

Acurácia de dois TDR na determinação do conteúdo de água de um argissolo

Genival Barros Júnior¹, Mário Luiz Farias Cavalcanti², Rogério Dantas de Lacerda², Hugo Orlando Carvalho Guerra⁴

RESUMO

Neste trabalho avaliou-se o método TDR no monitoramento do conteúdo de água de um argissolo utilizando um equipamento de hastes paralelas monitorando uma faixa no perfil do solo e outro monitorando contínua e simultaneamente profundidades diferentes através de uma haste segmentada. Conduzido na UFCG de Agosto a Setembro de 2003, o solo utilizado foi depositado numa trincheira de 0,8 x 0,8 x 1,0 m em ambiente protegido, originado de uma camada superficial de um solo proveniente de Lagoa Seca – PB. O monitoramento do conteúdo de água no solo foi realizado simultaneamente através da gravimetria; TDR (TDR TRIME – FM / haste paralela e HH2 / haste segmentada) e da tensiometria. O distanciamento entre as leituras obtidas pela gravimetria e pela tensiometria dos conteúdos de água determinados pelo TDR TRIME – FM indica inadequabilidade no desempenho deste equipamento, indicando que as equações padrões utilizadas neste aparelho não se adéquam para qualquer tipo de solo, necessitando de calibrações locais, ocorrendo o inverso para o TDR HH2 que apresentou-se eficaz no monitoramento, distanciando-se apenas 0,3%, em média, do conteúdo de água volumétrico obtido pela gravimetria e 0,19% da umidade volumétrica obtida pelos tensiômetros, sem necessidade previa de calibração para o solo investigado.

Palavras chaves: manejo de água; agricultura de precisão; propriedade dielétrica; ondas eletromagnéticas.

Accuracy of two TDR probes in determining the soil water content

ABSTRACT

It was evaluated the TDR method for monitoring the water content of a eutrophic soil using two TDR equipments one with parallel rods and another with a segmented rod. The study was conducted at the Federal University of Campina Grande on a soil deposited in a 0.8 x 0.8 x 1.0 m trench in a semi-protected environment. The determination of the soil water content was conducted simultaneously gravimetrically, by the use of tensiometers and using a TRIME-FM TDR parallel rods and a Moisture Meter HH2 segmented probe. The soil water content determined by gravimetry, tensiometers and by the HH2 Moisture meter was practically equal, however the soil water content determined by the TDR TRIME – FM was different. The inadequacy of the parallel rods TDR TRIME –FM, fact demonstrated comparing the regression equations of the equipments, indicates that such equipment, is not suitable for this soil requiring local calibrations. The TDR HH2 showed to be effective in monitoring the soil water content, with 0.3% difference from the mean volumetric water content obtained gravimetrically and with tensiometers, not needing calibration.

Keywords: soil water, gravimetry, tensiometry, dielectric constant.

1. INTRODUÇÃO

Monitorar com precisão o conteúdo de água no solo, principalmente em áreas do semiárido, constitui-se numa ação de extrema importância para a sustentabilidade da atividade agrícola. O método ideal para esta quantificação deve envolver uma propriedade física do solo ou uma característica altamente correlacionada ao seu teor de água, que permita uma determinação sem alterações das características físicas originais do mesmo (SILVA; GERVÁSIO, 1999).

Por outro lado, acentuam-se os estudos em busca de diferentes critérios na determinação da disponibilidade da água do solo para as plantas e do momento e duração de ocorrências de déficit hídricos nas mais variadas regiões e suas implicações no crescimento e desenvolvimento de várias culturas (SANTOS; CARLESSO, 1999).

Para Withers e Vipond (1988) o solo acumula uma quantidade limitada de água, da qual só parte é disponível às plantas, o que determina a necessidade de irrigá-lo antes que esta fração seja totalmente consumida. Para ambos, o grande desafio encontra-se na determinação precisa do conteúdo de água disponível em tempo real no interior do mesmo e a velocidade de sua remoção, o que por sua vez irá determinar o volume de água a ser aplicado, impedindo que o limite inferior da capacidade de retenção de água na zona das raízes seja alcançado, com conseqüentes reduções no potencial produtivo das culturas.

Este aspecto é ressaltado por Righes et al. (2003), que enfatizam a necessidade de determinação do conteúdo da água no solo como ferramenta indispensável na otimização do uso dos recursos hídricos, principalmente por considerar que a agricultura é responsável pelo consumo de aproximadamente 69% da disponibilidade mundial de água.

Os métodos avançados de determinação do conteúdo de água do solo, por serem precisos oportunos e de fácil execução, contribuem decisivamente nos avanços em busca da otimização do manejo da água, seja em áreas secas ou irrigadas (COELHO et al., 2001); dentre estas técnicas, tem ganhado enorme interesse a Reflectometria no Domínio do Tempo (Time Domain Reflectometry - TDR), que foi utilizada inicialmente por volta de 1950 na localização da posição de quebras em cabos de linhas de transmissão e fios telefônicos subterrâneos (RIGHES et al., 2003), por ser dotada de uma boa precisão, não destruir a estrutura física do solo e permitir a realização de múltiplas leituras, bem como um número infinito de repetições (COELHO et al., 2001).

O TDR baseia-se no mesmo princípio do radar e leva em conta a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética de alta frequência (> 50 MHz) ao longo de hastes de metal, paralelas, introduzidas no solo (RIGHES et al., 2003); o princípio comum entre estas duas técnicas consiste na observação das reflexões obtidas quando propagamos ondas em meios que apresentam descontinuidades, com a diferença que, enquanto no radar se emite um

sinal elétrico para a atmosfera, no TDR o sinal é emitido numa linha de transmissão ou guia de onda. O intervalo de tempo entre a entrada da onda no solo e a reflexão do sinal depois de alcançado o final das hastes, possibilita a determinação do conteúdo de água (RODRIGUES et al., 2001).

Considerando que a constante dielétrica é uma característica altamente correlacionada com o teor de água torna-se possível estabelecer uma relação entre ambas de forma que se possa a partir de uma determinar-se a outra; os circuitos eletrônicos encapsulados no dispositivo de leitura nas duas sondas geram o sinal aplicado e mensuram o sinal de retorno. Essa informação é utilizada para a determinação do conteúdo médio de água do solo até a profundidade dos terminais.

Os sinais de alta frequência são transformados em ondas, com frequência proporcional ao conteúdo desta água presente no solo. A voltagem dessa onda representa uma mensuração do conteúdo de água do solo; enquanto a velocidade do pulso aplicado ao longo de uma haste-guia é dependente da constante dielétrica do material que a cerca, a amplitude da voltagem refletida é dependente do sinal elétrico aplicado às hastes da sonda (LEITE, 2003).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do método TDR no monitoramento do conteúdo de água de um solo argiloso, utilizando equipamentos com sensores de modelo distintos, sendo um capaz de realizar um monitoramento contínuo e simultâneo da

água do solo em profundidades diferentes através de uma haste segmentada e um outro que utiliza duas hastes finas e paralelas permitindo o monitoramento do conteúdo de água apenas em uma faixa de instalação escolhida no perfil do solo e no intervalo médio da dimensão de seu comprimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido num ambiente protegido (casa de vegetação), com uma área total de 600 m², pé direito de 3m, altura no vão central de 4m, coberto com plástico transparente de 0,5 mm de espessura, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, Campus I, no período de Agosto a Setembro de 2003.

O solo utilizado nos estudos para aferição e calibração dos TDR, o qual foi depositado numa trincheira aberta na casa de vegetação, originou-se de uma camada superficial (0 - 30 cm) de um ARGISSOLO de textura argilosa com A moderado, proveniente do Município de Lagoa Seca - PB, cujas características físicas constam no Quadro 01 conforme análises realizadas pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da UFCG, seguindo a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Quadro 01 – Características físicas do solo utilizado no ensaio

Areia	Silte	Argila	Porosidade Total	Densidade		Classificação textural
				Global	Partículas	
%						
43,53	15,56	40,91	44,57	1,48	2,67	Argilo arenoso

A curva de retenção de água para este solo foi construída a partir de determinações realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da UFCG, através do extrator de Richards, obtendo-se o conteúdo volumétrico θ_v ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$) com relação às tensões pré-estabelecidas em kPa, para 10; 33; 100; 300; 500; 1000; 1200 e 1500; em seguida, a curva em evidência foi construída e ajustada de acordo com a metodologia proposta por van Genuchten (LIBARDI, 2000). De posse dos parâmetros α , m , n e dos valores de θ_s e θ_r gerados pelo modelo, foi possível determinar o conteúdo de água do solo (θ_v em volume) em função do potencial matricial ($|\Psi_m|$) com base na equação (1).

$$\theta_v = \frac{\theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[1 + \left(\frac{|\Psi_m|}{\alpha} \right)^n \right]^{-m}}{1 + \left(\frac{|\Psi_m|}{\alpha} \right)^n}$$

Equação (1)

Em que: θ_r = umidade volumétrica residual; θ_s = umidade de saturação; α ; m ; n = constantes empíricas e Ψ_m = potencial mátrico.

Adotou-se uma metodologia similar aquela do perfil instantâneo, utilizada na determinação da condutividade capilar (MELO FILHO, 2002). Desta forma, uma trincheira com dimensões de 0,8 x 0,8 x 1,0 m foi aberta no interior da casa de vegetação, e, em seguida, preenchida com o solo previamente peneirado

através de uma peneira de 2,0 mm garantindo-se homogeneidade ao longo de todo o perfil estudado, com o solo sendo distribuído camada por camada. Em seguida foram instalados os equipamentos destinados ao monitoramento do conteúdo de água no solo realizado através dos seguintes métodos: a) Gravimetria; b) TDR TRIME – FM - Versão P2 de haste paralela; c) TDR HH2 - Delta T de hastes segmentadas e d) Tensiometria.

Descrição dos equipamentos e operacionalização das leituras

a) Gravimetria

Utilizou-se a seguinte instrumentação na coleta, transporte e processamento das amostras de solo para determinação do conteúdo de água a partir do método padrão de gravimetria: trado com amostrador tipo Uhland para coleta das amostras nas diversas profundidades no interior da trincheira; latas de alumínio, numeradas nas tampas e respectivos recipientes, utilizadas para transporte e secagem das amostras; estufa de fabricação nacional da marca FANEM, regulada para 105° C para secagem das amostras; dessecador de vidro da marca PYREX, contendo uma placa de porcelana vazada sobre pedras de sílica gel, de forma a permitir a absorção da umidade do meio ambiente antes da

pesagem e balança de precisão da marca GEHAKA, modelo BG 2000, com capacidade máxima de pesagem de 2,0 kg, mínima de 0,01g e precisão de dois decimais.

As amostras do solo foram extraídas com o amostrador Uhland nas profundidades de 05, 15, 25 e 35 cm, sendo que, em virtude da destruição causada ao perfil pela retirada das mesmas, as coletas por profundidade foram realizadas em épocas diferentes, de forma a preservar o máximo possível a camada de solo próxima as sondas dos TDR.

b) TDR TRIME – FM – Versão P2

Equipamento fabricado pela empresa alemã IMKO – Micromodultechnik – GMBH, calibrado para solos minerais a partir da equação universal de Topp et al. (1980), determinando o conteúdo de água do solo em função da sua constante dielétrica.

A versão P2 aqui utilizada, com dimensões de 21 x 09 x 06 cm e pesando 875 g, permite a realização de leituras instantâneas do conteúdo de água do solo a cada 10 segundos, apresentando acuidade de 0,3% em volume. Sua conexão com a sonda de 02 hastes paralelas, com comprimento de 10 cm, ocorre através de um cabo coaxial e apresenta autonomia para realização de até 300 leituras, com o sistema sendo re-alimentado através de uma fonte de alimentação elétrica que recarrega a bateria embutida no próprio aparelho.

As hastes paralelas do TDR – TRIME FM foram colocadas nos intervalos de

profundidades: 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 e 30 – 40 cm.

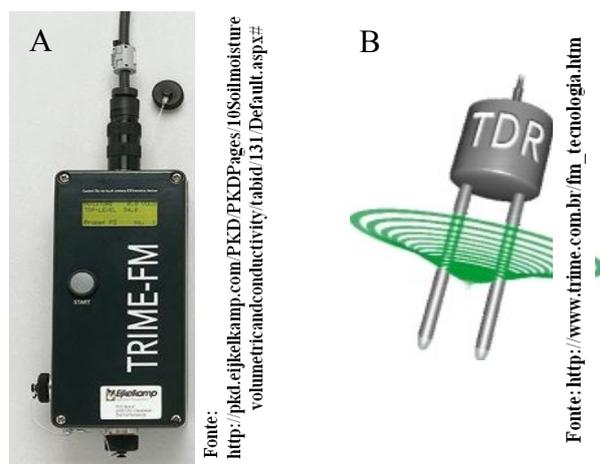


Ilustração 1: A - Modelo de Trime – FM.

B - Esquemática da sonda com duas hastes paralelas

c) TDR HH2 – DELTA T

Fabricado pela Delta-T Devices Ltda, com sede em Cambridge na Inglaterra, traz embutido em seu sistema eletrônico uma calibração para solos tanto minerais quanto orgânicos, porém com um sistema de entrada de dados, a partir do teclado e do visor digital existentes no corpo do próprio aparelho, que permite introduzir informações inerentes as características do solo que se está investigando.

O modelo HH2 utilizado neste experimento apresenta dimensões de 1,5 x 8,0 x 4,0 cm, peso de 450 g, com um sensor capaz de realizar leituras instantâneas do conteúdo de água do solo em aproximadamente 05 segundos com acuidade de 0,1% em volume.

Utiliza uma sonda do tipo haste segmentada, modelo PR1 / 6, conectada ao monitor através de um cabo coaxial, que permite o monitoramento simultâneo do conteúdo de água em 06 profundidades

diferentes: 10, 20, 30, 40, 60 e 100 cm ao mesmo tempo; a instalação destas sondas no solo se deu através de tubos de acesso de fibra de vidro, previamente instalados no perfil do solo a ser monitorado. Todo o sistema é alimentado por uma bateria alcalina de 9 v com autonomia para 4500 leituras. As leituras com a sonda segmentada PR 1/6 do HH2 da Delta T foram realizadas nas mesmas profundidades onde foram instaladas as hastes paralelas do TRIME – FM.

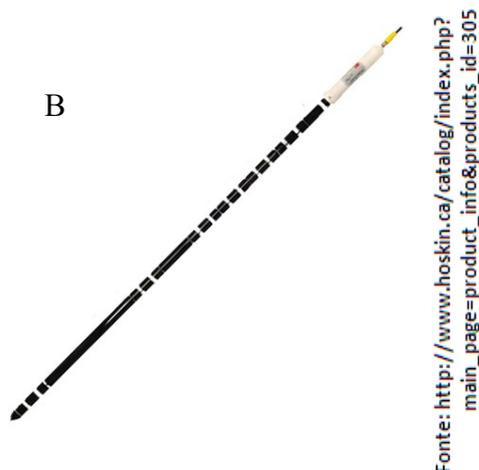


Ilustração 2: A – Monitor do TDR Modelo HH2.

B – sonda segmentada.

d) Tensiômetros

Os tensiômetros utilizados possuíam manômetros de mercúrio (Hg) e foram fabricados pela SOIL MOISTURE EQUIP. CORP, empresa americana com sede em Santa Bárbara – Califórnia, sendo instalados a 10, 20 e 50 cm de profundidade, distanciados 10 cm das hastes do TDR.

Após a instalação destes equipamentos o perfil foi saturado, suspendendo-se o fornecimento de água quando o potencial matricial do solo no tensiômetro instalado a 50 cm atingiu o valor de zero, indicando que o ponto de saturação nesta profundidade foi alcançado.

Posteriormente, passou-se a realizar leituras diárias sempre às 16:00 horas, com o intuito de minimizar possíveis erros pelo efeito da variação da temperatura, determinando-se o conteúdo de água presente em cada camada do solo utilizando-se os dois TDR, a bateria de tensiômetros e as amostras de solo coletadas para determinação pelo método gravimétrico.

As leituras foram suspensas no momento em que o tensiômetro localizado a 10 cm de profundidade deixou de funcionar, com o rompimento da coluna de água no interior do tubo de vidro, 60 dias após a saturação do perfil.

A média dos resultados obtidos com os tensiômetros instalados nas duas primeiras profundidades (10 e 20 cm) foram transformados em potenciais mátricos e posteriormente em conteúdos de água ($m^3.m^{-3}$), utilizando-se a curva de retenção de água do solo e uma planilha informatizada do programa

Excel. Em seguida, multiplicou-se estes dados por 100 para obtenção dos valores em percentagem de volume com base na fórmula descrita em Guerra (2000) onde o conteúdo de água volumétrico do solo é dado por: $U_v = \text{Volume da água (Va)} / \text{Volume do solo (Vt)} \times 100$. Este mesmo princípio foi utilizado para os resultados obtidos com as amostras de solo na gravimetria.

Por fim, tanto os resultados obtidos a partir dos tensiômetros, como da gravimetria e das sondas dos TDR (emitidos% de volume), foram armazenados em um bancos de dados para em seguida serem plotados de forma simultânea, também em planilhas do Excel, possibilitando assim a comparação dos mesmos para cada um dos métodos utilizados, bem como a confecção de curvas e respectivas equações de regressão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) Comportamento do TDR TRIME – FM quando comparado com o método gravimétrico

A variação do conteúdo de água do solo determinado através do TDR -TRIME FM e o método gravimétrico entre os dias 12 de setembro a 13 de novembro de 2003, pode ser observada na Figura 01, bem como as regressões que comparam os resultados obtidos entre os métodos utilizados nos quatro intervalos de profundidades. No caso do intervalo de solo de 0 – 10 cm (Figura 1A) nota-

se uma considerável discrepância entre os resultados, uma vez que, enquanto o conteúdo médio de água determinado pelo TDR para esta camada ficou em torno de 22% em volume, a análise gravimétrica realizada a 5 cm de profundidade apresentou um conteúdo médio em torno de 6,5%, também em volume; esta diferença pode ser explicada pelo fato de que para esta profundidade do perfil, com a proximidade da superfície do solo, a influência da temperatura passa a ser bastante considerável (REICHARDT; TIMM, 2004).

Segundo Zegelin et al. (apud JOAQUIM JÚNIOR, 2003), em situações onde podem ocorrer grandes flutuações de temperatura, a influência da mesma na constante dielétrica da água livre deverá ser sempre considerada; ainda segundo estes autores numa superfície do solo, onde a temperatura pode chegar próximo aos 50,00° C, a correção da constante dielétrica da água para mais se aproxima dos 11%; além do que, a variação espacial do conteúdo de água nesta faixa do perfil se dar de forma extremamente dinâmica, e por sua vez depende de uma série de fatores ligados aos agentes atmosféricos e/ou aos componentes e características do próprio solo (textura, estrutura, declividade, depressões, etc.); aliado a estes fatores, o TDR proporciona a medição do conteúdo de água ao longo de todo o intervalo medido, ou seja, disponibiliza o conteúdo de água médio para os 10 cm da camada de solo, enquanto que a coleta de amostras para determinação do conteúdo de água pela gravimetria ocorre de forma pontual e alternada,

face a preocupação de não destruir a estrutura do solo próximo as sondas do TDR (RIGHES et al., 2003).

Na camada de 10 a 20 cm, observa-se uma menor dispersão nos dados dos gráficos da Figura 1B, constatando-se uma tendência de estabilização das leituras realizadas nos dois métodos, ressaltando que no caso da gravimetria as coletas das amostras foram realizadas a 15 cm de profundidade, com as leituras da umidade existente no solo apresentando um conteúdo médio de 19,04% em volume, enquanto que a umidade determinada pela sonda do TDR indicou um conteúdo médio de 25,64% em volume, o que evidencia uma maior aproximação entre as determinações feitas pelos dois métodos, melhorada provavelmente pela ausência da influência da temperatura ambiente, como discutido por Seyfried e Murdock (2001), porém ainda bastante discrepantes em relação ao conteúdo de água determinado.

Comportamento idêntico ocorreu na determinação da umidade no intervalo de 20 a 30 cm, conforme observado nos gráficos da Figura 1C, com o conteúdo de água médio determinado pelo TDR ficando em torno de 23,6% em volume, e pelo método gravimétrico em 19,01% em volume, com as amostras sendo coletadas a uma profundidade de 25 cm.

Para o intervalo de profundidade de 30 a 40 cm a diferença percentual entre as leituras realizadas voltou a aumentar, com os dados médios obtidos pela sonda do TDR ficando em torno de 27,18% em volume e para a gravimetria, com solo coletado a 35 cm de

profundidade, apresentando um valor de 21,24% em volume, conforme pode ser observado na Figura 1D. O distanciamento entre as leituras obtidas pelos dois métodos indica uma fragilidade no desempenho do TDR utilizado.

Esta diferença de resultados entre estes dois métodos, encontra-se relacionada provavelmente com a performance do equipamento, que tem sido amplamente reportada pela bibliografia como instrumento viável para o monitoramento do conteúdo de água do solo sem ajustes preliminares (SILVA, 1998; COELHO et al., 2001; TOMMASELLI e BACHI, 2001).

b) Comportamento do TDR HH2 quando comparado com o método gravimétrico

A variação do conteúdo de água do solo determinado com o TDR HH2 no primeiro intervalo de profundidade (0 – 10 cm), apresentou-se dentro da mesma faixa encontrada pelo TDR TRIME-FM, conforme observado nos gráficos da Figura 2A, com o conteúdo médio de água obtido ficando próximo dos 22% em volume contra 6,5% em volume obtidos pela análise gravimétrica. Esta discrepância encontrada também na determinação do conteúdo de água do solo por este TDR reforça as hipóteses já discutidas para os dados obtidos com o TDR – TRIME FM para este mesmo intervalo de profundidade.

Na camada de solo subsequente (10 a 20 cm), as leituras de conteúdo médio de água ficaram em torno de 19,04% em volume para gravimetria e de 23,41% em volume para sonda

do TDR HH2, conforme pode ser observado nos dados apresentados nos gráficos da Figura 2B, indicando haver uma diminuição na diferença entre os conteúdos de água determinados pelos dois métodos para esta profundidade do perfil; esta considerável melhora nos resultados obtidos por este TDR em relação ao método padrão, pode ter explicação tanto pela ausência da influência da temperatura ambiente (SEYFRIED e MURDOCK, 2001), como por

uma performance melhor do HH2 frente ao TRIME FM, uma vez que, mesmo tendo apresentado uma diferença média de 4,37% para o método gravimétrico, é importante registrar que na última bateria de leitura o resultado obtido já se mostra muito próximo ao da gravimetria, com o conteúdo de água determinado pelo HH2 ficando em 22,5%, contra os 21,5% obtidos pelo teste padrão.

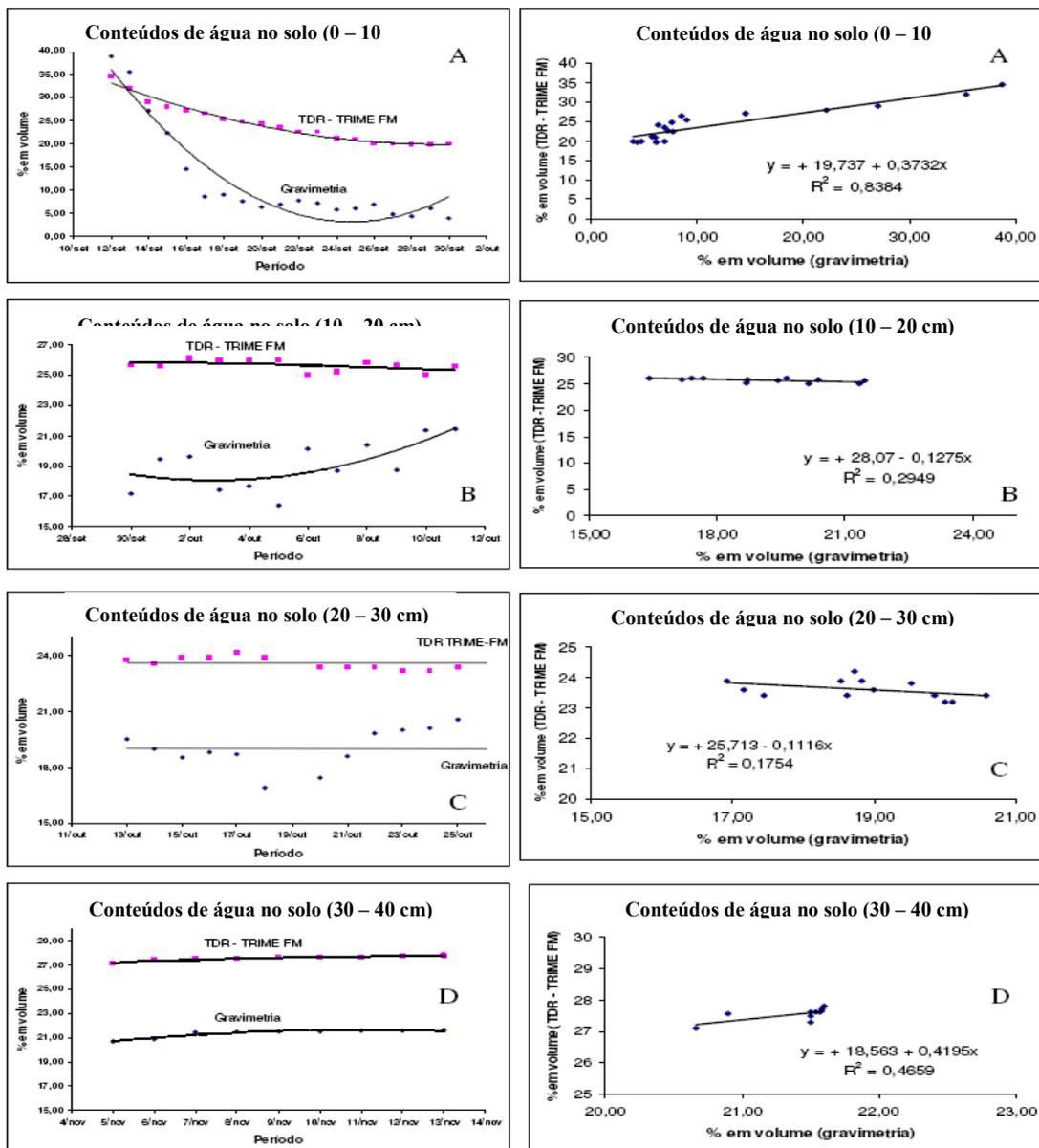


Figura 1 (A, B, C e D) - Comportamento do TDR TRIME – FM comparado ao teste padrão de gravimetria na determinação do conteúdo de água do solo em quatro diferentes profundidades, no período de 12 de Setembro a 13 de Novembro de 2003.

Estes bons resultados ficam ainda mais evidenciados nos gráficos da Figura 2C (intervalo de 20 a 30 cm de profundidade), onde os dados coletados apontam para um conteúdo de umidade médio determinado pelo HH2 de 19,9% em volume, enquanto que pelo método gravimétrico o conteúdo médio encontrado ficou em 19,0%; esta diferença de 0,9% já é bem menor aos resultados obtidos por Souza et al. (2006), que após calibração de um TDR de sondas contínuas, apontaram com sendo muito boa a diferença média entre os conteúdos de água encontrados pelo equipamento e medidos pelo método gravimétrico que ficou em torno de 1,7% durante os estudos da dinâmica do nitrato no solo aplicado via fertirrigação.

Por fim, esta diferença praticamente desapareceu na profundidade de 30 a 40 cm), onde os conteúdos médios de água determinados pelos dois métodos (TDR e Gravimétrico) foram respectivamente de 20,94% e 21,24% em volume, conforme pode ser constatado nos gráficos da Figura 2D. Este distanciamento de 0,3% em média, condiz com as especificações do fabricante para o tipo de sonda utilizada (segmentada do tipo PR1/6), comprovando a excelente performance deste equipamento que se apresenta como um instrumento eficaz para o monitoramento do conteúdo de água do solo (SILVA, 1998; COELHO et al., 2001; TOMMASELLI e BACHI, 2001).

c) Comportamento dos TDR TRIME – FM e HH2 quando comparados com os tensiômetros

Para inferir os conteúdos de água a partir dos potenciais matriciais (Ψ_m) obtidos pelos tensiômetros foi necessária a construção da Curva de Retenção de Água do solo. Os valores ajustados foram obtidos utilizando-se o Software SWRC, construindo-se a Curva a partir destes dados, bem como a equação que descreve a relação entre os conteúdos de água em volume (θ) e o potencial matricial (Ψ_m) (Figura 03), sendo os seguintes os valores encontrados para os parâmetros desta curva: $\alpha = 0,2132$; $m = 0,2364$; $n = 2,4273$; $\theta_s = 0,385$ e $\theta_r = 0,118$.

Os gráficos obtidos através da plotagem simultânea dos dados das leituras diárias realizadas nos tensiômetros e nos TDR para profundidade média de 10 – 20 cm, encontram-se apresentados na Figura 4A para o TDR TRIME - FM e 4B para o TDR HH2.

Nos gráficos das Figuras 4A e 4B é possível observar uma boa aproximação das leituras obtidas tanto para tensiômetros como para TDR, com as curvas apresentando comportamentos muito semelhantes; entretanto, confirmando as tendências já observadas nas comparações dos dois TDR com o teste padrão da gravimetria, o desvio percentual das leituras do TDR TRIME - FM se apresenta bem mais acentuado, uma vez que o conteúdo de água determinado através deste equipamento subestima a umidade volumétrica determinada pela tensiometria em 1,04%, resultados que corroboram com as

conclusões de Cichota (2003) que na determinação do conteúdo de água de um Latossolos Vermelho-amarelo utilizando sondas de um TDR semelhante, tendo como referência também o método da tensiometria, afirma que a aplicabilidade do modelo do TDR usado ficou prejudicada em função das variações da resposta do mesmo serem muito elevadas entre as várias hastes ou mesmo entre segmentos de uma mesma haste quando comparadas com resultados obtidos nos tensiômetros.

Confirmando a boa performance do TDR HH2, o desvio médio na obtenção do conteúdo de água por este equipamento em relação às determinações dos tensiômetros ficou em

apenas 0,19% da umidade volumétrica, ou seja, 5,5 vezes menor de que a média dos resultados obtidos pelo TRIME – FM e rigorosamente dentro dos padrões de tolerância preconizados pelo fabricante. Este resultado confirma aqueles obtidos por Otto e Alcaide (2001) que, em ensaios conduzidos tanto em laboratório quanto no campo, concluíram não só ser possível determinar a umidade volumétrica através das sondas calibradas do TDR com base nas determinações pela tensiometria, como o método TDR - tensiômetro pode ser facilmente usado na obtenção da curva de retenção de água no solo.

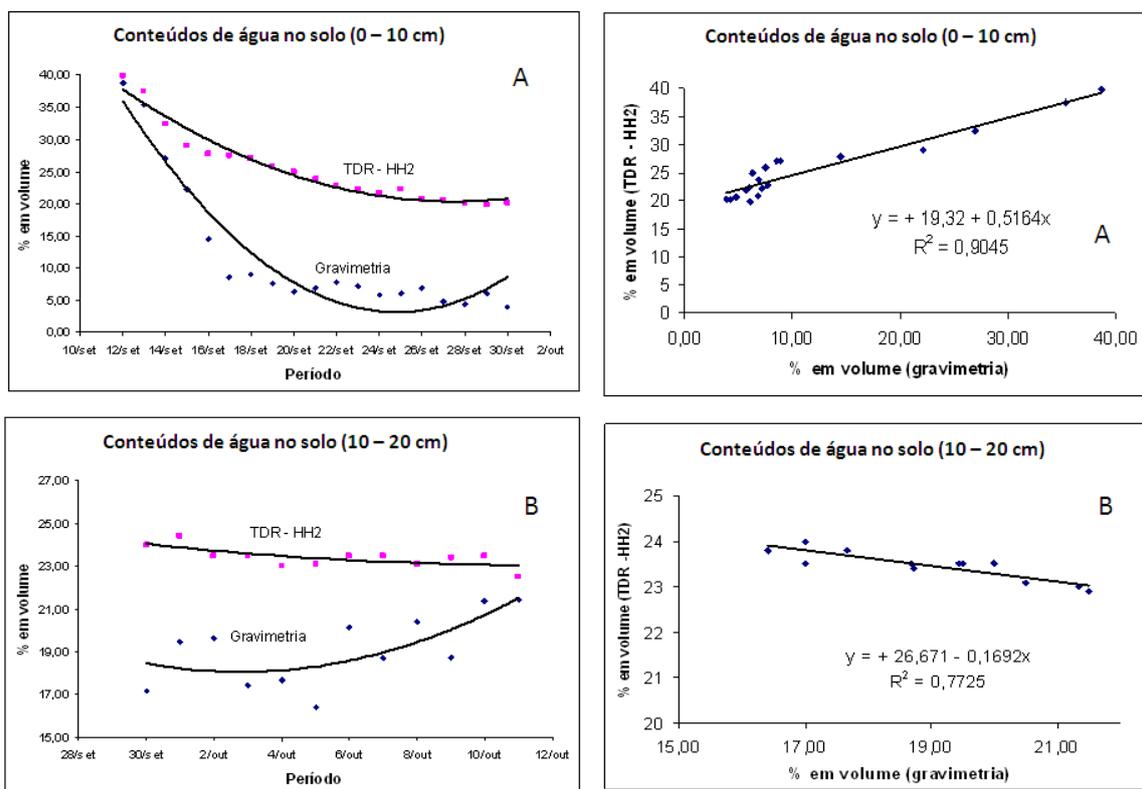


Figura 2 (A, B, C e D) - Comportamento do TDR HH2 comparado ao teste padrão de gravimetria na determinação do conteúdo de água do solo em quatro diferentes profundidade, no período de 12 de Setembro a 13 de Novembro de 2003. Continu...

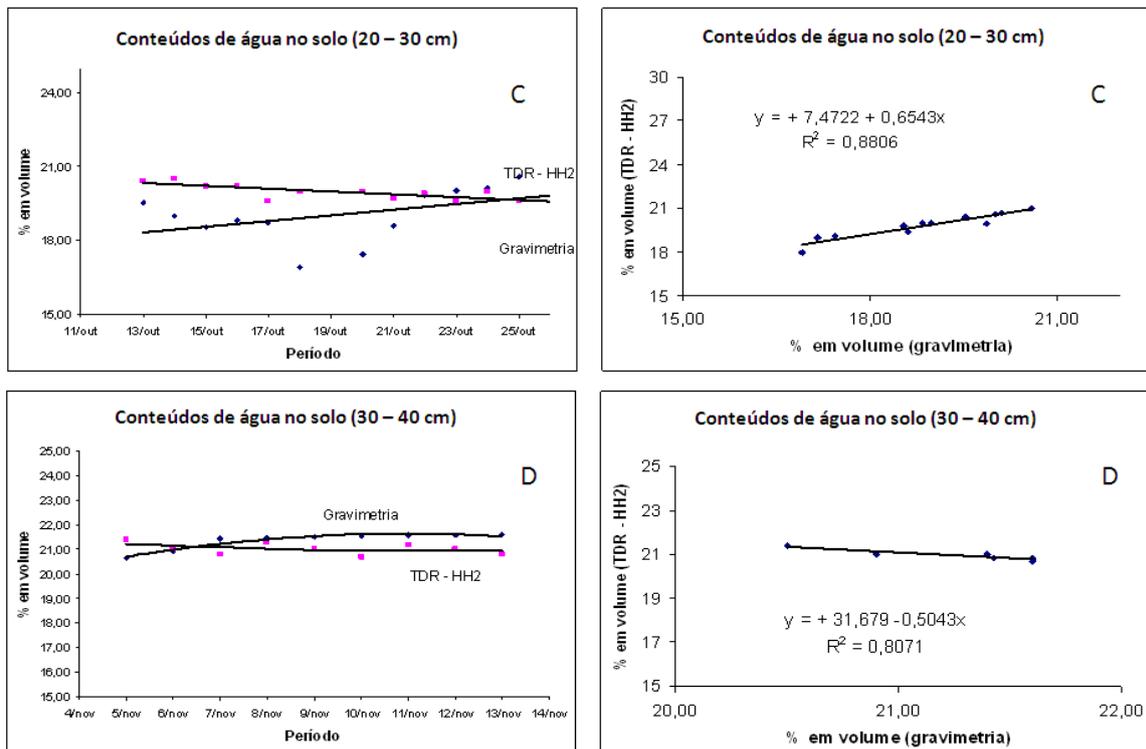


Figura 3 (A, B, C e D) (Continuação) - Comportamento do TDR HH2 comparado ao teste padrão de gravimetria na determinação do conteúdo de água do solo em quatro diferentes profundidade, no período de 12 de Setembro a 13 de Novembro de 2003.

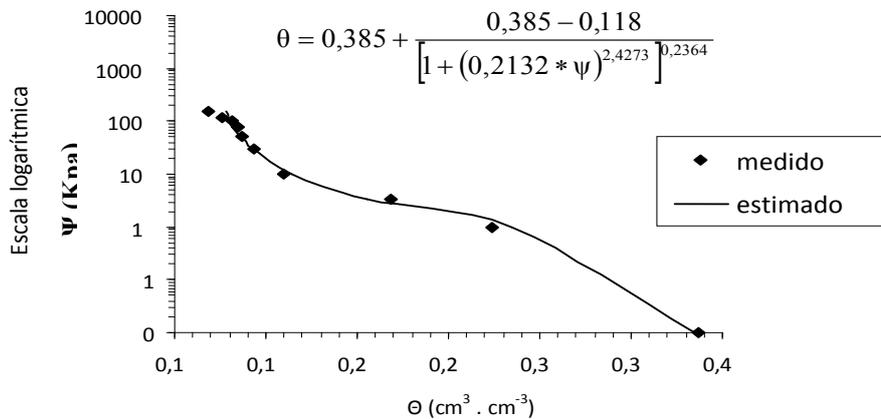


Figura 4 - Curva de retenção de água ajustada pela metodologia proposta por van Genuchten.

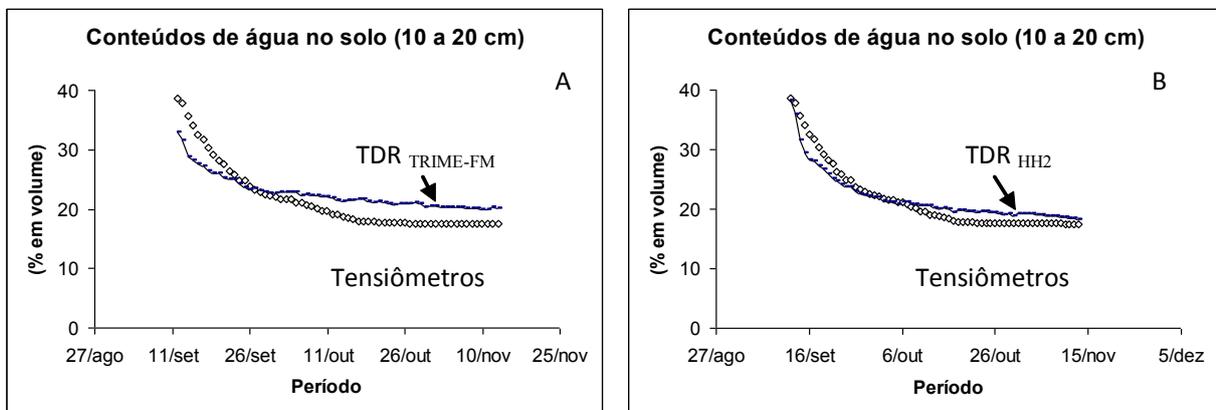


Figura 4 (A e B) - Comportamento dos TDR TRIME FM (haste fixa) e HH2 (haste segmentada) na determinação do conteúdo de água do solo comparado com as determinações obtidas nos tensiômetros na profundidade média de 10 a 20 cm.

É importante notar ainda que para ambos os TDR ocorre uma menor dispersão dos valores dos conteúdos de água determinados abaixo de

25% da umidade volumétrica, como pode ser observado nos gráficos das Figuras 5A e 5B.

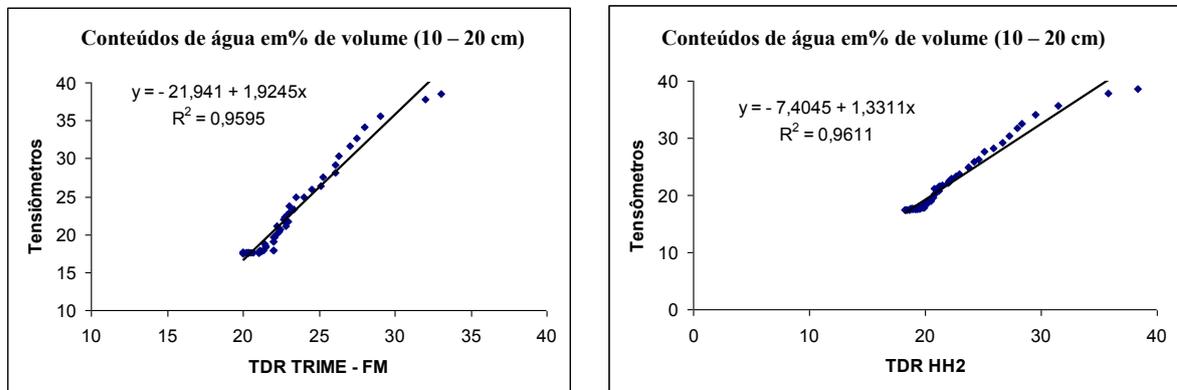


Figura 5 (A e B) - Dispersão dos dados na determinação dos conteúdos de água em% de volume obtidos por tensiómetros e TDR na profundidade média de 10 - 20 cm.

4. CONCLUSÕES

O distanciamento entre as leituras obtidas pela gravimetria e pela tensiometria dos conteúdos de água do solo determinados com o TDR TRIME – FM indica uma baixa eficiência no desempenho deste equipamento para o argissolo estudado, demonstrando que as equações padrões utilizadas neste aparelho não se adéquam para qualquer tipo de solo, requerendo calibrações locais cada vez que houver mudanças nas características físico-hídricas da área.

O inverso foi constatado para o TDR HH2 que apresentou-se muito eficaz no monitoramento do conteúdo de água do solo, distanciando-se apenas 0,3%, em média, do conteúdo de água volumétrico obtido pela gravimetria e 0,19% da umidade volumétrica obtida pelos tensiómetros, sem necessidade previa de calibração para o solo investigado.

REFERÊNCIAS

- CICHOTA, R. **Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo**. Piracicaba, 2003. 121p. (Dissertação de Mestrado) - ESALQ, USP.
- COELHO, E.F.; ANDRADE, C.L.T.; OR, D.; LOPES, L.C.; SOUZA, C.F. Desempenho de diferentes guias de ondas para uso com o analisador de umidade TRASE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande v.5, n.1, p.81-87, 2001.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SNLCS, 2ª Ed. 1997, 211p.
- JOAQUIM JÚNIOR, G. O. **Desempenho do reflectômetro no domínio do tempo na detecção de variações de umidade do solo**. Piracicaba, 2003. 81 p. (Dissertação mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP.
- LEITE, E.R.F. **Métodos avançados de determinação da umidade e fluxo de calor no solo**. 2003 – apostila – UFCG 31 p.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2ª ed. Piracicaba – ESALQ/USP, 2000. 509 p.
- MELO FILHO, J.F. de. **Variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade**

hidráulica em função da umidade de um latossolo sob condições de campo. Tese de Doutorado. ESALQ – USP. Jan 2002. 145 p.

MOISTURE Meter - HH2. Disponível em: <<http://www.delta-t.co.uk/products.html?product=2005092818845>>. Acesso em 15 de Agosto de 2010.

OTTO, S.R.L.; ALCAIDE, M. Utilização do método TDR-tensiômetro na obtenção da curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V5, n2. p 265 – 269, 2001.

PROFILE Probe Disponível em: <http://www.hoskin.ca/catalog/index.php?main_page=product_info&products_id=305>. Acesso em 15 de Agosto de 2010.

REICHARDT, K. e TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera – Conceitos, Processos e Aplicações.** Manole. Barueiri, SP. 2004. 469 P.

RIGHES, A. A.; AMARAL, L. G. H. do; COSTA, R. D.; ROSA, G. M. da; WILLES, J. A.; GOMES, A. C. dos S. **Determinação da água no solo e na planta para irrigação.** Santa Maria: UFSM, 2003. 97p.

RODRIGUES, T. R. I.; BATISTA, H.S.; CARVALHO, J. M. de; GONÇALVES, A.O.; MATSURA, E.E. Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.5, n.2, pg. 187-191, MAI-AGO. 2001.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Enrolamento e expansão das folhas de milho submetidas a déficit hídrico em diferentes solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.3, n.1, pg 1-6, JAN-ABR. 1999.

SEYFRIED, M. S.; MURDOCK, M.D. Response of a new soil water sensor to variable soil, water content and temperature. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.65, n.1, p. 28-24, 2001.

SILVA, E.L. da. Determinação automática do teor de água em Latossolo Roxo Distrófico com uso da Reflectometria de Onda. XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. **Anais**Volume I, 1998. Poços de Caldas, MG, UFLA/SBEA, 1998.

SILVA, E. L. da; GERVÁSIO, E. S. Uso do instrumento TDR para determinação do teor de água em diferentes camadas de um Latossolo Roxo

distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v3, n3, p.417-420,1999.

SOIL moisture and conductivity measurements. Disponível em: <<http://pkd.eijkelpkamp.com/PKD/PKDPages/10Soilmoisturevolumetricandconductivity/tabid/131/Default.aspx#>>. Acesso em 15 de Agosto de 2010.

SOUZA, C. F.; FAVARO, R. B. T. M.; DAROZ, T. H. da C.; SILVA, E. F. de F. e; FOLEGATTI, M. V. Metodologia para estudar a dinâmica do nitrato no solo aplicado via fertirrigação. In: VII Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingenieria Agrícola, 2006, Santiago. **Anais**Santiago, CLIA, 2006. CD – ROM.

TOMMASELLI, J.T.G.; BACHI, O.O.S. Calibração de um equipamento de TDR para medida da umidade de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.9, p.1145-1154, 2001.

TRIME-TDR. Disponível em: <http://www.trime.com.br/fm_tecnologia.htm>. Acesso em 15 de Agosto de 2010.

WITHERS, B. e VIPOND, S. **Irrigação: projeto e prática.** 3ª ed. NOBEL. São PAULO, 1988. 339p.

¹ Engenheiro Agrônomo, Dr. em Engenharia Agrícola. Professor da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Endereço: UFRPE/UAST – Fazenda Saco – S/N – CAIXA POSTAL 63 – Serra Talhada – PE. CEP: 56.490-000 - BRASIL. E-mail: genival@uast.ufrpe.com.br;

² Biólogo, Dr. em Engenharia Agrícola. Professor do Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais do Centro de Ciências Agrárias da UFPB, Areia - PB. E-mail: mariolfcavalcanti@yahoo.com.br;

³ Engenheiro Agrícola, Dr. em Engenharia Agrícola pela UAEAg / UFCG E-mail: rogerio_dl@yahoo.com.br;

⁴ Engenheiro Agrônomo, M. SC. em Física do Solo e PhD em Culturas. Professor da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande. hugo_carvalho@hotmail.com.