ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Influência da Densidade na Estimativa da Umidade Volumétrica em um Latossolo Vermelho-Amarelo

Carlos Alexandre Barros de Almeida¹, Antonio Celso Dantas Antonino², Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel³, Carlos Alberto Brayner de Oliveira Lira⁴, José Romualdo de Sousa Lima⁵

¹Doutorando em Tecnologias Energéticas e Nucleares: Departamento de Energia Nuclear – DEN, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. E-mail: almeidacarlos2003@yahoo.com.br; ^{2,4}Professores Drs.. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE; ^{3,5}Professores Drs.. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE.

Artigo recebido em 20/11/2012 e aceito em 11/12/2012

RESUMO

A estimativa da umidade volumétrica do solo pode ser realizada por vários métodos, entre eles destaca-se o uso da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR). Este tem como uso padrão, uma equação que relaciona a constante dielétrica do meio com a umidade sugerida pelo manual do fabricante. Este estudo objetivou avaliar a medição a umidade volumétrica do solo pelo sensor CS616. Na sua realização foi feita a calibração deste sensor em laboratório, para quatro camadas em um Latossolo Vermelho-Amarelo que apresentam densidades diferentes. Foram utilizados cinco métodos diferentes, três consagrados pela literatura e outros dois sugeridos por esse estudo. Os resultados permitiram concluir que nesse solo há uma grande disparidade entre os resultados encontrados durante a calibração do sensor e que a densidade do solo é um parâmetro importante nas medições de umidade do solo.

Palavras-chave: reflectometria no domínio do tempo, medição direta da água no solo, equação de calibração

Influence of Density in Estimation of Volumetric Moisture an Oxisol

ABSTRACT

The estimation of volumetric soil moisture can be accomplished by various methods, among them stands out the use of Time Domain Reflectometry (TDR). This standard is to use an equation that relates the dielectric constant of the medium with humidity suggested by the manufacturer's manual. This study aimed to evaluate the measured volumetric soil moisture sensor for the CS616. In its realization was made to calibrate this sensor in the laboratory for four layers in an Latossolo Vermelho-Amarelo which have different densities. Was used five different methods, the literature established three and two others suggested by this study. The results showed that this soil there is great disparity between the results obtained during calibration of the sensor and the bulk density is an important parameter in measurements of soil moisture.

Keywords: time domain reflectometry, direct measurement of soil water, calibration equation

1. Introdução

O conhecimento do teor de água do solo ou umidade do solo é imprescindível a qualquer estudo que envolva as propriedades

do sistema solo-planta-atmosfera (Coelho et al., 2006). Devido à importância da água no desenvolvimento das plantas e suas implicações em várias propriedades do solo, como aeração, resistência e susceptibilidade à compactação (Kaiser et al., 2010). A umidade

*E-mail para correspondência: almeidacarlos2003@yahoo.com.br (Almeida, C. A. B.).

do solo é uma variável fundamental no estudo e modelagem de diferentes processos agronômicos, hidrológicos e ambientais (Gonçalves et al., 2011). As técnicas de medida dessa grandeza física são normalmente classificadas em diretas e indiretas. Os métodos diretos envolvem alguma forma de remoção ou separação da água do solo com a medida direta dessa água, que pode ser obtido por aquecimento ou pela utilização de solvente ou reação química. Os métodos indiretos determinam alguma propriedade física ou química relacionada à umidade do solo, como a constante dielétrica, condutividade elétrica, capacidade térmica ou susceptibilidade magnética (Maniere et al., 2007).

O uso da instrumentação voltada para a obtenção de informações sobre o sistema água-solo é muito importante. Um método de quantificação ideal da água do solo deve basear-se numa propriedade física dependente apenas do seu conteúdo, produzindo uma resposta direta, rápida e confiável. Técnicas de medição do conteúdo de água variam de amostragem direta, como o método gravimétrico, a amostragem indireta, tais como a atenuação de raios gama, sonda de nêutrons e vários sensores incluindo blocos de resistência e sondas de TDR (reflectometria no domínio do tempo). O método gravimétrico, apesar de ser considerado padrão, normalmente é evitado, pois é demorado, destrutivo e não permite a repetição da amostragem no mesmo local.

Apesar da precisão da sonda de nêutrons, os sensores tipo TDR podem ser utilizados em sua substituição, já que eles não utilizam fonte nuclear, podem ser instalados em várias profundidades e em vários locais no solo, além de fazer em leituras automatizadas, sem a necessidade de intervenção do usuário (Lima et al., 2006).

A técnica TDR destaca-se por ser um método exato, não destrutivo, portátil e de fácil manuseio (Santos et al., 2010). Tommaselli (2001) relata que uma das características mais atrativas da TDR é sua habilidade de monitorar, contínua e simultaneamente, a umidade volumétrica no solo em vários locais. É de fácil acoplamento a dispositivos coletores de dados, permitindo monitorar o avanço da frente de umedecimento (Cecílio et al., 2003) e a redistribuição de água no perfil do solo (Teixeira et al., 2005). Topp et al. (1980) e Or & Wraith (1997) ressaltam que essa técnica destaca-se de outras pela sua exatidão e possibilidade de multiplicação de leituras e repetição sem destruição da amostra de solo. Ainda segundo Santos et al. (2010) a TDR apresenta como desvantagens: o pouco conhecimento sobre o seu comportamento em solos tropicais, por ser um método ainda pouco estudado nestes solos; a dependência do teor de materiais magnéticos e tipo de solo (mineral ou orgânico); a calibração trabalhosa; a influência dos óxidos de Fe e da massa específica do solo sobre as medidas (Santos et al., 2010); e o alto custo de

aquisição.

Pela técnica TDR, o conteúdo de água no solo é determinado a partir dos valores da constante dielétrica do solo, correlacionados aos dados de conteúdo de água por meio de curvas de calibração obtidas a partir dos dados de campo ou laboratório. Topp et al. (1980) estabeleceram a equação universal como independente da massa específica do solo seco. No entanto, isso nem sempre é verdade e deve ser lembrado, também, que a constante dielétrica é, em geral, sensível a presença de materiais magnéticos e de solutos no solo, tendo em vista os diferentes tipos de solo. A grande dificuldade em usar o TDR antes de qualquer estudo ou determinação de dados físicos, é justamente a necessidade da construção de uma curva de calibração do solo utilizada no experimento de campo (Minella et al., 1999). Villwock (2004) afirma que a calibração é exigida especialmente quando se trabalha com Latossolos, devido a algumas particularidades, como, por exemplo, os altos teores de Fe e argila e a expansibilidade do solo. Coelho et al. (2006) ressaltam que os modelos de calibração variam conforme o tipo de solo e que um modelo polinomial de terceiro grau pode ser calibrado com exatidão para cada situação de solo.

Para solos brasileiros, Tommaselli e Bacchi (2001) mostraram que em cinco tipos de solos (Areia Quartizosa, Podzólico Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Terra Roxa Estruturada e Latossolo

Vermelho-Escuro) na região de Piracicaba-SP, a curva genérica (Topp et al., 1980) e a curva embutida no equipamento Trase I não são aplicáveis aos solos estudados. Resultados semelhantes foram obtidos por Minella et al. (1999) num Latossolo do município de Foz do Iguaçu-PR. O instrumento TDR já tem embutida, em seu sistema, a equação gerada por Topp et al. (1980) para solos americanos mas, com base em determinações e observações de campo, Silva e Gevásio (1999) suspeitaram do uso de tal equação para os solos brasileiros, decidindo-se por elaborar uma equação específica para cada um dos diferentes tipos de solo encontrados no país.

O presente trabalho objetivou avaliar e modelar a estimativa da umidade volumétrica de água em um Latossolo Vermelho-Amarelo, com uso do TDR através da relação típica da umidade do solo com a constante dielétrica determinada pelo instrumento. A partir de experimentos realizados em laboratório, simulando as condições de campo, foram utilizados cinco modelos de calibração, três já consagrados na literatura, e dois através de modelagem computacional. Sendo proposta uma equação polinomial do 3º grau e uma equação de potência para a calibração dos sensores utilizados no solo em estudo.

2. Material e Métodos

A determinação da relação entre a constante dielétrica e a umidade volumétrica do solo foi conduzida no Laboratório de Física dos Solos da Universidade Federal de

Pernambuco (DEN-UFPE), no período de abril a julho de 2011. Os sensores TDR avaliados foram do modelo CS616, da Campbell Scientific, Inc..

O solo utilizado foi classificado, de acordo com a Embrapa (2006), como Latossolo Vermelho-Amarelo, ligeiramente ácido e boa fertilidade natural. As amostras de solo utilizadas nesse procedimento foram retiradas do IPA – Vitória de Santo Antão, nas seguintes profundidades 10, 20, 30 e 40 cm, a partir de sua superfície, que são correspondentes as profundidades do sistema radicular do café conilon, plantio que está localizado nessa área de estudo. A partir do material coletado foram geradas três amostras compostas para representar o solo desse local.

Durante os experimentos realizados em laboratório foram utilizadas caixas de acrílico semelhantes, para a pesagem de solo e de água foram utilizadas duas balanças devidamente calibradas e niveladas, uma balança com capacidade máxima de 15 kg e precisão de 5 g e outra com capacidade de 4 kg com precisão de 100 mg e um nível para nivelamento das balanças. Uma bateria de 12 V forneceu a energia para o funcionamento da central de aquisição de dados, do tipo CR10X, e os sensores de umidade do solo, do tipo CS616.

O procedimento experimental foi realizado na seguinte sequência: as amostras de solos que foram utilizadas permaneceram na estufa por 12 horas, a uma temperatura de 105 °C. Esse solo foi destorroado, para

facilitar sua acomodação na caixa acrílica. As caixas de acrílico, até então vazias, eram pesadas na balança com capacidade maior de massa, em seguida o solo a ser analisado era acomodado na mesma, então era realizada a medição da massa do sistema caixa+solo. A partir desta medida, foram calculadas a densidade e a porosidade do solo a ser analisado. Só então era inserido o sensor de umidade na caixa e realizada a medida da nova massa do sistema.

Através da porosidade foi calculada a quantidade de água a ser adicionada ao sistema caixa-solo. Essa água antes de ser adicionada, era medida em uma balança de precisão, com o uso dos béckers de 250 ml, cada um com 100 gramas, a quantidade de béckers utilizados deveria ser suficiente para atingir a saturação do sistema.

Uma vez que o sensor estava inserido no sistema, a leitura inicial do sensor de umidade, que é o período em unidades de microssegundos, era anotada. A partir de então, iniciava-se o acréscimo gradual de água no sistema. À medida que a massa de água era adicionada era anotada a nova massa do conjunto. Esse procedimento foi repetido até o solo chegar à saturação.

Os dados obtidos desse sistema experimental são: massa do conjunto, formado por massa de solo e água que foi inserida, e o período de leitura do sensor. A partir da massa do sistema pode-se calcular a massa seca e a massa ‘molhada’, que são utilizados no cálculo da umidade

gravimétrica, através da relação matemática (1):

$$\theta_g = \frac{m_{molhada} - m_{seca}}{m_{seca}} \quad (1)$$

E através do produto dessa grandeza com a densidade do solo, pode-se estimar a umidade volumétrica, pela equação (2).

$$\theta_v = \theta_g * d_{solo} \quad (2)$$

A partir dos valores encontrados no procedimento experimental, a estimativa da umidade volumétrica do solo a partir dos valores dos períodos das leituras dos sensores, foi realizada utilizando os seguintes cinco modelos matemáticos, sendo três métodos consagrados na literatura:

Equação empírica proposta por Topp et al. (1980),

$$\theta_v = -5,3 \times 10^{-2} + 2,92 \times 10^{-2} P - 5,5 \times 10^{-4} P^2 + 4,3 \times 10^{-6} P^3 \quad (3)$$

Equação empírica proposta por Malicki et al. (1996),

$$\theta_v = \frac{\sqrt{P} - 0,819 - 0,68 d_{solo} - 0,59 d_{solo}^2}{7,17 + 1,18 d_{solo}} \quad (4)$$

Pela equação polinomial sugerida pelo manual desse sensor,

$$\theta_v = -0,0663 - 0,0063 P + 0,000 P^2 \quad (5)$$

Os outros dois métodos, para relacionar a umidade volumétrica do solo com a leitura do sensor, foram através da modelagem computacional, utilizando o

programa Statistica 7. Através de regressão não linear foram propostas duas equações: uma polinomial do 3º grau e uma de potência.

Em todas as equações P é o valor da leitura do período do sensor de umidade do solo, em microssegundo.

Foi realizada uma análise estatística com os resultados encontrados, sendo utilizados os seguintes critérios: o coeficiente de determinação (R^2), o erro quadrático médio (EQM), a razão de desvios (RD), a eficiência da modelagem (EM) e o coeficiente de massa residual (CMR).

3. Resultados e Discussão

Foi realizada a análise granulométrica do solo em estudo no laboratório de Física do Solo – DEN – UFPE, utilizando o método da ABNT (1995), o qual permite determinar os diâmetros das partículas mais finas (argila e silte) por sedimentação e as mais grosseiras (areia) por peneiramento.

De acordo com a Quadro 1, os resultados obtidos mostram classes de solos que variam de franco arenosa na superfície a argilo arenosa. Com base na média podemos classificar o solo estudado como sendo de textura fina com alta capacidade de retenção de água (Argilo Arenosa).

Os resultados encontrados para a umidade volumétrica no solo, medida experimentalmente, e os períodos de leitura dos sensores medidos no laboratório, para as quatro amostras do solo em estudo com densidades diferentes, estão mostrados na

Figura 1. Esses resultados mostram o comportamento da umidade volumétrica do solo no intervalo 0,12 a 0,43 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$, esses

valores não correspondem a umidade residual de saturação encontrados nos solos estudados.

Quadro 1. Tabela de classificação granulométrica realizada num Latossolo Vermelho-Amarelo que foi utilizado nesse estudo.

Densidade ($\text{g}.\text{cm}^{-3}$)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação
1,46	60,45	20,91	18,63	Franco Arenosa
1,30	50,85	20,62	28,52	Franco Argilo Arenosa
1,20	39,66	17,71	42,62	Argila
1,16	34,55	14,93	50,51	Argila

Figura 1. Comportamento umidade volumétrica experimental em função do período de leitura do sensor medidas nas caixas de acrílico no laboratório.

Foi realizada uma não regressão linear com os valores obtidos, e a equação que

relaciona as grandezas estudadas com maior coeficiente de determinação é uma polinomial

do 3º grau ($\theta = a_0 + a_1.P^3 + a_2.P^2 + a_3.P^3$). Os coeficientes das equações e os coeficientes de

determinação encontrados em cada caso são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2. Coeficientes do modelo de regressão linear entre a umidade volumétrica (θ) e o período das leituras (P) e os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Densidade (g.cm ⁻³)	Coeficientes				R ²
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₄	
1,46	62,996	-7,5210	0,2748	-0,0033	0,9115
1,30	-5,6891	0,7714	-0,0340	0,0005	0,8713
1,20	20,375	-2,2247	0,0797	-0,0009	0,9750
1,16	25,101	-2,7659	0,1003	-0,0012	0,9734

Os resultados encontrados para a forma matemática da equação de calibração que relaciona a leitura do sensor com a umidade volumétrica estão de acordo com Silva e Gervásio (1999), os quais encontraram equações polinomiais de 3º grau para um solo do tipo Latossolo Roxo, e com um coeficiente de determinação de 0,9774. Guimarães et al. (2010) realizando calibrações, em laboratório e no campo, de sensores de umidade tipo *ThetaProbe* e CS616 encontraram equações polinomiais do 3º grau, com coeficientes de determinação muito próximos a unidade. Estes sugeriram ainda, que a calibração de um sensor de umidade não deve ser realizada com apenas um sensor do modelo que será utilizado no solo em estudo, isto porque os sensores não respondem com a mesma estabilidade e uniformidade à constante dielétrica, o que, metrologicamente falando, não se justifica, uma vez que qualquer calibração deve referir-se somente ao equipamento sob teste, não podendo ser

estendida a quaisquer outros, mesmo que de mesmo lote ou fabricante. A expressão matemática que relaciona a leitura do sensor com a umidade do solo que foi encontrada, para o experimento realizado no solo estudado está de acordo com Juhász et al. (2006) que estudaram a dinâmica da água em solos de floresta nativa na Estação Ecológica de Assis, no estado de São Paulo. Esses resultados estão de acordo com Gonçalves et al. (2011), quando estavam identificando a influência da densidade do solo na estimativa da umidade em um Nitossolo Vermelho, uma vez que o efeito da dessa grandeza física sobre a curva de calibração da TDR é altamente significativo. Kaiser et al. (2010) fazendo calibração de TDR em vários tipos de solo, encontraram curvas de calibração semelhantes. Coelho et al. (2006) também encontraram curvas semelhantes na figura 1, quando compararam a umidade estimada por um modelo polinomial cúbico com a umidade gravimétrica em Latossolo Vermelho-Escuro

e Latossolo Amarelo.

Foi realizada a análise do comportamento da umidade volumétrica do solo para cada densidade, com a utilização das equações (3), (4) e (5), a polinomial de 3º

grau e a equação de potência. Esses valores foram confrontados com os valores de umidade volumétrica obtidos experimentalmente durante os procedimentos em laboratório (Figura 2).

Figura 2. Comportamento da umidade volumétrica do solo em função da leitura do sensor de umidade analisado pelos métodos propostos, no intervalo de umidade volumétrica entre 0,12 a 0,43 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$.

Esses resultados estão de acordo com Kaiser et al. (2010), que após realizarem calibrações em TDR confrontaram os resultados obtidos entre a umidade estimada e a observada em diferentes tipos de solo. Assim como, Teixeira et al. (2003) quando estavam verificando a influência do modo de inserção da sonda do TDR, na estimativa da umidade em Latossolo Amarelo.

Através da modelagem matemática para uma equação de potência que relaciona umidade volumétrica e o período das leituras, foram encontrados os coeficientes dessa

equação para cada densidade, esses resultados são apresentados no Quadro 3. Analisando esses resultados pode-se verificar que os parâmetros de ajustes da curva obedecem uma tendência de acordo com os valores das densidades do solo. Para os valores maiores dessa grandeza tem-se que os valores de m com valores próximos a -200 e valores de n abaixo de 0,5. Já para os valores de densidade mais próximos a unidade, tem-se que os valores de m são em torno de -28 e os valores de n se aproximam de 1.

Quadro 3. Coeficientes do modelo da equação de potência entre a umidade volumétrica (θ) e o período das leituras (P), relacionados pela seguinte equação $\theta = \theta_{\text{menor}} + (\theta_{\text{maior}} - \theta_{\text{menor}}) \cdot \left[1 + \left(\frac{P}{Pg} \right)^m \right]^{-n}$.

Densidade ($\text{g}.\text{cm}^{-3}$)	Coeficientes					
	θ_{menor}	θ_{maior}	Pg	M	n	R^2
1,46	0,133	0,402	28,16	-181,3	0,33	0,9684
1,30	0,159	0,425	29,67	-198,4	0,28	0,9811

continuação						
1,20	0,127	0,428	28,79	-28,22	1,20	0,9877
1,16	0,126	0,427	28,2	-27,00	0,85	0,9906

Foi realizada a análise estatística entre os valores de umidade volumétrica encontrados experimentalmente e os valores estimados pelos métodos utilizados (Topp, Equação de Potência, Polinomial 3º Grau, Malicki, Manual), sendo apresentado no Quadro 4. O valor de EQM indica o grau de desvio entre as determinações experimentais e os valores calculados pelo modelo teórico correspondente, expresso como percentagem da média das determinações experimentais e o valor esperado de EQM tende a zero, quando os valores estimados e os teóricos tendem a ser iguais. Os menores valores de EQM, entre 3,33% a 6,38%, foram obtidos para a Equação de Potência para as quatro densidades analisadas. O RD descreve a razão entre o espalhamento dos valores calculados pelo modelo teórico correspondente, o valor esperado tende a 1, quando os valores estimados e os obtidos do modelo teórico são consistentes. Valores bem próximos a 1 (um) foram obtidos para o modelo da equação de potencia. O EM indica se o modelo teórico

fornece uma estimativa melhor das determinações experimentais que o valor médio dessas determinações, assim como o RD seu valor esperado tende a 1 (um). Valores tendendo ao esperado foram obtidos para o modelo da Equação de Potência, em todas as densidades estudadas. O CRM tende a zero na ausência de desvios sistemáticos entre valores teóricos e experimentais, como também indica se o modelo tende a superestimar ou a subestimar, com valores de CRM negativos ou positivos, respectivamente. Os valores obtidos para o modelo da Equação de Potência foram os mais próximos de zero, quando comparados aos demais modelos propostos nesse estudo. Numa análise global, o modelo da Equação de Potência proposto que é proposto nesse estudo parece ser o mais recomendado para relacionar o comportamento da umidade volumétrica do solo com a permissividade elétrica do meio, pois comparando com os demais modelos propostos, esse apresenta os melhores resultados estatísticos.

Quadro 4. Resultado da análise estatística sobre a comparação entre os valores experimentais obtidos e os estimados pelos métodos utilizados nesse estudo para a umidade volumétrica do solo, para o intervalo de 0,12 a 0,43 cm³.cm⁻³.

Modelos	EQM	RD	EM	CMR	R ²
			1,45 g.cm ⁻³		
Topp	63,9058	0,3170375	-2,87056	-0,5741458	0,6702
Equação					
Potência	5,870229	0,90533154	0,967341	-0,00016	0,9726

continuação					
Polinomial					
3º Grau	20,72301	1,419492941	0,592996	0,149359899	0,8536
Malicki	28,76668	8,042931	0,215717	0,093167417	0,6872
Manual	20,783	2,68991318	0,590636	-0,075047	0,7273
1,30 g.cm⁻³					
Topp	54,14535	0,368004	-2,4096	-0,48002	0,6301
Equação					
Potência	3,335623	0,935967	0,98706	0,002977	0,9887
Polinomial					
3º Grau	20,58907	0,571801	0,506992	-0,12812	0,8166
Malicki	24,3922	12,31049	0,308037	-0,04445	0,6503
Manual	22,19348	1,353576	0,427162	-0,14674	0,6959
1,20 g.cm⁻³					
Topp	62,0301	0,368667	-2,2273	-0,56079	0,7874
Equação					
Potência	4,255539	0,990032	0,984811	-0,0155	0,9869
Polinomial					
3º Grau	19,28623	0,682379	0,688019	-0,13909	0,8896
Malicki	32,06773	2,038758	0,137478	-0,21	0,8174
Manual	27,38092	0,647475	0,371175	-0,24016	0,8649
1,16 g.cm⁻³					
Topp	60,67748	0,402429	-2,06032	-0,54093	0,8544
Equação					
Potência	6,385518	1,107084	0,966107	0,030044	0,9753
Polinomial					
3º Grau	18,19546	0,80317	0,724807	0,002361	0,7792
Malicki	33,63959	2,007999	0,059382	-0,2209	0,8406
Manual	20,5843	0,932731	0,647804	-0,12825	0,7906

A disparidade de comportamento encontrado entre os resultados apresentados, podem ser atribuídos a problemas com a alteração da densidade do solo por ocasião da instalação das hastes no solo (Chicota & Lier, 2004).

Mesmo não sendo um estudo específico sobre calibração e se considerando suas limitações, o experimento produziu resultados que contribuem para melhor compreender esta técnica, exibindo indicativos de deficiências e possíveis

dificuldades no seu uso no campo. Este trabalho evidencia, ainda, a necessidade de testes detalhados antes de se validar o uso de novos dispositivos de medição, e não apenas da umidade do solo. É corriqueira a impressão de que equipamentos lançados mais recentemente, em geral com vários componentes eletrônicos, sejam mais modernos e, portanto, melhores, mais confiáveis. O pesquisador deve estar atento para não cair nesta simplificação e, muitas vezes, gastar mais dinheiro das instituições

financiadoras para obter resultados piores.

4. Conclusões

1. O modelo da equação de potência proposta é o modelo que melhor se adéqua na medição da umidade volumétrica do solo, no intervalo de 0,12 a 0,43 cm³.cm⁻³. Este apresentou resultados mais próximos aos valores medidos que os modelos proposto por Topp et al. (1980), Malicki et al. (1996), pela equação polinomial do 3º grau, encontrada no início das análises desse estudo, e pela equação polinomial de 2º grau sugerida pelo manual.

2. A utilização dos valores de umidade volumétrica encontradas por esse tipo de sensor de umidade no solo, tipo CS616, sem uma calibração prévia no tipo de solo a serem inseridos, podem levar a erros de grande magnitude nas interpretações dos resultados obtidos. Pois, apesar das vantagens desse método sua aplicabilidade no campo requer uma calibração prévia, seja em laboratório ou *in-loco* no solo do local onde serão realizadas medições de umidade volumétrica, dos sensores a serem utilizados em quaisquer tipos de solo.

5. Referências

CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. (2011). CS616 and CS625 Water Content Reflectometers. Logan, Utah. U.S.A.

Cecílio, R.A.; Silva, D.D.; Pruski, F.F. & Martinez, M.A. (2003). Modelagem da

infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de Green-Ampt. Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, 7:415-422.

Chicota, R.; Lier, J. (2004). Avaliação no campo de um TDR segmentado para estimativa da umidade do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.8, n.1, p.72-78.

Coelho, E. F.; Vellame, L. M.; Coelho Filho, M. A.; Ledo, C. A. S. (2006). Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipode de solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo. n. 30. p. 23-30.

Gonçalves, A. C. A.; Trintinalha, M. A.; Tormenta, C. A.; Folegatti, M. V. (2011). Influencia da densidade do solo na estimativa da umidade em um nitossolo vermelho distroférico, por meio da técnica TDR. Revista Brasileira de Ciência do Solo. n. 35. p. 1551-1559.

Guimarães, C. M.; Stone, L. F.; Brunini, O. (2006). Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 1, p. 70-75.

Juhász, C. E. P.; Cooper, M.; Cursi, P. R.; Ketzer, A. O.; Toma, R. S. (2007). Savanna woodland soil micromorphology related to

water retention. *Scientia Agricola*, v.64, n.4, p.344-354.

Kaiser, D. R.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M.; Minella, J. P. G. (2010). Dielectric constant obtained from TDR and volumetric moisture of soils in southern Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. n. 34. p. 649-658.

Lima, J. R. S.; Dantas Antonino, A. C.; Andrade, A. P.; Souza, C.; Soares, W. A.; Souza, E. S.; Da Silva, I. F. (2006). Comparação da Sonda de Nêutrons e de Sensores Tipo TDR para a Determinação dos Componentes do Balanço Hídrico no Solo e Evapotranspiração do Feijão Caupi. *Agropecuária Técnica*, v.27, n.1, p.21-29.

Maniere, J. M.; Vaz, C. M. P.; Maria, I. C. (2007). Sonda espiral de TDR para a medida da umidade no perfil do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. n. 31. p. 191-198.

Minella, J.P.G. et al. (1999). Calibração do TDR para um latossolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28.,1999, Pelotas. Anais...Pelotas: SBEA. 1CD-ROM.

Or, D. & Wraith, J.M. (1997). *Agricultural and environmental soil physics*. Logan, Utah State University. 218p.

Santos, M. R.; Zonta, J. H.; Martinez, M. A. (2010). Influência do tipo de amostragem na constante dielétrica do solo e na calibração de

sondas TDR. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 34:299-307.

Silva, E. L.; Gervásio, E. S. (1999). 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*. 3:417-420.

Teixeira, W.G.; Schroth, G.; Marques, J.D. & Huwe, B. (2003). Sampling and TDR probe insertion in the determination of the volumetric soil water content. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:575-582.

Teixeira, C.F.A.; Moraes, S.O. & Simonete, M.A. (2005). Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:161-168.

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

Topp, G. C.; Davis, J. L.; Annan, A. P. (1980). Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*. Washington, v. 16.

Villwock, R.; Tavares, M.H.F. & Vilas Boas, M.A. (2004). Calibração de um equipamento TDR em condições de campo. *Irriga*, 9:82-88.