ISSN 1982-7679 (On-line)  
Fortaleza, CE, INOVAGRI – <http://www.inovagri.org.br>  
DOI: 10.7127/rbai.v10n200352  
Protocolo 352.16 – 24/09/2015 Aprovado em 16/02/2016

## **BULBO MOLHADO ESTIMADO PELA TÉCNICA DA TDR NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL**

Douglas Roberto Bizari<sup>1</sup>, Katarina Lira Grecco<sup>2</sup>, Claudinei Fonseca Souza<sup>1</sup>

### **RESUMO**

A necessidade de estudos sobre o movimento da água aplicada diretamente abaixo da superfície do solo motivou a realização desse trabalho. O objetivo foi avaliar duas taxas de aplicação de água no formato do bulbo molhado em sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental do CCA/UFSCar - Araras, SP. Para o ensaio foram utilizadas duas caixas de PVC (500L), preenchidas com solo arenoso e uma malha de 36 sondas (6 linhas x 6 colunas), com espaçamento de 0,10 m tanto na vertical quanto na horizontal. Os gotejadores foram instalados na profundidade de 0,30 m, para aplicações de 1,0 e 1,6 L h<sup>-1</sup>. A cada hora foi aplicado 1 L de água (total de 10 L), seguido de leituras com a TDR para o medição do formato e dimensão do bulbo molhado. Foi possível verificar que a taxa de aplicação não influenciou no formato do bulbo molhado. Os maiores valores de umidade do solo foram encontrados perto dos emissores para ambas as taxas de aplicação. Houve um movimento ascendente da água em relação ao gotejador, mostrando a importância da capilaridade no planejamento da irrigação por gotejamento subsuperficial.

**Palavras-chave:** reflectometria, taxa de aplicação, ascensão de água.

## **WET BULB ESTIMATED BY TDR TECHNIQUE IN SUBSURFACE IRRIGATION**

### **ABSTRACT**

The need for studies on the water movement directly applied below the soil surface motivated this work. The aim was to evaluate two water application rates in the wet bulb in subsurface drip irrigation. The experiment was conducted in a greenhouse of Department of Natural Resources and Environmental Protection – CCA/UFSCar - Araras, SP. For the test two PVC containers (500L) were filled with sandy soil, where in each container was installed a mesh probes 36 (6 rows x 6 columns) at a spacing of 0.10 m between probes in vertically and horizontally direction. The emitters were installed at depth of 0.30 m to applications rates of 1.6 to 1.0 L.h<sup>-1</sup>. In each time 1 L of water (total 10 L) was applied, followed by reading with

<sup>1</sup> Professor, Centro de Ciências Agrárias, UFSCar, Araras, SP, [dbizari@cca.ufscar.br](mailto:dbizari@cca.ufscar.br), [cfsouza@cca.ufscar.br](mailto:cfsouza@cca.ufscar.br).

<sup>2</sup> Mestranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas - Esalq, Piracicaba, SP, [katarina.grecco@gmail.com](mailto:katarina.grecco@gmail.com)

the TDR for the wet bulb characterization. It was possible to verify that the application rate did not affect the wet bulb format. The highest soil moisture values were found near the emitters for both application rates. There was a water upward movement relative to emitter showing the importance of capillary in subsurface drip irrigation planning.

**Keywords:** reflectometry, application rate, ascent of water.

## INTRODUÇÃO

No sistema de irrigação por gotejamento a superestimativa da porcentagem de solo molhado pode aumentar o desperdício de água e nutrientes, ao passo que o contrário pode levar às plantas a riscos de estresse e a má distribuição do sistema radicular (SOUZA; MATSURA, 2004). A determinação imprecisa do volume ou bulbo molhado do solo é um problema em se tratando da estimativa adequada do número e espaçamento de gotejadores e da sua localização em relação às plantas ou fileiras de plantas (OR, 1996). Esse volume pode ser medido diretamente em campo, através da abertura de trincheiras ou por meio de medidas indiretas, como tabelas ou modelos. Devido à especificidade dos solos, as tabelas ajustadas para tal fim nem sempre são adequadas para as condições brasileiras, tornando-se necessários estudos que indiquem adequadamente esse volume.

Desta forma, o conhecimento da distribuição da água no solo torna-se importante para o dimensionamento correto de sistemas de irrigação, que atualmente, buscam mais do que simplesmente o aumento de produção de alimento, mas também a incorporação de técnicas racionais de manejo conservacionista do solo, da água e dos nutrientes, de modo que esses recursos possam ser mantidos ao longo do tempo, em quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade (WUTKE et al., 2000).

Uma maneira da agricultura irrigada ser mais eficiente no uso da água e nutrientes é por meio da utilização da irrigação por gotejamento subsuperficial, que aplica água em pequenas quantidades e em alta frequência diretamente sobre a região radicular, mantendo a umidade do solo ao seu redor próxima à capacidade de campo. Nesse caso, a emissão de água é feita abaixo da superfície do solo, evitando-se assim,

a exposição do seu umedecimento e reduzindo, ainda mais, as perdas por evaporação quando comparado à irrigação por gotejamento superficial, obtendo-se no primeiro, uniformidade de aplicação de água próxima a 100% (NOGUEIRA et al., 2000).

Esse sistema de irrigação é uma alternativa técnica para aumentar os índices de produtividade com preservação dos recursos hídricos, sendo utilizada em várias culturas agrícolas, como tomate (MAROUELLI; SILVA, 2002), alface (GOMES; SOUSA, 2002), café (FARIA et al., 2004), citros (COELHO et al., 2006) e melão (MONTEIRO et al., 2014).

Entretanto, para que essa tecnologia apresente resultados satisfatórios deve-se adotar medidas de manejo de irrigação que visem à racionalização do uso da água e ao aumento da produtividade (COELHO et al., 1999), levando em consideração sua distribuição em profundidade no perfil do solo. Nesse sentido, este trabalho foi proposto com o objetivo de avaliar, por meio da técnica da TDR, a distribuição de água na irrigação por gotejamento subsuperficial, para duas taxas de aplicação.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos, (CCA/UFSCar), no município de Araras, estado de São Paulo, em uma casa de vegetação de 140 m<sup>2</sup>, no período de junho a agosto de 2013. O solo utilizado foi classificado como pertencente ao grupo Neossolo Quartzarênico, coletado em uma camada superficial (0-0,30 m) na região de Leme, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22°11'08"

## BULBO MOLHADO ESTIMADO PELA TÉCNICA DA TDR NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

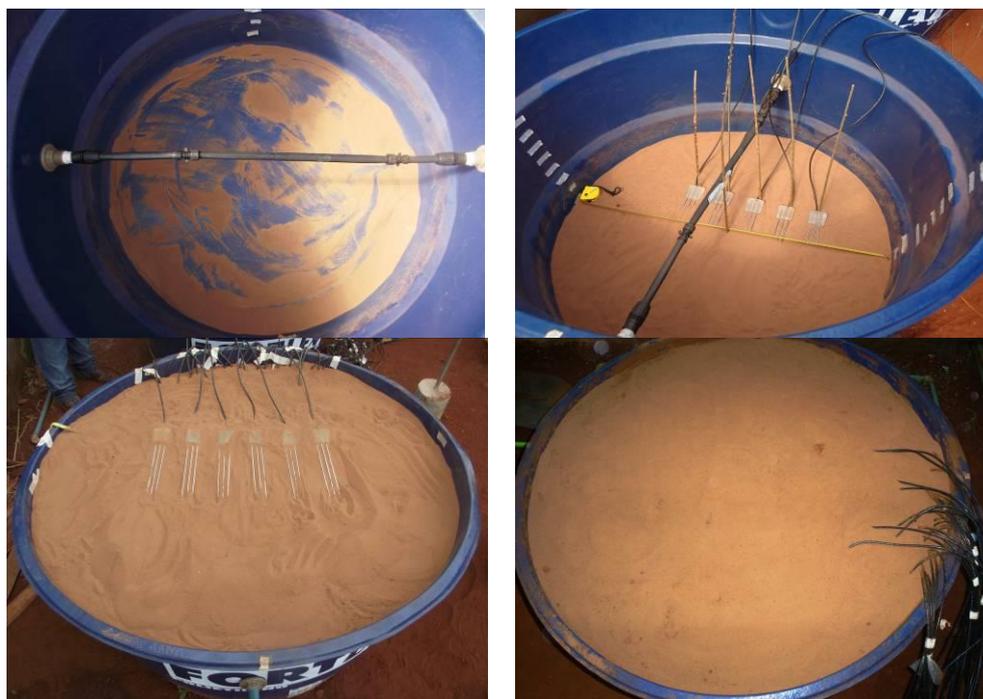
sul e longitude 47°23'25" oeste, estando a 619 metros acima do nível do mar. Os dados diários de temperatura e umidade relativa do ar foram coletados por meio de uma estação meteorológica instalada no interior da estufa.

Para determinação da análise físico-hídrica do solo foram retiradas amostras indeformadas nas profundidades (0-0,15 m e 0,15-0,30 m) com o auxílio de um anel volumétrico. As amostras foram levadas para o laboratório de Física do Solo da própria universidade, cujos resultados foram: densidade do solo 1,4 kg.dm<sup>-3</sup>, porosidade total 38,0% e granulometria: argila 65, silte 20 e areia 915 em g. kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

No caso da formação do bulbo molhado a partir de gotejadores de diferentes vazões (1,0 e 1,6 L h<sup>-1</sup>) foram utilizados dois recipientes

(caixas de polietileno - 500L; 0,65 m de altura e 1,20 m de diâmetro) preenchidos com solo arenoso, onde foram acomodadas as 36 sondas de TDR (malha 6 m x 6 m, espaçadas a cada 0,10 m, tanto na vertical quanto na horizontal). As sondas de TDR foram confeccionadas no laboratório de Poluição dos Solos (CCA/UFSCar), conforme metodologia descrita por Souza et al. (2006) e a calibração do solo para a determinação da umidade teve como base a equação obtida por Tommaselli e Bacchi (2001).

A malha foi instalada de modo que ficasse centralizada na caixa e as sondas foram devidamente identificadas. A Figura 1 apresenta o preenchimento das caixas com o solo e a instalação das sondas de TDR e dos gotejadores.



**Figura 1.** Montagem das caixas de PVC e instalação das sondas de TDR e dos gotejadores avaliados, no CCA/UFSCar, 2013.

O emissor foi instalado na profundidade de 0,30 m, exatamente no meio da malha de sondas de TDR. No ensaio avaliou-se dois emissores marca NaanDanJain, modelo Amnon Drip PC AS, com vazões de 1,0 e 1,6 L h<sup>-1</sup>, instalados um em cada caixa, na qual aplicou-se 1 L de água por hora em cada irrigação, totalizando 10 aplicações.

Para a estimativa da umidade do solo foi utilizado um reflectômetro TDR 100<sup>1</sup> (Campbell Scientific) interligado a um coletor de dados (CR1000 Datalogger<sup>1</sup>, Campbell Scientific) e a cinco placas com canais de multiplexação (SDMX-50) que permitiram a leitura simultânea das 36 sondas de TDR, em tempo real, a cada 15 minutos.

Os valores obtidos foram armazenados e processados em planilhas eletrônicas. De acordo com os dados das planilhas, foram gerados gráficos em duas dimensões do bulbo molhado e da distribuição da umidade no perfil do solo, utilizando-se o programa Surfer Mapping System<sup>2</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período do ensaio constatou-se que a temperatura do ar no interior da estufa variou de 13 a 34°C e a umidade relativa de 29 a 95 %. Para facilitar a apresentação dos resultados, os emissores foram nomeados em: GOT1,0 (sistema de gotejamento subsuperficial de vazão 1,0 L h<sup>-1</sup>) e GOT1,6 (sistema de gotejamento subsuperficial de vazão 1,6 L h<sup>-1</sup>). As Figuras 2 e 3 apresentam os perfis de umidade (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) após cada aplicação de água no solo, correspondentes aos emissores com vazão de 1,0 e 1,6 L h<sup>-1</sup>, respectivamente. Para uma melhor visualização, cada isolinha nos gráficos representa um acréscimo de 0,02 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> na umidade no perfil do solo.

Avaliando-se o avanço da frente de umedecimento nos bulbos molhados, constatou-se que no sistema GOT1,0 (Figura 2) este ocorreu de maneira mais expressiva até a sexta aplicação, tanto no sentido vertical quanto no horizontal, porém com maior destaque para o horizontal, no qual o deslocamento da água (em torno de 0,30 m) ultrapassava as sondas mais distantes do emissor (0,25 m), aumentando-se até próximo a 0,40 m na oitava aplicação e mantendo-se praticamente constante até o final da última aplicação (10 L).

Para a vazão de 1,6 L h<sup>-1</sup> (Figura 3), considerando-se o mesmo volume de água aplicado, mas com menor tempo de irrigação para cada aplicação (1 L a cada 37,5 minutos), constatou-se que o comportamento da frente de molhamento foi bem semelhante ao observado no caso anterior com relação ao deslocamento horizontal, no qual o maior valor obtido

(próximo a 0,35 m) foi encontrado a partir da sétima aplicação, mantendo-se constante até o final do ensaio. Esses resultados foram superiores em 75% aos obtidos por Barros et al. (2009), que mesmo avaliando vazões de 2,0 e 4,0 L h<sup>-1</sup>, o deslocamento horizontal ficou limitado a 0,20 m, para o mesmo tempo de avaliação, e também aos constatados por Coelho et al. (2005), sendo que neste caso, a expansão lateral proporcionada pelos emissores apresentou os menores valores. Lopes et al. (2009) trabalhando com irrigação por gotejamento para diferentes vazões, encontraram valores de deslocamento horizontal variando de 0,30 a 0,35 m de distância do gotejador, bem próximos aos obtidos no presente trabalho.

Com relação à movimentação vertical, observou-se a partir da terceira aplicação, mais especificamente nas duas aplicações seguintes (4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> aplicações) que a frente de umedecimento atingiu as profundidades de 0,45 e 0,50 m, respectivamente, sendo 0,05 m maiores que os valores encontrados nas mesmas aplicações do GOT 1,0. A partir da sexta aplicação essa mesma frente se estabilizou em 0,50 m de profundidade até o final do ensaio, não atingindo a última linha de sondas no fundo do recipiente e sendo inferior à encontrada no GOT 1,0, que apresentou o valor de 0,55 m desde a sexta aplicação. Isso pode ser explicado, possivelmente, devido a uma maior compactação nessa camada no GOT1,6 (excesso de força nas batidas com o compactador) agravada pela pressão da coluna de solo. Lopes et al. (2009) constataram, ao final de 10 horas de aplicação, uma frente de molhamento a 0,55 m de profundidade para a vazão de 2,0 L h<sup>-1</sup>, valor semelhante ao obtido no presente ensaio para a vazão de 1,6 L h<sup>-1</sup>.

Resultados semelhantes foram encontrados por Barros et al. (2009) que obteve frentes de molhamento ultrapassando as sondas mais profundas (0,45 m), em relação ao formato do bulbo molhado, os resultados foram conflitantes, já que, segundo os autores, este aumentou consideravelmente nas duas direções

<sup>2</sup> Referências à marca registrada não constituem endosso por parte dos autores.

**BULBO MOLHADO ESTIMADO PELA TÉCNICA DA TDR NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO  
SUBSUPERFICIAL**

quando se dobrou a vazão do emissor, fato que não se constatou no presente ensaio. Para Souza e Matsura (2004) o movimento vertical tende a diminuir, e o aumento vertical nos sistemas subsuperficiais é superior em relação ao superficial em aproximadamente 0,30 m.

Considerando a ascensão de água para a vazão de 1,0 L h<sup>-1</sup> observou-se valores em torno de 0,20 m (6ª aplicação) a partir da profundidade de instalação do emissor (0,25 m) e também a percolação profunda até 0,55 m de profundidade, que corresponde à profundidade de instalação da última linha de sondas dentro do recipiente. Para a vazão de 1,6 L h<sup>-1</sup> a maior altura não ultrapassou 0,15 m a partir do ponto de emissão, sendo 0,05 m menor ao encontrado no GOT 1,0 durante praticamente todo o ensaio. Resultados similares foram obtidos por Barros et al. (2009), constatando também ascensão de água à zona de germinação de sementes, fator que deve ser considerado na profundidade de instalação das linhas e na escolha da cultura, pois aquelas que apresentam sistema radicular pouco desenvolvido podem contribuir para uma diminuição da eficiência do sistema de gotejamento subsuperficial com possíveis perdas de água.

Na avaliação da umidade do solo, observou-se que os maiores valores sempre se mantiveram próximos ao emissor, com máximo valor obtido em torno de 0,20 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, com a área dentro do bulbo representada por essa umidade aumentando, visualmente, com o número de aplicações. Porém, notou-se também, que a umidade no perfil do solo foi decrescendo a partir do afastamento do ponto de emissão de água, cujo menor valor observado foi de 0,08 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> na profundidade de 0,55 m e na distância horizontal próximo de 0,40 m, após o final do ensaio (10ª aplicação).

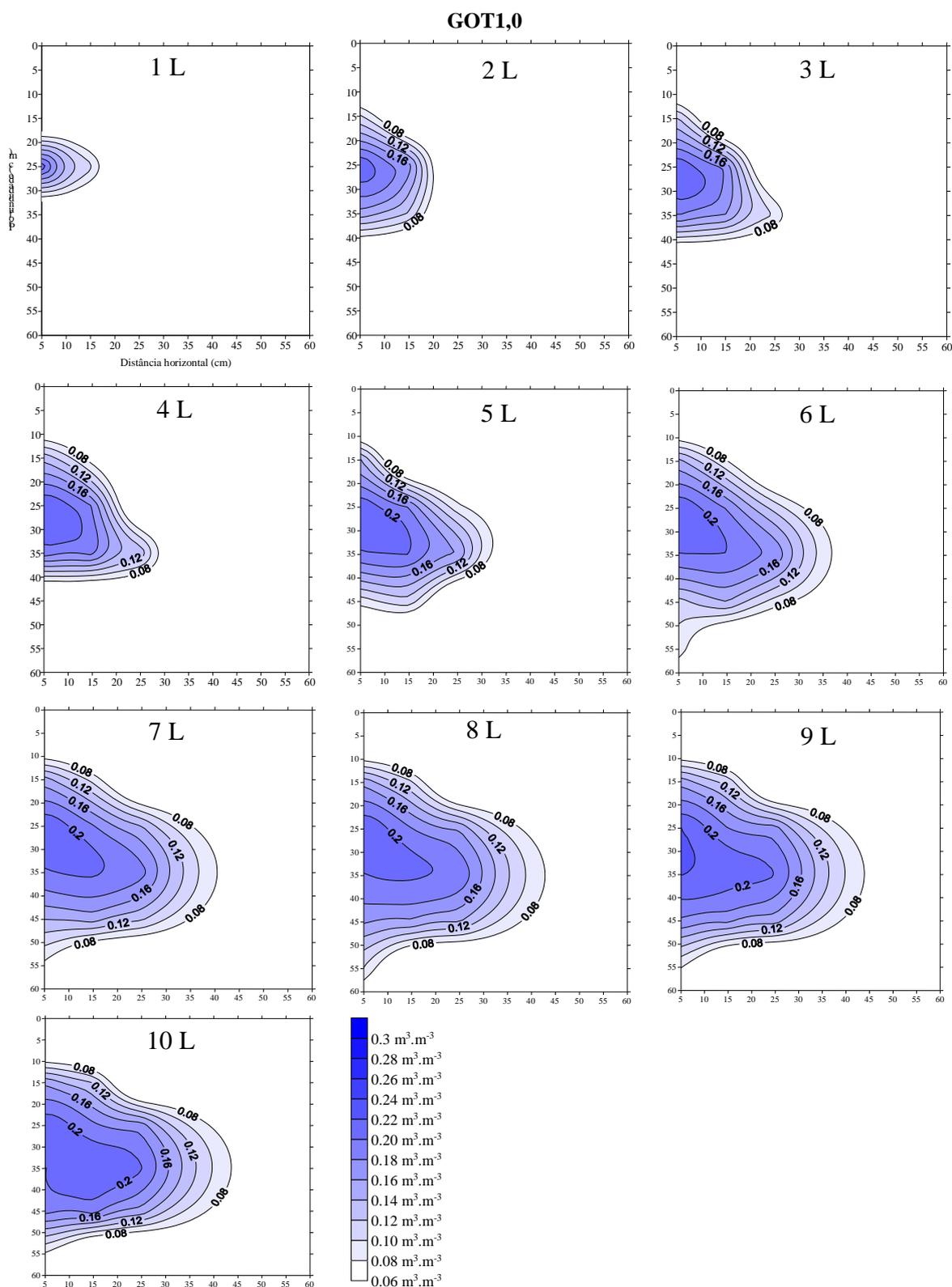
Comportamento semelhante foi obtido no GOT1,6, porém com um incremento no valor da umidade próximo ao emissor no valor de 0,02 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> em relação ao GOT1,0, mantendo-se em 0,22 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> até o final do ensaio. No final do avanço da frente de umedecimento, a umidade

no perfil também se manteve próximo a 0,08 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> para a vazão de 1,6 L h<sup>-1</sup>. Monteiro et al. (2014) trabalhando com gotejamento subsuperficial nas profundidades de 0,20 e 0,40 m encontraram os maiores valores de umidade na profundidade de 0,50 m durante o ciclo da cultura do melão.

As maiores diferenças de umidade (umidade após 10 L – umidade inicial antes do ensaio, 0,06 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) foram de 0,14 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> – GOT 1,0 e de 0,16 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> – GOT 1,6, sendo inferiores aos obtidos por Barros et al. (2009), porém, corroborando com o presente trabalho na constatação dos maiores valores de umidade próximo ao emissor, independentemente da vazão avaliada.

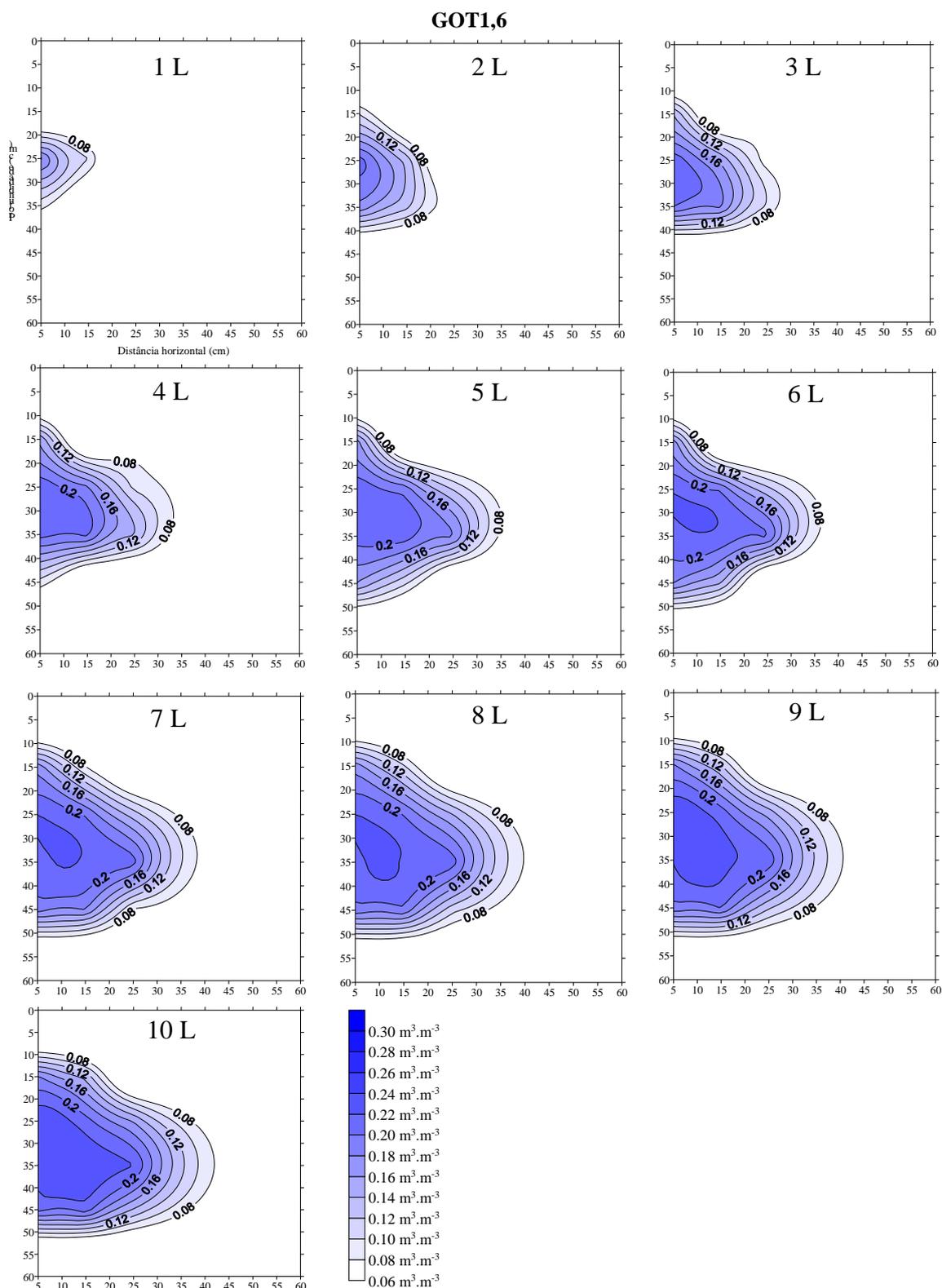
Avaliando a movimentação da solução de nitrato de potássio dentro do bulbo molhado no mesmo local do presente ensaio e para as mesmas vazões, Bizari et al. (2014) observaram, nos dois tratamentos, uma distribuição gradativa da solução no solo, sendo verificada uma maior concentração da solução próxima ao gotejador e, também uma maior tendência de deslocamento horizontal da frente de medecimento, com a solução encontrada a mais de 0,30 m em relação à posição do gotejador.

O monitoramento o bulbo molhado na irrigação por gotejamento subsuperficial acrescenta informações importantes com relação ao melhor dimensionamento de projetos de sistemas de irrigação, evitando a superestimativa ou a subestimativa do volume molhado, o que influencia diretamente no espaçamento e número de emissores de um projeto e, conseqüentemente, no manejo correto da irrigação. Contudo, não foi possível descrever a vazão ideal (1,0 ou 1,6 L h<sup>-1</sup>) a ser indicada como padrão, pois para tanto, serão necessários novos estudos envolvendo outros fatores determinantes, como a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura a ser irrigada, tipo, volume de água aplicado, profundidade de instalação, etc.



**Figura 2.** Comparação entre os perfis de umidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) durante o processo de aplicação da água no solo (10 L). Vazão de  $1,0 \text{ L h}^{-1}$  no sistema de irrigação subsuperficial, no CCA-UFSCar, 2013.

BULBO MOLHADO ESTIMADO PELA TÉCNICA DA TDR NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL



**Figura 3.** Comparação entre os perfis de umidade ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ) durante o processo de aplicação da água no solo (10 L). Vazão de  $1,6 \text{ L h}^{-1}$  no sistema de irrigação subsuperficial, no CCA-UFSCar, 2013.

## CONCLUSÕES

A taxa de aplicação não influenciou no formato do bulbo molhado;

Os maiores valores de umidade do solo foram encontrados perto dos emissores para ambas as taxas de aplicação;

Houve um movimento ascendente da água em relação ao gotejador, mostrando a importância da capilaridade no planejamento da irrigação por gotejamento subsuperficial.

## AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa e ao Engenheiro Agrônomo Leandro Lance da Naan Dan Jain pelo apoio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, A.C.; FOLEGATTI, M.V.; SOUZA, C.F.; SANTORO, B.L. Distribuição da água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.º.6, p.700-707, 2009.
- BIZARI, D.R.; GRECCO, K.L.; de OLIVEIRA, P.L.; QUERIDO, D.C.M.; SOUZA, C.F. Soil solution distribution under subsurface drip fertigation determined using tdr technique. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n.º.2, p. 139 - 146, 2014.
- COELHO, E. F.; OR, D; SOUSA, V. F. Avaliação de parâmetros hidráulicos para modelos de distribuição de água no solo sob gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.º.4, p.651-657, 1999.
- COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A. DE. TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.º.4, p.475-480, 2005.
- COELHO, R. D.; FARIA, L. F.; MELO, R. F. Variação de vazão em gotejadores convencionais enterrados por intrusão radicular na irrigação de citrus. **Irriga**, v.11, n.º.2, p.230-245, 2006.
- FARIA, L. F., COELHO, R. D., RESENDE, R. S. Variação de vazão de gotejadores de fluxo normal enterrados na irrigação do café. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.º.3, p.589-602, 2004.
- GOMES, E. P.; SOUSA, A. P. Produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.) em função dos valores de lâminas de água aplicados por gotejamento superficial e subsuperficial. **Irriga**, v.7, n.1, p.35-41, 2002.
- LOPES, L.N.; MARTINS, E.; SANTORO, B.L.; SOUZA, C.F. Caracterização da distribuição da água no solo para irrigação por gotejamento. **Irriga**, v. 14, n.º. 4, p. 564-577, 2009.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Profundidade de instalação da linha de gotejadores em tomateiro para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, v.20, n.º.2, p.206-210, 2002.
- MONTEIRO, R.O.C; COELHO, R.D.; MONTEIRO P.F.C. Produtividade da água e de nutrientes em melão fertirrigado por gotejamento subterrâneo sob mulching em diferentes tipos de solo. **Ciência Rural**, v.44, n.º.1, p.25-30, 2014.
- NOGUEIRA, C. C. P.; COELHO, E. F.; LEÃO, M. C. S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.4, n.º.3, p.315-320, 2000.
- OR, D. Drip irrigation in heterogeneous soils: study-state field experiments for stochastic model evolution. **Soil Science Society of America Journal**, v. 60, p. 1339-1349, 1996.

BULBO MOLHADO ESTIMADO PELA TÉCNICA DA TDR NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO  
SUBSUPERFICIAL

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E. Distribuição da água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, nº.1, p.7-15, 2004.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E.E.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, E.F.; OR D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo. **Irriga**, v.11, nº.1, p.12-25, 2006.

TOMMASELLI, J. T.G.; BACCHI, O. O. S.

Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, nº.9, p.1145-54, 2001.

WUTKE, E.B.; ARRUDA, F.B.; FANCELLI, A.L.; PEREIRA, J.C.V.N.A. SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G.M.B. Propriedades do solo e o sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, nº.4, p.621-633, 2000.