

CARACTERIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO SOLO PARA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

Leonardo do Nascimento Lopes¹; Elton Martins²; Bruno de Lima Santoro²; Claudinei Fonseca Souza³

¹*Universidade de Taubaté, Unitau, Taubaté, SP, leolopess2005@yahoo.com.br*

²*Departamento Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Taubaté, Taubaté, Unitau, SP*

³*Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, Universidade Federal São Carlos, São Carlos, SP*

1 RESUMO

O conhecimento da distribuição da água no solo é de grande importância para a agricultura, uma vez que a água é um dos fatores que mais influenciam o rendimento das culturas. Existem muitas técnicas utilizadas para o monitoramento do conteúdo de água do solo, a reflectometria domínio do tempo (TDR) tem sido difundida entre os pesquisadores por apresentar várias vantagens, entre as quais a determinação em tempo real e a possibilidade de leituras automatizadas. O principal objetivo desta pesquisa foi avaliar a distribuição da água no perfil de um Latossolo Vermelho-Amarelo. Sondas de Reflectometria no domínio do Tempo (TDR) foram utilizadas para monitorar a distribuição de água no solo aplicada através de gotejadores de fluxo constante nas taxas de 2, 4 e 8 L h⁻¹. Considerando os resultados de diferentes perfis, observa-se um maior armazenamento da água próximo do gotejador diminuindo progressivamente para frente de molhamento. Aproximadamente, um terço da água aplicada (33%) foi armazenado na primeira camada (0-0,10 m) para todos os ensaios. Comparando diferentes taxas de aplicação, observa-se maior armazenamento de água para o gotejador de 8L h⁻¹, com 30, 33 e 34% de água aplicada acumulada na primeira camada (0-0,10 m) para gotejadores de 2, 4 e 8L h⁻¹, respectivamente. Os resultados sugerem que, com base no volume e frequência utilizada neste experimento, seria vantajoso aplicar pequenas quantidades de água em intervalos mais frequentes para reduzir perdas por percolação.

UNITERMOS: TDR, conteúdo de água, bulbo molhado

**LOPES, L. N.; MARTINS, E.; SANTORO, B. L.; SOUZA, C. F.
WATER DISTRIBUTION CHARACTERIZATION IN SOIL FOR DRIP
IRRIGATION**

2 ABSTRACT

Knowledge of water distribution in soil is of great importance to agriculture, since water is one of the factors that most influence the yield of crops. There are many techniques used to monitor soil water content. The time domain reflectometry (TDR) has been widespread among researchers because it presents several advantages, among which the determination in real time and possibility of automated readings. The main goal of this research was to evaluate the water distribution in a profile of Red-Yellow Oxisol. Time domain reflectometry (TDR) probes were used to monitor the water distribution from drippers discharging at constant flow rates of 2, 4 and 8 L h⁻¹ in soil. Considering results from different

profiles, we observed greater water storage near the dripper decreasing gradually towards the wetting front. About one third of the applied water (33%) was stored in the first layer (0-0.10 m) for all experiments. Comparing different dripper flow rates, we observed higher water storage for 8 L h⁻¹, with 30, 33 and 34% of applied water accumulating in the first layer (0-0.10m) for dripper flow rates of 2, 4 and 8 L h⁻¹, respectively. The results suggest that based on the volume and frequency used in this experiment, it would be advantageous to apply small amounts of water at more frequent intervals to reduce deep percolation losses of applied water.

KEYWORDS: TDR, water content, wetted soil volume

3 INTRODUÇÃO

Na irrigação por gotejamento a superestimativa da porcentagem de solo molhado poderá reduzir a eficiência do sistema e fertilizantes, enquanto a subestimativa poderá acarretar riscos de estresse à cultura e promover a má distribuição do sistema radicular (Souza & Matsura, 2004). Além disso, é primordial a escolha adequada dos componentes e do layout do sistema para promover a distribuição precisa da água para todas as plantas cultivadas, considerando-se e respeitando fatores econômicos, operacionais e ambientais. Concomitantemente, a variação espacial das propriedades físicas do solo adiciona variações na distribuição da água aplicada pelos gotejadores. Estas variações no volume de solo molhado são um problema à estimativa adequada do número de gotejadores por planta e de sua localização em relação às plantas ou fileiras de plantas (Clothier et al., 1985; Or, 1996); além disso, perdas por percolação reduzem a eficiência do sistema de irrigação. Desta forma, o conhecimento da distribuição da água no solo torna-se de fundamental importância para a agricultura, sobretudo na estimativa de sua variação, na otimização do manejo do solo e da água.

Uma técnica bastante utilizada para suprir a demanda de água e nutrientes pelas culturas é a prática da irrigação, que possibilita a incorporação de áreas previamente consideradas impróprias para o cultivo, pela ocorrência de déficits hídricos. Além de proporcionar o aumento da produtividade, pode contribuir para melhoria da qualidade e se constituir também em fator estabilizador da produção.

A agricultura irrigada moderna busca mais do que simplesmente o aumento de produção de alimento. É necessário que seja sustentada no meio ambiente primando pelo bom manejo da água. Desta forma, surge o principal desafio: implantar esta tecnologia com base em dados econômicos e sem prejuízos ao meio ambiente. O ponto de partida, porém, é fazer uma análise completa e específica das condições da propriedade rural e em seguida escolher, dimensionar e manejar adequadamente o sistema de irrigação.

Dentre os vários sistemas de irrigação, o gotejamento tem sido crescentemente utilizado, sobretudo pela sua maior eficiência no uso da água. A água é aplicada ao solo em pequenas quantidades, embora com alta frequência, diretamente sobre a região radicular, mantendo o conteúdo de água do solo nessa região, próximo à capacidade de campo (Souza & Matsura, 2004). Esta região é conhecida como bulbo molhado, de onde as raízes da planta irrigada absorvem facilmente água e nutrientes.

Comparado com outros métodos de irrigação (Randall & Salvatore, 1988; Assaf et al., 1989; Shrivastava et al., 1994), o gotejamento possui várias vantagens, destacando-se o aumento da produtividade e a conservação da água. Para esta última, Wu & Gitlin (1983) concluem que uma eficiência de aplicação de 90% pode ser facilmente alcançada, cujo cálculo assume que a

variação da vazão entre gotejadores não excede 20%, o qual é um critério conservador de acordo com Solomon & Keller (1978), Randall & Salvatore (1988), Dasberg & Or (1999); e Shrivastava et al. (1994) destacam uma desvantagem não diretamente econômica, que é a falta de conhecimento dos processos que envolvem a distribuição da água no solo.

A estimativa adequada da distribuição e do armazenamento da água dentro do bulbo molhado é de fundamental importância para a determinação do número de gotejadores por planta e da sua localização em relação à planta ou fileira de plantas. A compreensão inadequada desses processos se associa, ao uso incorreto desta técnica, na maioria das vezes devido à utilização de informações empíricas, retiradas da literatura e apresentadas na forma de tabelas e fórmulas (Ould Mohamed El-Hafedh et al., 2001). Para auxiliar a resolução desses problemas, testes em campo são sugeridos para gerar informações capazes de auxiliar na estimativa do dimensionamento do sistema de irrigação por gotejamento. Geralmente, testes de campo são de difícil realização devido ao tempo necessário, trabalho árduo, recursos e cuidados experimentais envolvidos, principalmente por ser recomendada a abertura de trincheiras (Keller & Bliesner, 1990); desta forma, a prática se adianta à investigação científica e com isso surgem os problemas. Infelizmente, este fato tem implicado em prejuízos de produtividade e desestímulo ao uso da técnica do gotejamento, por parte de alguns agricultores.

Deste modo, o conhecimento do processo de distribuição de água no solo, pode ser útil no dimensionamento do projeto e no manejo de irrigação por gotejamento, possibilitando a determinação de critérios de projeto, como área molhada pelo gotejador, dimensões do bulbo molhado, eficiência dos sistemas e posicionamento de sensores de conteúdo de água e do potencial matricial. Sendo assim, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a distribuição da água no perfil do solo com uso de um equipamento de TDR, utilizando-se três diferentes vazões de gotejadores.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Taubaté, localizada no município de Taubaté-SP, (lat. 23° 01' 55,25"; long. 43° 30' 39,74" e altitude de 571m). O tipo de solo da área é classificado como Latossolo vermelho - amarelo segundo a classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 1999) com textura média do tipo areno-argiloso. As características físico-hídricas do solo estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físico-hídricas do solo da área experimental.

Profundidade	CC	PMP	p	Ds	Dp	VIB	Areia	Silte	Argila
(cm)	(m ³ m ⁻³)			(g cm ⁻³)		(mm h ⁻¹)	(%)		
00 - 20	0,34	0,21	0,51	1,30	2,70	13,20	59	13	28
20 - 40	0,33	0,21	0,50	1,35	2,70	9,40	57	13	30
40 - 60	0,32	0,20	0,49	1,39	2,70	9,50	58	13	29

CC = Capacidade de campo; PMP = Ponto de murcha permanente; p = Porosidade; Ds = Densidade do solo;
Dp = Densidade das partículas; TIB = Velocidade de infiltração básica.

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi realizado por 48 sondas de TDR em pequenos intervalos de tempo: antes da aplicação, após a infiltração e a cada ½ hora após a infiltração. A disposição das sondas no solo seguiu a metodologia proposta por Coelho & Arruda (2001) como pode ser observado no esquema da Figura 1.

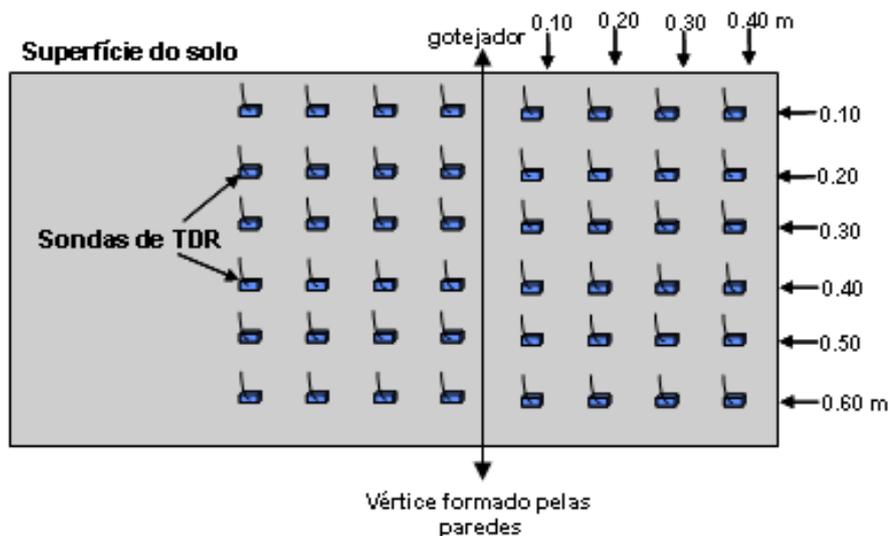


Figura 1. Modelo ilustrativo da disposição das sondas de TDR no volume de solo molhado, no plano.

Um equipamento de TDR (Time Domain Reflectometry, em inglês) foi utilizado para o monitoramento do conteúdo de água em diferentes profundidades no solo, foi usado o TDR 100 (Campbell Scientific, Logan-Utah) equipado com uma interface RS 232, analisando o sinal eletromagnético automaticamente por um coletor de dados (CR1000 – Datalogger – Campbell Scientific). As sondas utilizadas no experimento foram construídas e calibradas seguindo as metodologias propostas por Souza et al. (2006) e Tommaselli & Bacchi. (2001). Para instalação das sondas de monitoramento abriu-se uma trincheira com dimensões de 1,20 m x 0,80 m (largura e profundidade). As sondas de medição foram distribuídas simetricamente em um eixo central da trincheira, a partir do vértice de duas paredes de solo formando um ângulo de 90° entre si, com espaçamento de 0,10 m formando uma malha vertical e horizontal (Figura 2A), promovendo “medidas pontuais” em duas direções a partir do gotejador. A distribuição em vértices visa minimizar a alteração do solo causado pela instalação das sondas. A trincheira foi fechada com o mesmo solo retirado durante a sua abertura (Figura 2B), porém, devido à diferença nas propriedades físicas do solo, e consequentemente, na distribuição de água, ocasionadas durante a movimentação do solo, as leituras só foram realizadas após período de reestruturação da densidade do solo, a qual foi monitorada continuamente durante dois meses. Foram confeccionadas três trincheiras, totalizando três repetições para cada ensaio em posições diferentes.

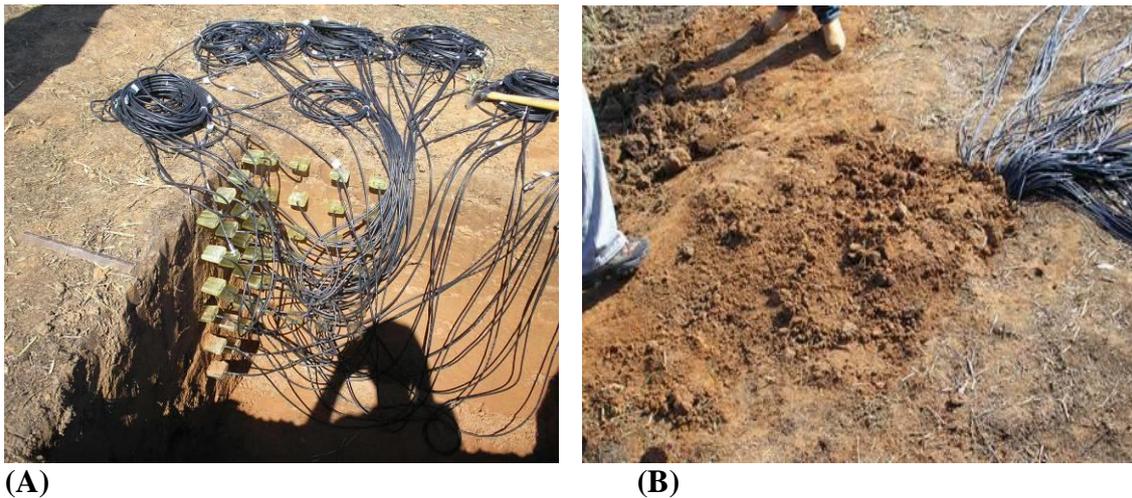


Figura 2. (A) Disposição final das 48 sondas instaladas. (B) Fechamento da trincheira.

As leituras do conteúdo de água no solo em todas as posições foram realizadas de forma contínua acompanhando os ciclos de irrigação, isto é, envolvendo a fase de infiltração e redistribuição, conforme descrito anteriormente. Assim, observou-se a formação do bulbo molhado para as vazões de 2, 4 e 8 L.h⁻¹, aplicando-se os volumes de um litro de água durante 10 aplicações em intervalos de 1 hora, com 3 repetições para cada vazão utilizada. Um sistema com frasco de Mariote foi utilizado para manter a pressão no gotejador constante.

O monitoramento do ensaio foi facilitado devido à automação das sondas de TDR por meio de um multiplexador, o qual possibilitou medições em pequenos intervalos de tempo (dois segundos para cada sonda).

As Figuras 3A e B mostram, respectivamente, o local do ensaio no campo e a formação da frente de umedecimento durante a aplicação de água no solo.

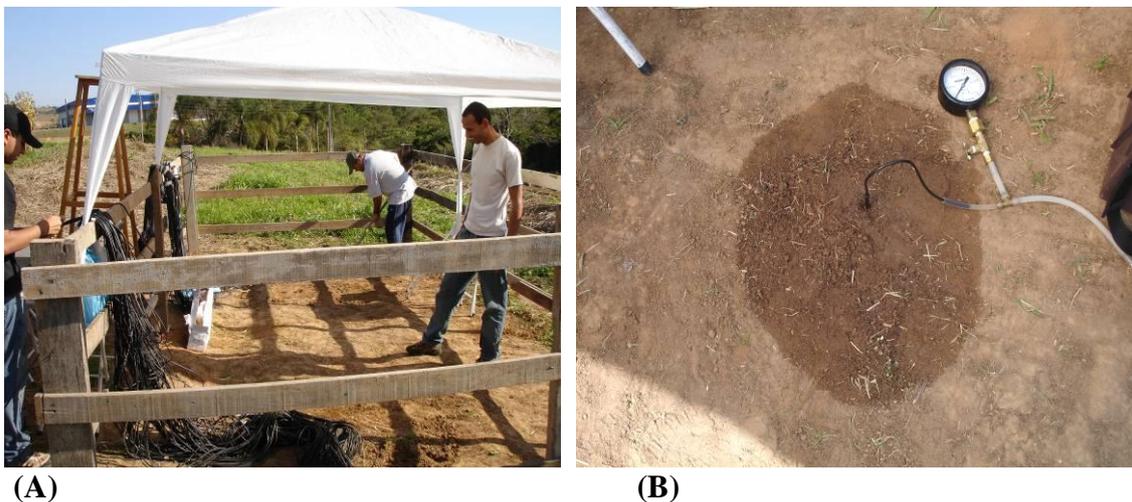


Figura 3. (A) Local do ensaio em campo. (B) Formação da frente de umedecimento

A partir dos resultados do conteúdo de água, e com o auxílio de um programa de mapeamento superficial em 3D “Surfer”, analisou-se o perfil de distribuição do conteúdo de água no solo, durante todo o ensaio, proporcionando informações básicas sobre a formação do bulbo molhado.

Visando esclarecer a influência de alguns fatores no armazenamento da água no solo, assumiu-se um volume central dentro do bulbo molhado para efetuar uma análise de uniformidade comparativa, com o propósito de entender as diferenças entre os valores do conteúdo de água no solo individuais estimadas dentro do volume de controle.

Os resultados da distribuição da água no solo permitiram identificar informações referentes aos efeitos da relação água-solo durante a formação do bulbo molhado, que podem auxiliar no dimensionamento e manejo da irrigação por gotejamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por tratar-se a técnica da TDR de um método indireto para estimar o conteúdo volumétrico de água no solo (θ) utilizou-se uma equação de calibração para conversão da constante dielétrica aparente (K_a); sendo assim utilizou-se a seguinte equação:

$$\theta = 9E - 05Ka^3 - 0,038Ka^2 + 0,0577Ka - 0,0484 \quad (1)$$

proposta por Almeida et al. (2007) para o mesmo solo e local de estudo.

Tendo-se como base os resultados experimentais do conteúdo de água no solo obtidos com o TDR, observou-se que nas primeiras aplicações o conteúdo de água no perfil estudado tem baixa variabilidade. Acredita-se que este efeito tenha ocorrido devido a possíveis imperfeições na compactação do solo e pela água presente no seu perfil, a qual provavelmente encontrava-se desuniformemente distribuída entre as camadas. No entanto, com a continuidade das aplicações, foi possível observar o aumento gradativo do conteúdo de água enquanto à frente de molhamento evoluía.

Têm-se, na Figura 4, os perfis do conteúdo de água no solo para a vazão de 2 L.h⁻¹, em 10 aplicações a cada uma hora. Observou-se uma maior evolução da percolação no sentido vertical, 46 % em média.

Os perfis do conteúdo de água no solo para a vazão de 4 L.h⁻¹, se comparados à vazão de 2 L.h⁻¹, apresentaram uma mobilidade vertical evoluindo em menor proporção e a horizontal praticamente equivalendo na amplitude total (Figura 5). Observa-se ainda que a distribuição da água no solo obteve um gradiente maior, uma vez que verificou-se maior volume de água próximo à superfície e, conseqüentemente, ao gotejador.

Os perfis do conteúdo de água no solo para a vazão de 8 L.h⁻¹, visualizados na Figura 6, apresentam uma evolução do bulbo molhado na direção horizontal, contudo, na direção vertical, observa-se uma estabilização alcançada pela frente de molhamento.

Alguns problemas foram observados no ensaio: constatação de diferentes conteúdos de água iniciais nas camadas do solo e a deformidade na formação do disco saturado (poça d'água que permanece sobre o solo durante o processo de infiltração), bem como no avanço da frente de umedecimento na superfície do solo. Isto pode ser explicado devido à pequena inclinação do terreno escolhido para instalação do experimento e às condições estruturais do solo durante a realização do ensaio.

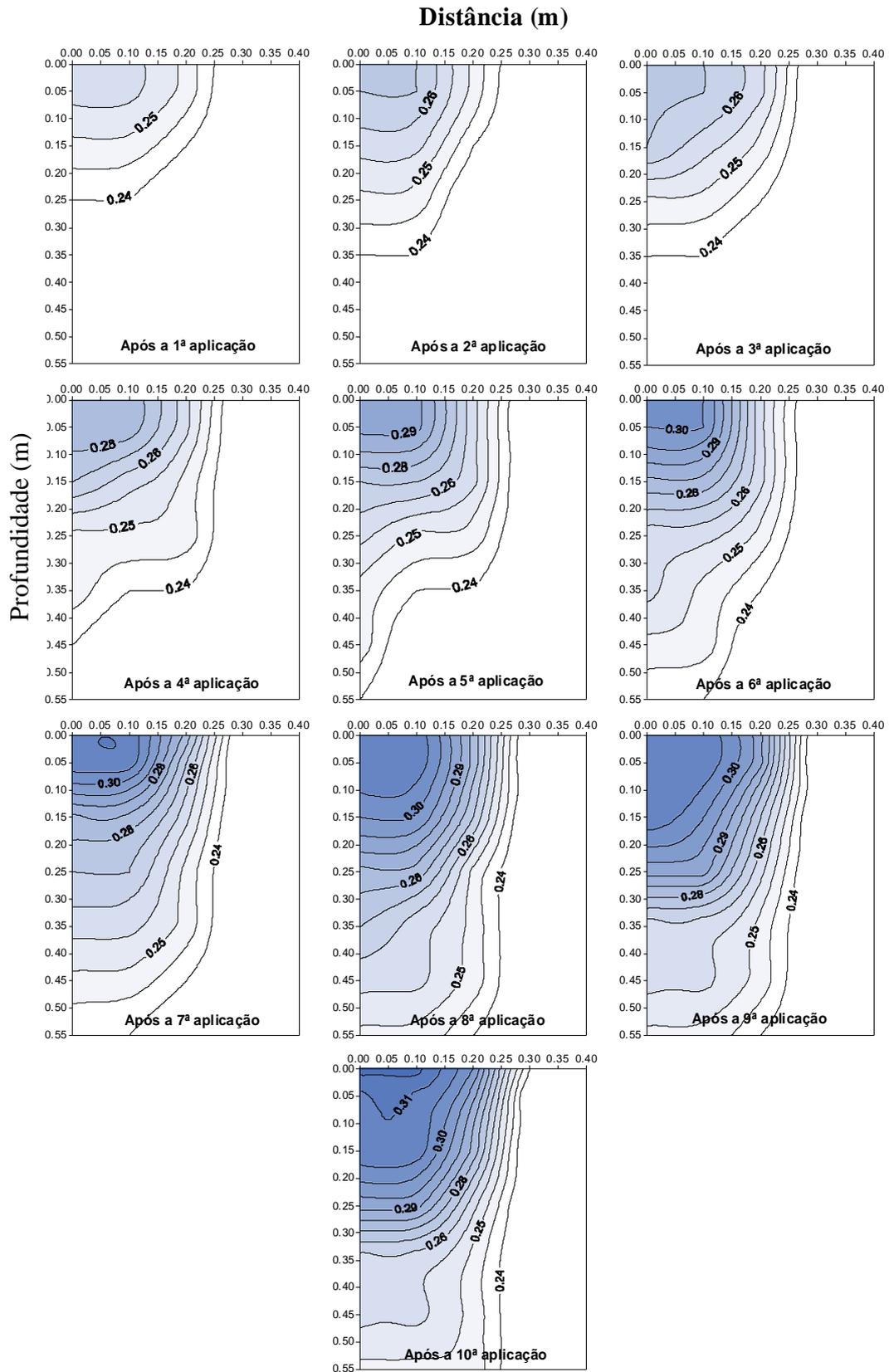


Figura 4. Perfis do conteúdo de água no solo ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) ao final do processo de infiltração de cada aplicação para vazão de $2 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$.

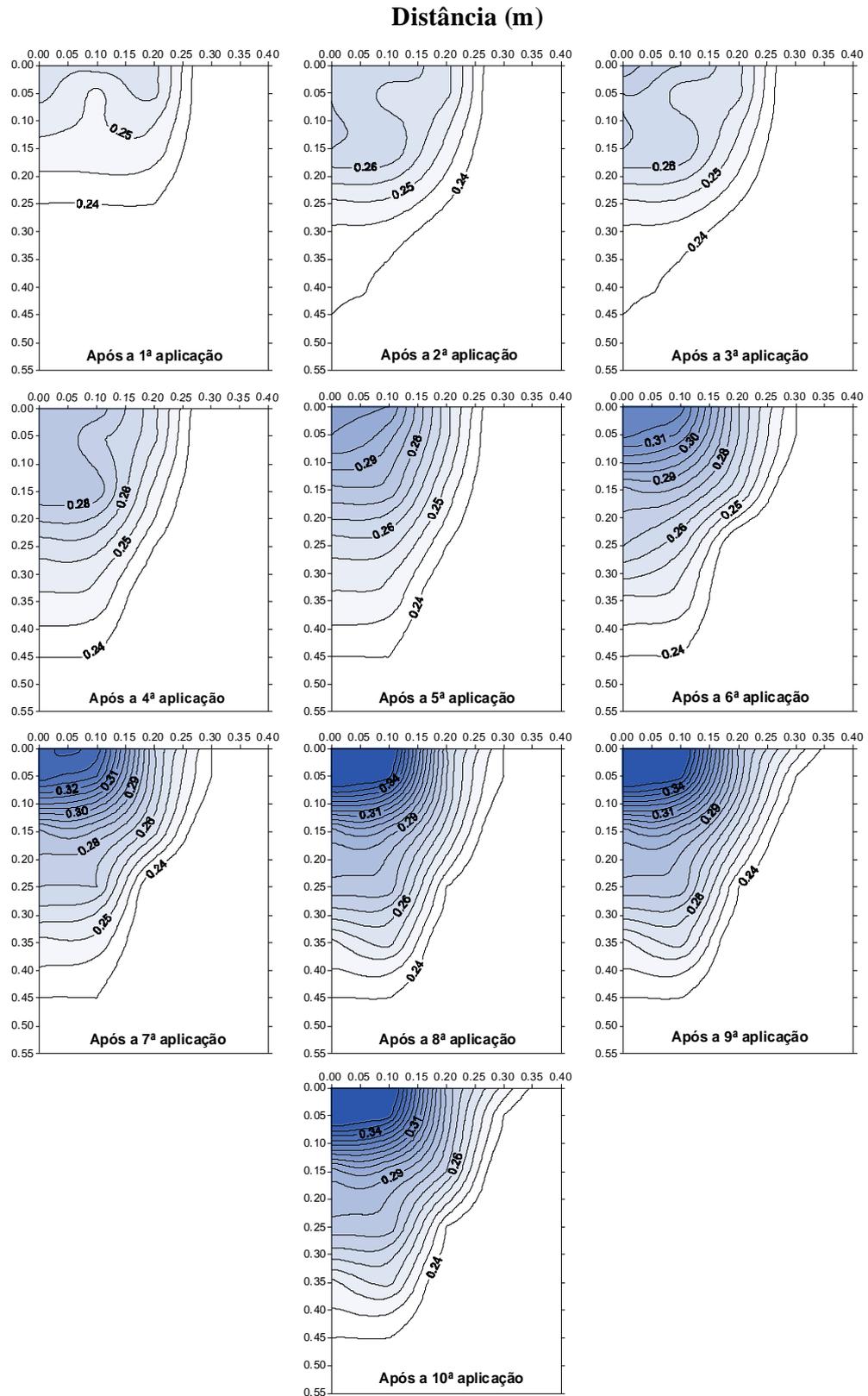


Figura 6. Perfis do conteúdo de água no solo (m³.m⁻³) ao final do processo de infiltração de cada aplicação para vazão de 8 L.h⁻¹.

5.1 Distribuição e armazenamento da água no solo

Na vazão de 2 L.h⁻¹ (Figura 4), o maior armazenamento da água ocorreu na camada de 0-0,10 m durante todas as aplicações, finalizando com um conteúdo de água médio de 0,30 m³.m⁻³ nesta faixa. Monitorou-se o movimento do conteúdo de água na 3ª camada (0,30-0,40 m) atingida após a 2ª aplicação. Após a 4ª aplicação de água a 5ª camada (0,40-0,50 m) e, após a 5ª aplicação atingiu a 6ª e última camada (0,50-0,55). Percebe-se que a partir da 6ª aplicação à frente de molhamento ultrapassou a última linha de sondas instaladas, o que interferiu na caracterização do bulbo molhado a partir deste ponto.

Em relação à vazão de 4 L.h⁻¹ (Figura 5), também nota-se um maior armazenamento da água na camada de 0-0,10 m, perfazendo um conteúdo de água médio final de 0,33 m³.m⁻³ nesta primeira faixa. Na segunda aplicação à frente de molhamento atinge a 3ª camada (0,20-0,30 m). Somente após a 6ª aplicação, observa-se o movimento da água até a 4ª camada (0,30-0,40 m) e, após a 8ª aplicação, atingiu-se a profundidade final do bulbo molhado. Vê-se neste caso, que a maior parcela de água ficou retida nas duas primeiras camadas do perfil de solo.

Na vazão de 8 L.h⁻¹ (Figura 6), verificou-se um conteúdo de água final médio de 0,34 m³.m⁻³ na faixa de maior armazenamento de água (0-0,10 m). Porém, após a 2ª aplicação, nota-se que o comprimento vertical máximo do bulbo molhado foi alcançado, permanecendo estático a 0,45 m de profundidade. A partir desta mesma aplicação observa-se um aumento gradativo da área superficial molhada, que ao final de todo processo alcança 0,7 m de diâmetro, e do conteúdo de água na área mais próxima ao gotejador, na qual a maior parcela da água ficou retida.

Segundo Favaro (2005), resultados em condições de laboratório demonstraram haver uma relação entre o armazenamento da água dentro do bulbo molhado no qual, aumentando-se o volume aplicado, o armazenamento da água foi direcionado para a camada mais profunda do perfil do solo.

Neste ensaio, realizado em condições de campo, a água aplicada também foi direcionada para camadas mais profundas, aumentando-se o volume de água no solo. Porém, constatou-se haver uma relação proporcional entre uma maior vazão de aplicação com um bulbo molhado de menor profundidade, mas com maior amplitude horizontal, gradiente de distribuição da água e área superficial molhada.

5.2 Uniformidade de distribuição da água no solo

Com o propósito de entender as diferenças entre os valores do conteúdo volumétrico médio de água individual estimada dentro de um volume de controle, assumiu-se um volume de solo central no bulbo molhado para efetuar uma análise de uniformidade de distribuição comparativa. O volume de controle escolhido foi de 0,30 x 0,30 x 0,40 m, respectivamente, comprimento, largura e profundidade, no qual o gotejador foi posicionado no ponto central. Desta forma, foi possível calcular os coeficientes de uniformidade de Christiansen (1941) para o teor de água estimado após cada aplicação, nas vazões de 2, 4 e 8 L.h⁻¹, por meio da equação abaixo, seguindo-se a metodologia adaptada por Ould Mohamed El-Hafedh et al. (2001) e Wu & Gitlin (1983).

$$CUC = 100 \left[\frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{\bar{X}.N} \right] \quad (2)$$

onde,

CUC = Coeficiente de uniformidade de distribuição de Christiansen (%);

X_i = Conteúdo volumétrico de água estimado ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);

\bar{X} = Conteúdo volumétrico de água médio ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$);

N = Número de pontos estimados.

Este critério reflete à heterogeneidade do solo parcial molhado em regiões próxima do gotejador. Em cultura intensiva, o conteúdo de água dos solos pode atingir mais de 80% de uniformidade de distribuição da água do solo (Keller e Karmeli, 1975). Ould Mohamed El-Hafedh et al. (2001) observa que um coeficiente de uniformidade de 90% indica uma ótima distribuição da água dentro do bulbo molhado.

A Figura 7 apresenta uma avaliação do conteúdo volumétrico médio de água no volume de controle adotado, ajudando entender alguns problemas relacionados à uniformidade de distribuição da água no solo.

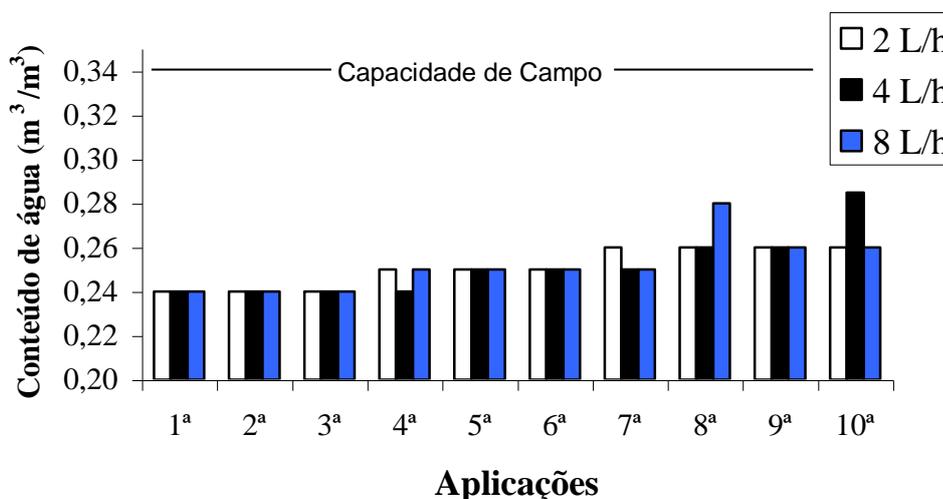


Figura 7. Conteúdo volumétrico médio de água no volume de controle.

Verificou-se que a capacidade de campo do solo ($0,34 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$) não foi atingida em nenhum momento no decorrer das aplicações da água sob as diferentes vazões adotadas ($2, 4 \text{ e } 8 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$), porém, os conteúdos volumétricos médios de água tiveram um aumento com o volume de água aplicado no solo. Contudo, através dos dados observados, pode-se dizer que não houve uma estabilização do conteúdo de água médio, demonstrando que a distribuição da água foi dependente do volume aplicado.

Na Figura 8 têm-se os valores da uniformidade de distribuição da água no solo, após cada aplicação de água sob as vazões utilizadas, fornecendo algumas informações para se entender os fatores prejudiciais à eficiência do sistema como um todo.

Fazendo-se uma análise comparativa entre as vazões adotadas, nota-se que na vazão de $2 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$, os valores do coeficiente de uniformidade mostraram-se melhores após a 4ª aplicação, 6% em média. Talvez este fenômeno possa ter uma relação com a acentuada mobilidade vertical alcançada pela água, e com o menor gradiente de distribuição da água constatado para a situação.

No geral, observa-se nas três situações de vazão que o maior coeficiente de uniformidade de distribuição (CUC) ocorre após a 1ª aplicação. A partir daí percebe-se um decréscimo gradativo do CUC, situação esta, persistente até a 10ª e última aplicação da água. Por outro lado, os resultados mostram ocorrer uma boa distribuição do conteúdo de água no solo, uma vez que a disponibilidade da água de forma homogênea na região do sistema radicular da cultura é estimada para coeficientes de uniformidade superiores a 80%.

Pelo exposto pode-se afirmar, para este ensaio, que o efeito de aplicações sucessivas de volumes de água não teve importância para a melhoria do CUC. Entretanto, o aumento do volume aplicado demonstrou agir diretamente no movimento da água para as camadas inferiores do solo, fortalecendo a importância de se conhecer a distribuição da água no solo, através de diferentes combinações de vazões de gotejadores. Assim, a água aplicada poderá ser mais uniformemente distribuída no solo, pois aumentando-se o CUC dos valores observados acima, conseqüentemente, a água será distribuída homogênea para o sistema radicular da planta, reduzindo a perda pelo processo de percolação.

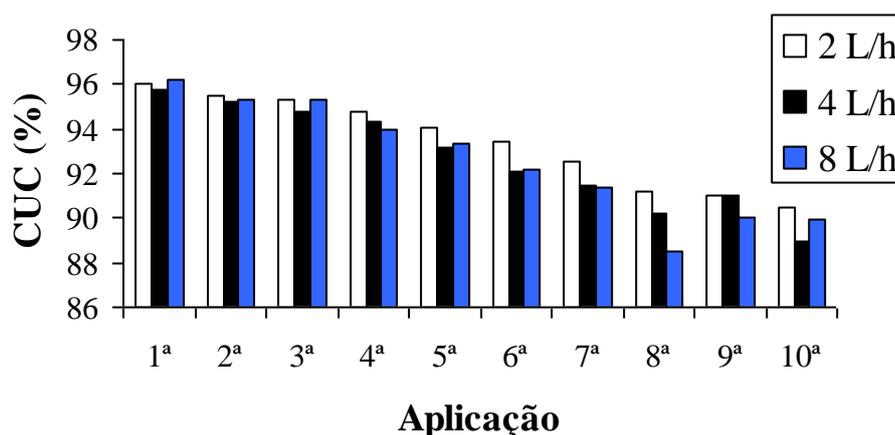


Figura 8. Coeficiente de uniformidade de distribuição da água no solo.

6 CONCLUSÕES

As seguintes conclusões podem ser retiradas dos resultados: (1) Com a devida calibração, a TDR e a metodologia aqui apresentadas são muito promissoras no estudo da dinâmica do conteúdo de água no solo. (2) Para as condições de solo e de acordo com o volume e a frequência utilizada durante este experimento, deve-se aplicar pequenas quantidades de água em intervalos mais frequentes para reduzir a perda por percolação. (3) Houve um maior armazenamento do conteúdo de água próximo ao gotejador e, logo, uma diminuição desta à medida que se aproxima da frente de molhamento.

7 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo suporte financeiro.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, B.P.; CAVALCA, M.; SOUZA, C.F. Calibração da técnica de TDR para estimativa da umidade do solo. In: XII Mostra de Iniciação Científica, 2007, Taubaté. **Anais...** Taubaté: Universidade de Taubaté, 2007. [CD-ROM]

ASSAF, R.; LEVIN, I.; BRAVDO, B. A. Optimization of water for fruit trees by a computerized irrigation system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 9, p. 451-456, 1989.

COELHO, E. F.; ARRUDA, F. B. Aplicações da técnica de TDR: manejo de água no solo. In: MATSURA, E.E.; et al. (Eds.). **Aplicações da técnica da TDR na Agricultura**. Campinas: Unicamp/Feagri, 2001. cap. 7, p. 129-145.

CHRISTIANSEN, J. E. The uniformity of application of water by sprinkler systems. **Agricultural Engineering**; St. Joseph, v. 22, p. 89-92, 1941.

CLOTHIER, B. E.; SCOTTER, D. R.; HARPER, E. R. Three-dimensional infiltration and trickle irrigation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, p. 497-501, 1985.

DASBERG, S.; OR, D. **Drip Irrigation**. Berlim: Springer, 1999, 152p

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 212 p.

FAVARO, R. B. T. **Estudo da metodologia de TDR para avaliar os impactos causados pelo nitrato aplicados via fertirrigação**. 2005. 51 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade de Taubaté, Taubaté, 2005.

KELLER, J.; BLIESLER, R. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

OULD MOHAMED EL-HAFEDH, A. V.; DAGHARI, H.;MAALEJ, M. Analysis of several discharge rate-spacing-duration combinations in drip irrigation system. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 52, p. 33-52, 2001.

OR, D. Drip irrigation in heterogeneous soils: study-state field experiments for stochastic model evolution. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 1339-1349, 1996.

RANDALL, H. C.; SALVATORE, J. L. Root growth and water status of trickle-irrigated cucumber and tomato. **Journal of the American Society Horticultural Science**, Mount Vermon, v. 113, p. 830-835, 1988.

SHRIVASTAVA, P. K.; PARIKH, M. M; SAWANI, N. G.; RAMAN, S. Effect of drip irrigation and mulching on tomato yield. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 25, p. 179-184, 1994.

SOLOMON, K.; KELLER, J. Trickle irrigation uniformity and efficiency. **Jornal of Irrigation Drainage. Eng. ASCE**, New York, v. 104, p. 293-306, 1978.

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**, Campina Grande, v. 8, 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 da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, Botucatu, v.11, 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**, Brasília, v. 36, p. 1145-1154, 2001.

WU, I. P.; GITLIN, H. M. Drip irrigation application efficiency and schedules. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, p. 92-99, 1983.