

AVALIAÇÃO DE SONDAS SEGMENTADAS MULTIHASTE E TDR EM LATOSSOLO VERMELHO CONDUZIDO SOB DOIS SISTEMAS DE PREPARO E CULTIVADO COM FEIJOEIRO IRRIGADO¹

G.A. de MEDEIROS²; M. B. BOMFIM³; J.R.F. LUCARELLI⁴ & L.A. DANIEL⁵

1. Trabalho apresentado como parte da tese de doutorado do primeiro autor defendida junto à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP e apoiada financeiramente pela FAPESP e FAEP/UNICAMP.
 2. Eng^o Agrícola, Dr., Professor do Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal - CREUPI. e-mail: gerson_medeiros@creupi.br
 3. Eng^o Agrônomo, bolsista de iniciação científica da FAPESP e do CREUPI –Período 1999 / 2000.
 4. Eng^o Agrônomo, M.Sc., Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP. e-mail: luca@agr.unicamp.br
 5. Eng^o Agrônomo. Dr. Fundação Paula Souza.
- Aceito para publicação em: 12/11/2001.

RESUMO

A estimativa da umidade do solo é um parâmetro de interesse a estudos da área ambiental e manejo de culturas irrigadas. Equipamentos têm sido desenvolvidos para a automatização desta determinação em tempo real, entre os quais a TDR (Time Domain Reflectometry). A calibração de sensores e a avaliação de seu desempenho para solos tropicais e sob condições irrigadas necessitam ser, portanto, melhor avaliados. O objetivo do presente trabalho foi o de estudar o desempenho de sondas multihaste e sistema TDR sob condições de cultura irrigada. Estes sensores permitem medições da umidade do solo em mais de uma profundidade. O ensaio foi conduzido em duas parcelas experimentais submetidas aos manejos do solo: enxada rotativa e convencional com arado de disco, semeadas com feijão irrigado. Os resultados demonstraram que houve uma razoável correlação entre a constante dielétrica relativa aparente (k) e a umidade (θ) próximo à superfície, contudo, abaixo da profundidade de 0,20 m não se pôde obter correlações. A curva de calibração do sistema de preparo do solo enxada rotativa apresentou uma melhor correlação ($r^2 = 0,81$) do que aquela obtida no sistema convencional com arado de disco ($r^2 = 0,70$), porém, uma única curva pode ser utilizada. A relação obtida para Latossolo vermelho, próxima a superfície, tem a seguinte forma:

$$\theta = -8,55 \times 10^{-5} k^3 + 4,19 \times 10^{-3} k^2 - 5,51 \times 10^{-2} k + 0,48$$

($r^2 = 0,71$)

Palavras-Chave: TDR, curva de calibração, manejo do solo, irrigação.

ABSTRACT

MULTI-WIRE PROBE AND TDR PERFORMANCE ON LATOSSOLO VERMELHO MANAGED ON TWO SOIL TILLAGE SYSTEM AND CROPPED TO IRRIGATED BEANS

Soil moisture content is a very important parameter to environmental purpose and water management at irrigated agriculture. Various equipments have been developed to estimate soil water content and to automate irrigation, including TDR (Time Domain Reflectometry). The calibration and performance of this methodology for tropical soils and irrigated crop needs a better evaluation. The main goal of this research was to evaluate the performance of multi-wire probe with electrical impedance discontinuities using the TDR (Time Domain Reflectometry) technology under irrigated conditions.

These probes allow for soil water content measurements at more than one depth interval. The experiment was carried out on two plots corresponding to different soil tillage: revolving hoe and conventional tillage (disk plough), for irrigated bean. Results show that near surface TDR presented a reasonable relation between dielectric constant (k) of the soil and volumetric water content (θ) near surface, however, under 0,20 to 0,40 m depth layer no relationship was verified. The calibration curve of soil tillage system revolving hoe presented a better correlation coefficient ($r^2 = 0,81$) than conventional tillage ($r^2 = 0,70$) but a unique operational calibration curve to surface layer can be used. The relationship obtained to Latossolo vermelho, a clay soil, to surface layer has the following form:

$$\theta = -8,55 \times 10^{-5} k^3 + 4,19 \times 10^{-3} k^2 - 5,51 \times 10^{-2} k + 0,48$$

($r^2 = 0,71$)

Key Words: TDR, calibration curve, soil tillage, irrigation.

INTRODUÇÃO

A TDR (Time Domain Reflectometry) é uma tecnologia utilizada para estimar a umidade do solo, tendo apresentado uma expansão em sua difusão com o surgimento de equipamentos comerciais.

Apresenta como vantagens o fato de ser uma técnica não destrutiva e que não causa distúrbio no solo, não apresenta riscos a saúde ou ao meio ambiente por não trabalhar com fontes radioativas, pode realizar medidas no sentido vertical ou horizontal, portabilidade, dentre outras (CRUVINEL et al., 1998), acrescente-se o fato de se poder obter medidas automatizadas e simultaneamente em vários pontos quando comparado aos métodos de sonda de nêutrons e gravimétrico (SERRARENS et al., 2000)

Diversos campos do conhecimento que necessitam da informação sobre a umidade do solo e sua variação no tempo e espaço têm feito uso da TDR, dentre os quais podemos citar o balanço hídrico e avaliação em culturas irrigadas (MASTRORILLI et al., 1998, COLETTI, 2000), engenharia geotécnica (CONCIANI et al., 1997), transporte de solutos (TOPP & REYNOLDS, 1998), etc.

O princípio básico da técnica da TDR é medir o tempo de deslocamento de uma seqüência de pulsos através de uma sonda instalada no solo. Quanto maior o tempo de deslocamento, maior a constante dielétrica relativa aparente do solo, obedecendo a seguinte relação:

$$k = \left(\frac{t c}{L} \right)^2 \quad (1)$$

onde, k é a constante dielétrica relativa aparente do solo (adimensional), t é o tempo de passagem do pulso (ns), c a velocidade da luz (30 cm ns^{-1}), L o comprimento da haste (cm)

A constante dielétrica relativa do solo é uma propriedade relacionada com o teor de umidade por meio de curvas de calibração (CONCIANI et al., 1997) dada a grande diferença entre as constantes dielétricas da água e as dos componentes da matriz do solo (TOMMASELLI, 1997).

Por este motivo, curvas de calibração tem sido desenvolvidas relacionando diretamente a constante dielétrica do solo com a umidade volumétrica (TOPP et al., 1980, TOMMASELLI, 1997, TOMMASELLI & BACCHI, 2001).

Alguns autores têm estimado a umidade do solo a partir da equação desenvolvida por TOPP et al. (1980) como TESSLER (1994), porém, TOMMASELLI & BACCHI (2001) verificaram que tanto a equação embutida no mesmo tipo de equipamento utilizado neste estudo (Trase System) quanto aquela desenvolvida por TOPP et al. (1980) não foram aplicáveis para cinco solos da região de Piracicaba – SP.

Conseqüentemente, TOMMASELLI & BACCHI (2001) recomendam a elaboração da curva de calibração para o local do solo específico ao invés da utilização de curvas universais.

Para a medida de umidade do solo podem ser utilizados distintos tipos de sondas. Na literatura avaliada tem-se encontrado dois grupos de principais:

- sondas lisas (TOMMASELLI, 1997, TOMMASELLI & BACCHI, 2001, MASTRORILLI et al., 1998, TESSLER, 1994, MOJID et al., 1998): possibilitam a medição somente em uma faixa de profundidade por sensor;
- sondas multihastes segmentadas (CONCIANI et al., 1997, COLETTE, 2000) ou providas de sensores múltiplos para diversas profundidades (SERRARENS et al., 2000, FRUEH & HOPMANS, 1997): permitem a estimativa da constante dielétrica do solo em diferentes profundidades.

A sonda segmentada é construída a partir da inserção de trechos demarcadores de impedância em suas hastes. Estes trechos consistem de reduções no diâmetro da haste, sendo que o seu comprimento é escolhido de forma a caracterizar sua presença no sinal medido pelo equipamento (CONCIANI et al., 1997). Apesar dos benefícios apresentados pela TDR algumas limitações ao seu uso têm sido reportados destacando-se a influência da salinidade (MOJID et al., 1998), dos óxidos de ferro (CRUVINEL et al., 1998) e compactação do solo (SERRARENS et al., 2000), levando à necessidade de se testar esta tecnologia nas mais diversas condições.

O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar o desempenho da TDR acoplada a sondas segmentadas multihaste em condições de campo, durante o ciclo do feijoeiro irrigado, conduzido em dois sistemas de preparo do solo.

Os objetivos específicos foram:

- verificar o desempenho das sondas segmentadas multihaste para a estimativa da umidade do solo em incrementos de profundidade de 0,20m, até 0,60 m, em Latossolo vermelho argiloso, irrigado e submetido aos sistemas de preparo do solo convencional com arado de disco e enxada rotativa.

- verificar a utilização de uma curva de calibração operacional única envolvendo todas as profundidades e sistemas de preparo do solo estudados, para ser utilizada em manejo de irrigação.
- verificar a relação entre a estimativa da constante dielétrica relativa do solo e o potencial mátrico estimado por meio de tensiômetros.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na área de pesquisa em conservação do solo e água da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), da Universidade Estadual de Campinas - SP, na longitude $47^{\circ} 05' W$, latitude $22^{\circ} 54' S$ e altitude média de 606 m. Nesta área foram construídos, em 1986, oito talhões coletores de solo e água, cada qual com uma área útil de 600 m^2 , sendo 30 m de comprimento de rampa por uma soleira concentradora de 20 m de largura, localizados no terço médio de uma encosta com 9% de declive, orientação norte-sul e exposição oeste (DANIEL et al., 1997).

Nos anos agrícolas de 1986/87, 1987/88, 1988/89 e 1989/90 foram feitas subsolagens a 0,50 m de profundidade, semeando-se crotalaria, milho, soja e milho, respectivamente, em todas as parcelas. No período de 1990 a 1998 somente a cultura do milho foi semeada em sete dos oito talhões, conduzidos sob os seguintes sistemas de preparo do solo, de acordo com LUCARELLI (1997): sistema convencional com grade aradora, sistema alternado de equipamentos, sistema arado escarificador, sistema de plantio direto, sistema convencional com arado de disco, talhão roçado sem mobilização, talhão mobilizado “morro abaixo” com arado de disco, sistema de rotavação (enxada rotativa). Dentre estes sistemas de preparo dois foram selecionados para se realizar o monitoramento da umidade do solo, aquele correspondente ao tratamento convencional com arado de disco e o tratamento enxada rotativa. O solo da área foi classificado como Latossolo Roxo distrófico, textura argilosa, Unidade Barão Geraldo (OLIVEIRA et al., 1979). Na classificação brasileira de solos atual corresponde ao Latossolo vermelho distroférrico segundo EMBRAPA (1999), sendo suas principais características físicas apresentadas na Tabela 1.

A cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade IAC Carioca, foi semeada em todas as parcelas no dia 31 de agosto e a emergência ocorreu no dia 7 de setembro.

Durante o ensaio a precipitação foi escassa, acumulando 203 mm e fazendo-se necessário o emprego da irrigação. O sistema de irrigação por gotejamento foi instalado em todos os tratamentos, com exceção do roçado, no dia 22 de setembro. Utilizou-se o tubo gotejador Streamline SL 80, da Netafím®, instalando-se uma linha de tubo gotejador de 20 m por linha de cultura, perfazendo assim um total de 60 tubos gotejadores por parcela espaçados de 0,50 m. Foram 9 irrigações ao longo do ciclo, acumulando um valor de 258 e 232 mm para os tratamentos de sistema de preparo do solo convencional com arado de disco e enxada rotativa, respectivamente. O teor de água no solo foi determinado pelo método gravimétrico no qual amostras de solo foram coletadas com trado em intervalos de profundidades de 0,1 m, desde a superfície até 0,50 m, com 3 repetições casualizadas por tratamento e a 0,1 m da linha de cultura. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em latas de alumínio e secas em estufa à $105^{\circ} C$ por 48 horas.

Tabela 1. Propriedades físicas de um Latossolo vermelho submetido a dois sistemas de preparo do solo, após um período de oito anos, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Tratamento	Prof.	Argila	Silte fino	Silte grosso	Areia fina	Areia grossa	Densidade Solo
	cm	----- g kg ⁻¹ -----					kg dm ⁻³
A. Disco	0-20	570	80	80	150	120	1,27
	20-40	620	60	80	120	120	1,33
	40-60	620	50	100	120	110	1,11
Rotavação	0-20	590	90	90	130	100	1,20
	20-40	640	50	80	130	100	1,29
	40-60	640	60	80	130	90	1,18

Concomitantemente, mediu-se a constante dielétrica relativa do solo ao longo de seu perfil por meio de um analisador de umidade no solo TDR (Time Domain Reflectometry), modelo Trase® acoplado a sondas segmentadas, cujo modelo é apresentado na Figura 1.

As sondas multihaste foram fabricadas com segmentos de latão, cujo diâmetro era de 0,006 m, e aço inox, com diâmetro de 0,003 m conforme descrição de COLETTI (2000).

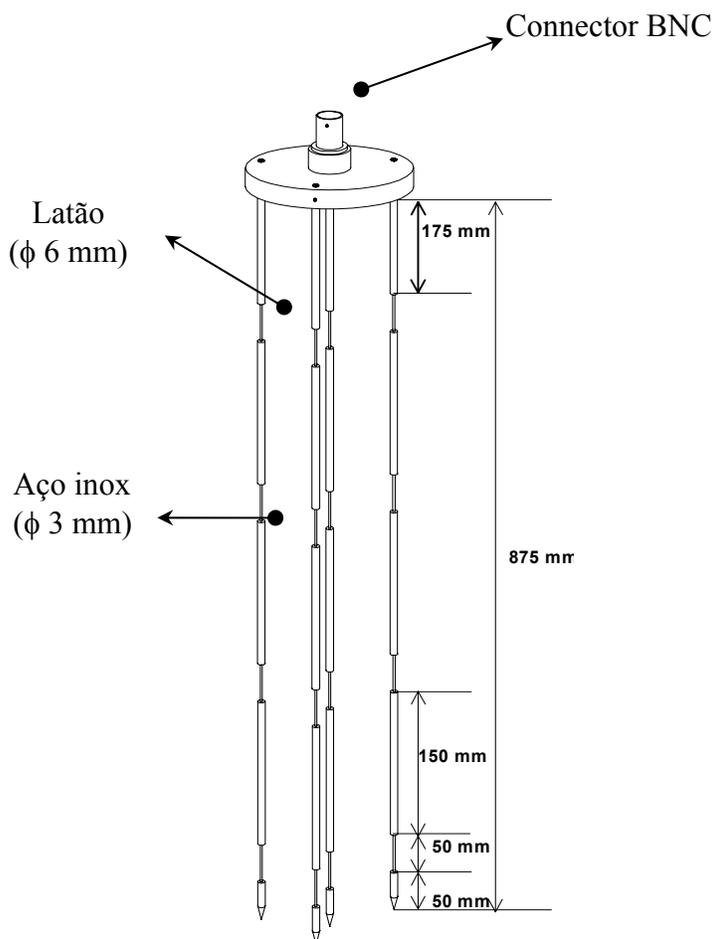


Figura 1. Esquema da sonda multihaste segmentada utilizada para estimar a umidade no solo (COLETTI, 2000)

Os comprimentos das hastes foram dimensionados de forma a possibilitar a estimativa da umidade ao longo do perfil do solo em incrementos de 0,20 m até a profundidade 0,60 m.

Utilizaram-se 6 sondas segmentadas no tratamento convencional com arado de disco e sete no tratamento enxada rotativa. A distribuição das sondas foi feita de forma equitativa e próxima às baterias de tensiômetros instaladas nas parcelas, garantindo-se no mínimo duas sondas por bateria.

Para a instalação das baterias de tensiômetros dividiu-se lateralmente cada parcela em três partes iguais, e no centro de cada parte procedeu-se a colocação dos tensiômetros.

A curva de calibração foi determinada a partir do ajuste empírico de k em função de θ .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Elaborou-se uma curva de calibração operacional por camada do solo para se avaliar a correlação entre a umidade volumétrica com a constante dielétrica k . A umidade volumétrica é o parâmetro mais utilizado por diversos autores para calibração de sensores de TDR (TOMMASELLI, 1997, TOMMASELLI & BACCHI, 2001, SERRARENS et al., 2000, TOPP et al., 1980) pois incorpora tanto o efeito do teor de água quanto da densidade do solo sobre a velocidade de propagação do pulso.

Para a confecção da curva de calibração nas camadas de solo de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m fez-se um ajuste empírico, por meio de um polinômio de terceiro grau, entre os valores medidos da constante dielétrica (k) e os valores medidos diretamente de umidade seguindo recomendação de TOPP et al. (1980) e TOMMASELLI & BACCHI (2001).

Os resultados são apresentados nas Figuras 2 e 3, para as camadas de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m, respectivamente, num conjunto único de dados incorporando os dois tratamentos avaliados: convencional com arado de disco e enxada rotativa.

A relação obtida na camada de 0 a 0,20 m apresentou um coeficiente de correlação relativamente elevado e foi altamente significativa. Este resultado pode ser considerado satisfatório para uma curva operacional, ou seja, determinada sob condições de campo e para uma gama de variação de umidade inferior àquela utilizada a partir de determinações de laboratório como em TOMMASELLI & BACCHI (2001), quando os autores puderam medir valores de k para umidades variando desde condições de solo seco em estufa por 48 horas até a saturação.

Portanto, as relações derivadas empiricamente devem ser consideradas para uma faixa de variação de umidade entre 0,23 e 0,41 cm³ cm⁻³.

Nos resultados apresentados na Figura 2, as análises estatísticas foram efetuadas tomando-se a constante dielétrica relativa aparente k como a variável dependente e a umidade volumétrica θ sendo a variável independente, contudo, para fins práticos são apresentadas as equações inversas, explicitando-se a umidade volumétrica da seguinte forma:

$$\theta = -8,55 \times 10^{-5} k^3 + 4,19 \times 10^{-3} k^2 - 5,51 \times 10^{-2} k + 0,48$$

$n = 48 \quad r^2 = 0,71^{**} \quad (2)$

onde θ é a umidade volumétrica [$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$] e k a constante dielétrica relativa aparente [adimensional]

Na profundidade de 0,20 a 0,40 m não houve qualquer relação entre k e a umidade determinada pelo método gravimétrico, como pode ser visualizado na Figura 3.

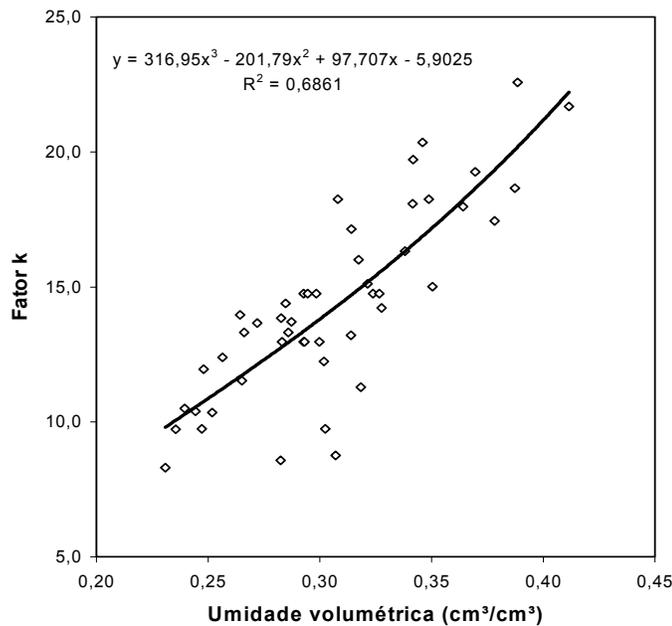


Figura 2. Curva de calibração operacional do solo relacionando a constante dielétrica relativa aparente (k) com a umidade volumétrica (θ) a partir de dados levantados ao longo do ciclo do feijoeiro, na camada de 0 a 0,20 m, nas parcelas de tratamento de preparo do solo convencional com arado de disco e rotavação, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Na camada mais profunda, 0,40 a 0,60 m, somente em poucas ocasiões foi possível a leitura da constante dielétrica devido a perda de sinal. Por este motivo, decidiu-se por não se utilizar as estimativas derivadas a partir do analisador de umidade no solo TDR na camada mais profunda.

Os resultados demonstram que a sonda segmentada apresentou uma atenuação de seu sinal que impossibilitou o seu uso para estimar a umidade abaixo de 0,20 m de profundidade em Latossolo vermelho, para as condições do ensaio. Outros autores como CONCIANI et al. (1997), FRUEH & HOPMANS (1997), COLETTI (2000), SERRARENS et al. (2000) consideraram satisfatório o desempenho da sonda multihaste ou providas de sensores múltiplos para diversas profundidades, contudo, nenhum

destes trabalhos foi conduzido em solo argiloso. O presente estudo foi realizado em Latossolo vermelho com teores próximos a 600 g kg^{-1} nas duas camadas avaliadas, conforme pode ser verificado na Tabela 1 enquanto nos trabalhos citados os teores de argila foram de 47 g kg^{-1} (FRUEH & HOPMANS, 1997), 210 g kg^{-1} (SERRARENS et al., 2000) e 290 g kg^{-1} (COLETTI, 2000).

Os elevados coeficientes de correlação obtidos por TOMMASELLI & BACCHI (2001) também foram em solos com teor de argila inferior aos aqui encontrados, destacando-se o Latossolo vermelho escuro que atingiu 386 g kg^{-1} .

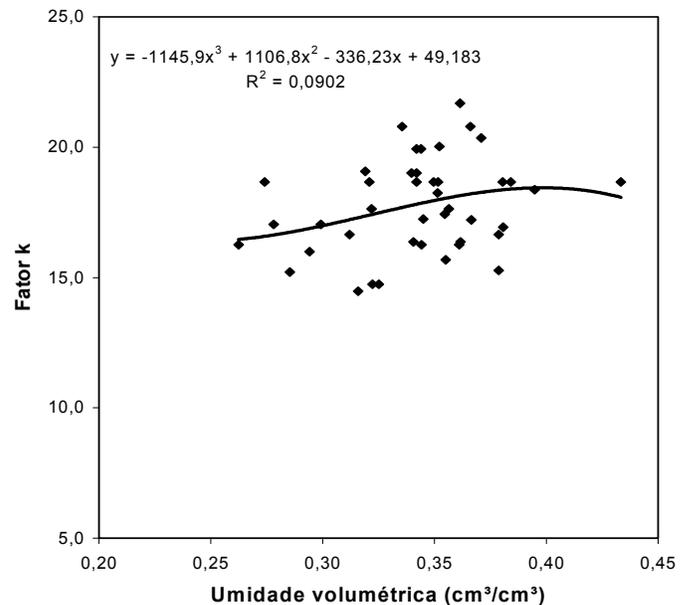


Figura 3. Curva de calibração operacional do solo relacionando a constante dielétrica relativa aparente (k) com a umidade volumétrica (θ) a partir de dados levantados ao longo do ciclo do feijoeiro, na camada de 0,20 a 0,40 m, nas parcelas de tratamento de preparo do solo convencional com arado de disco e enxada rotativa, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Fatores como a influência dos óxidos de ferro no processo de calibração tem sido citado na revisão de literatura realizada por TOMMASELLI (1997). Solos com maior susceptibilidade aos campos magnéticos, como aqueles com altos teores de Óxidos de Ferro, apresentam variações na curva de calibração. Esta é uma característica do Latossolo vermelho aqui estudado (OLIVEIRA et al., 1978).

Outra avaliação realizada foi o estudo da correlação entre a constante dielétrica k e a umidade volumétrica separadamente para cada sistema de preparo do solo, a fim de se verificar se existe alguma influência do manejo do solo sobre as equações obtidas.

As Figuras 4 e 5 apresentam as curvas ajustadas para os sistemas de preparo convencional com arado de disco e enxada rotativa, respectivamente, na camada de 0 a 0,20 m.

Analisada separadamente pode-se observar que a curva obtida para o tratamento enxada rotativa teve um alto

coeficiente de correlação e superior aquele apresentado pelo sistema convencional com arado de disco. Todavia, os coeficientes das equações não diferiram significativamente entre si em um nível de 95%.

Esta variação pode estar vinculada a diferença de desempenho individual de algum sensor. Este desempenho é muito afetado pela sua instalação destacando-se o grau de contato entre o sensor TDR e o solo circundante além da compactação do solo (SERRARENS et al., 2000). Este autor recomenda que procedimentos de instalação alternativos têm de ser projetados para minimizar a compactação do solo.

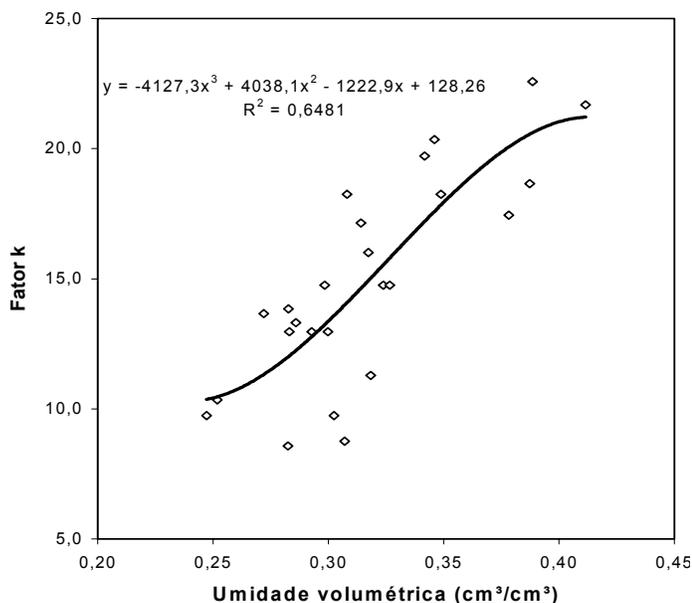


Figura 4. Curva de calibração operacional do solo relacionando a constante dielétrica relativa aparente (k) com a umidade volumétrica (θ) a partir de dados levantados ao longo do ciclo do feijoeiro, na camada de 0 a 0,20, na parcela referente ao tratamento de preparo do solo convencional com arado de disco, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Como os valores de constante dielétrica são médias das leituras dos sensores avaliados, a interferência de um pode prejudicar os outros.

Outro fator de variação que deve ser considerado é a determinação da umidade do solo que também é uma média de três repetições coletadas no campo, próximas às baterias de sondas de TDR.

Além disso, na camada considerada de 0 a 0,20 m há uma variação espacial maior na umidade do solo fruto da quantidade de água retirada pelo sistema radicular, como observado em trabalhos dessa natureza realizados sob condições de campo cultivado (SERRARENS et al., 2000), levando aos coeficientes de correlação menores nesta camada do solo.

No presente estudo a concentração das raízes do feijoeiro na camada de 0 a 0,20 m atingiram 64 e 49% para os tratamentos enxada rotativa e arado de disco, respectivamente.

Conseqüentemente, para uso em manejo de irrigação, a umidade do solo poderia ser estimada na camada mais

superficial do solo onde geralmente ocorrem as maiores retiradas da água pelo sistema radicular.

As relações observadas para cada sistema de preparo são apresentadas a seguir:

a) Sistema de preparo do solo convencional com arado de disco:

$$\theta = -7,01 \times 10^{-5} k^3 + 3,81 \times 10^{-3} k^2 - 5,66 \times 10^{-2} k + 0,54$$

$$n = 25 \quad r^2 = 0,70^{**} \quad (3)$$

b) Sistema de preparo do solo enxada rotativa:

$$\theta = -1,30 \times 10^{-4} k^3 + 5,52 \times 10^{-3} k^2 - 6,13 \times 10^{-2} k + 0,43$$

$$n = 23 \quad r^2 = 0,81^{**} \quad (4)$$

A relação entre a constante dielétrica medida na camada superficial e a tensão de água no solo estimada a 0,15 m de profundidade é apresentada na Figura 6. Apesar de outros autores terem citado como aplicação da técnica da TDR a estimativa do potencial mátrico (PHENE et al. 1988) obteve-se uma correlação baixa entre estas medidas.

Dentre os fatores que podem ter levado a estas diferenças tem-se a integração da umidade que na TDR é feita para a camada de 0 a 0,20 m e no tensiômetro esta estimativa é mais pontual. Além disso, existem erros de estimativa nos dois aparelhos gerando um erro acumulado maior do que a elaboração da curva de calibração utilizando de um método direto como o gravimétrico.

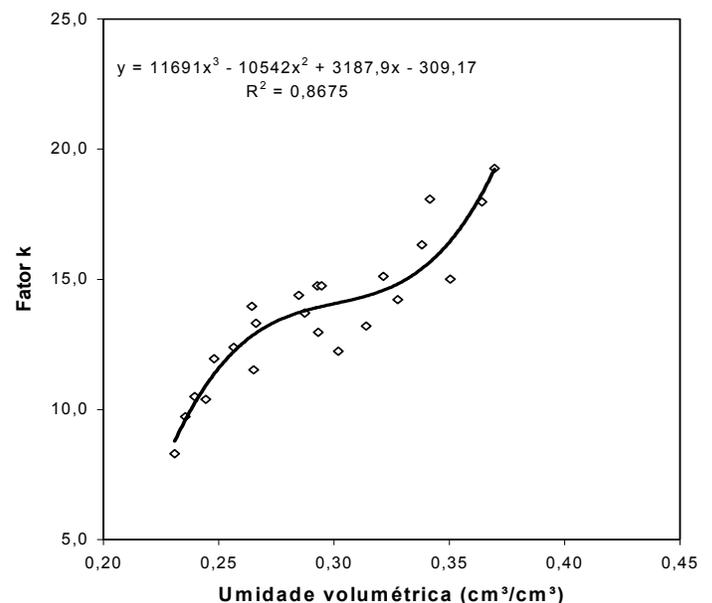


Figura 5. Curva de calibração operacional do solo relacionando a constante dielétrica relativa aparente (k) com a umidade volumétrica (θ) a partir de dados levantados ao longo do ciclo do feijoeiro, na camada de 0 a 0,20, na parcela referente ao tratamento de preparo do solo enxada rotativa, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

a) A sonda segmentada multi haste teve sua utilização limitada à camada superficial do solo em Latossolo vermelho, textura

argilosa, nas condições do presente ensaio;

- b) As boas correlações obtidas entre a constante dielétrica k e a umidade volumétrica do solo até a profundidade de 0,20 m, nos limites de 0,21 a 0,40 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, demonstram a adequação desta técnica para fins de manejo de irrigação;
- c) Apesar das diferenças nos valores de coeficiente de correlação apresentados entre os tratamentos de sistema de preparo do solo, não houve diferenças significativas entre os coeficientes destas equações, levando-se a conclusão de que uma única curva de calibração pode ser adotada;
- d) Não foram obtidas boas correlações entre a tensão de água do solo, medida por meio de tensiômetros, e a constante dielétrica k .

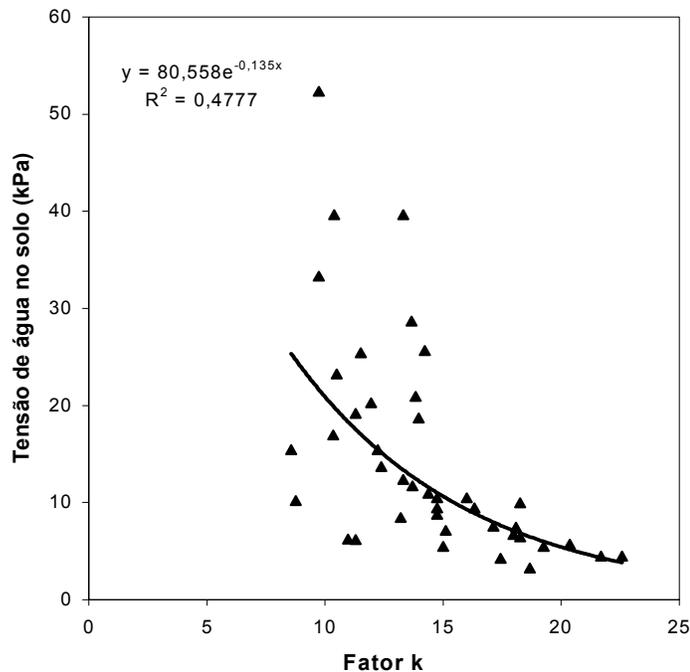


Figura 6. Relação entre a constante dielétrica relativa (k) com a tensão de água no solo (kPa) a partir de dados levantados ao longo do ciclo do feijoeiro, na camada de 0,0 a 0,20 m, nas parcelas de tratamento de preparo do solo convencional com arado de disco e enxada rotativa, em Campinas – SP - 1999.

LITERATURA CITADA

COLETTI, C. **Caracterização da irrigação de uma cultura citrícola com a utilização do TDR.** 2000. 90 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CONCIANI, W., CARNEIRO, B.J., SOARES, M.M., HERRMANN, P.S.P., CRESTANA, S. Emprego de TDR com sondas multihastes segmentadas para medida de umidade de um perfil de solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTRUMENTAÇÃO AGROPECUÁRIA, 1, 1996, São Carlos-SP. Anais... São Carlos: EMBRAPA-CNPDI, 1997. P.169-173.

CRUVINEL, P.E., HERRMANN, P.S.P., INAMASU, R.Y., NETO, A.T., CRESTANA, S. Reflectometria no domínio de

tempo (TDR). In: FARIA, M.A., SILVA, E.L., VILELA, L.A.A., SILVA, A.M. **Manejo de irrigação.** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. Cap 2, p. 194-204.

DANIEL, L.A., ESPÍNDOLA, C.R., LUCARELLI, J.R.F., MAIA, J.C.S. A mecanização e conservação do solo na FEAGRI/UNICAMP. In: Seminário ciência e desenvolvimento sustentável. **Resumos Expandidos...** São Paulo, 1997. p.119-120.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA - CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412p.

FRUEH, W.T., HOPMANS, J.W. Soil moisture calibration of a TDR multilevel probe in gravely soils. **Soil Science**, v.162, p.554-565.

LUCARELLI, J.R.F. **Alterações em características de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo.** 1997. 135 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MASTRORILLI, M., KATERJI, N., RANA, G., NOUNA, B.B. Daily actual evapotranspiration measured with TDR technique in Mediterranean conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.90, p.81-89, 1998.

MOJID, M.A., WYSEURE, G.C.L., ROSE, D.A. The use of insulated time-domain reflectometry sensors to measure water content in highly saline soils. **Irrigation Science**, v.18, p.55-61, 1998.

OLIVEIRA, J.B. & ROTTA, C.L. **Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo. Quadricula de Campinas.** Rio de Janeiro, IBGE, 169p. 1979.

PHENE, C.J., DUTTAGUPTA, A., PHENE, R.R., TOJEIRO, T. In situ measurements of soil matric potential using the time domain reflectometry technique. In: Annual meetings of American Society of Agronomy, Crop Science of América, Soil Science Society of America, Anaheim, CA, 1988. **Agronomy Abstracts**, Madison: SSSA, 1988.

SERRARENS, D., McINTYRE, J.L., HOPMANS, J.W., BASSOI, L.H. Soil moisture calibration. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.2, p.349-54, 2000.

TESSLER, M.H. **The influence of the soil spatial variability on management and design of micro-sprinkler irrigation systems and its impact on turf grass production.** Tucson, Arizona: University of Arizona, 1994. 153p. Tese (PhD) – University of Arizona, 1994.

TOMMASELLI, J.T.G. **Influência de algumas características do solo sobre a calibração de um aparelho TDR (Time Domain Reflectometry).** 1997. 167 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TOMMASELLI, J.T.G., BACCHI, O.O.S. Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. **Pesq. Agropec Brasileira**, Brasília, v.36, n.9, p.1145-54, 2001.

TOPP, G.C., REYNOLDS, W.D. Time domain reflectometry: a seminal technique for measuring mass and energy in soil. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.47, 1998, p.125-32.

TOPP, G.C., DAVIS, J.L., ANNAN, A.P. Electromagnetic determination in soil water content: measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, v.16, n.3, p.574-582, 1980