

UMIDADE DO SOLO EM CULTIVO DE MILHO EM ARAPIRACA - AL COM TÉCNICA DE REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO

RUI PALMEIRA MEDEIROS¹; JOSÉ LEONALDO DE SOUZA²; RICARDO A.
FERREIRA JUNIOR³; GUILHERME B. LYRA⁴; GUSTAVO B. LYRA⁵; MARCOS A.
DOS SANTOS⁶; ANTHONY C. S. PORFIRIO⁷

1- Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia, Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Maceió – AL, ruipmedeiros@hotmail.com.

2 - Meteorologista, Prof. Associado Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Inst. de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió – AL.

3 - Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Agronomia, Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Maceió – AL.

4 - Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor, Dep. de Solos, Engenharia e Economia Rural, Centro de Ciências Agrárias, UFAL, Maceió – AL.

5 - Meteorologista, Prof. Adjunto, Dep. de Ciências Ambientais, Inst. de Florestas, UFRRJ, Seropédica – RJ.

6 - Graduando em Agronomia, Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Inst. de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió – AL.

7 - Graduando em Meteorologia, Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Inst. de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió – AL.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de
2009 - Grandarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG

RESUMO: O objetivo deste trabalho é mostrar a variação da umidade do solo utilizando medidas com sensores automáticos (refletômetro de conteúdo de água) sem calibração e calibrados, na cultura do milho (*Zea mays* L.) em Arapiraca - AL (09°48'55,1" S; 36°36'22,8" O e 236m), no período de maio a outubro de 2008. A distribuição das medidas indicou a necessidade de calibração com os dados do solo local. As maiores diferenças entre os valores são observadas quando a umidade do solo apresenta-se elevada. A umidade do solo sem calibração mostrou-se a maior parte do tempo inferior a umidade do solo com a calibração. A umidade no solo variou de 5,9 - 30,5 m³ m⁻³ 9,4% - 29,2 m³ m⁻³, com amplitudes de umidade de 24,6 e 19,8 m³ m⁻³, para a camada de 0 a 30 cm e 30 a 60 cm, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: umidade do solo-calibração, umidade do solo-sensor automático e milho.

UMIDADE DO SOLO EM CULTIVO DE MILHO COM TDR EM ARAPIRACA - ALAGOAS

ABSTRACT: The objective of this work is to show the variation of soil moisture using measurements with automatic sensors (water content reflectometer) without calibration and calibrated on maize (*Zea mays* L.) in Arapiraca - AL (09 ° 48 '55, 1 "S, 36 ° 36'22, 8" W and 236m) in the period between May and October of 2008. The distribution of the measures indicated the need for calibration with data from local soil. The most differences between values are observed when the soil moisture is the high soil moisture without calibration proved to be most of the time below the soil moisture with the calibration. The moisture in the soil ranged from 5.9 - 30.5 m³ m⁻³ and 9.4 - 29.2 m³ m⁻³, with humidity ranges of 24.6 and 19.8 m³ m⁻³ for the layer from 0 to 30 cm and 30 to 60 cm, respectively.

KEYWORDS: Soil moisture-calibration, soil moisture-automatic sensor, maize

INTRODUÇÃO: Medidas do conteúdo de água no solo são necessárias para determinação do balanço hídrico em condições de campo. O balanço hídrico de cultivos agrícolas proporciona informações úteis para determinação da evapotranspiração real, drenagem e disponibilidade de água (Campbell e Diaz, 1988; Brisson, 1992; Mastrorilli, 1998). A acurácia das informações derivadas do balanço hídrico do solo depende da escala de tempo e espaço das medidas de umidade do solo. Uma maior acurácia na simulação do balanço hídrico com propósitos agrícolas é baseada em conceitos físicos, requerendo compreensão de dados climáticos e do solo. Assim, medições automáticas de variáveis ambientais com maior precisão e em espaço curto de tempo (alta frequência) é de vital importância para criar e aprimorar modelos de previsão das interações no sistema solo-planta-atmosfera, que indicarão manejos obedecendo às recomendações ambientais. A partir do trabalho desenvolvido por Topp et al.(1980), a técnica de TDR (Time Domain Reflectometry) utilizada para a determinação do conteúdo de água do solo, é considerada como muito promissora. O princípio básico que fundamenta é medir o tempo de deslocamento em nano segundo de uma seqüência de pulsos na frequência de microondas em uma linha de transmissão, composta de hastes de aço que são introduzidas no solo. Como o solo tem constante dielétrica entre 3 e 5, o ar 1 e a água 81, quanto maior o conteúdo de água do solo maior será a constante dielétrica aparente e maior será o tempo de deslocamento do pulso aplicado. De acordo com Coelho e Souza (2007), a constante dielétrica aparente do solo é uma resultante das constantes dielétricas dos meios presentes no solo, isto é, do meio poroso (ar) da matriz do solo, do meio líquido (água), e meio sólido (partículas do solo). Diante da grande variação entre os valores da constante dielétrica da água e dos demais componentes do solo, fica caracterizado que o maior efeito no retardamento da onda é decorrente do conteúdo de água no solo, tornando-se possível, pela técnica, a sua mensuração (Tommaselli & Bacchi, 2001). A técnica da TDR reúne algumas vantagens importantes como, a característica não destrutiva, a rapidez na obtenção dos resultados e a garantia de segurança do operador no seu manuseio. Uma das características mais atrativas da técnica do TDR é a sua habilidade de monitorar contínua e simultaneamente o conteúdo de água do solo em vários locais (Tommaselli, 1997).O objetivo do trabalho foi de mostrar a variação da umidade do solo em cultivo de milho na região de Arapiraca, AL, utilizando sensores automáticos CS616 (tipo TDR) (refletômetro de conteúdo de água) calibrados com dados de campo de umidade gravimétrica.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi conduzido com a cultura do milho (*Zea mays* L.), em Arapiraca - AL (09°48'55,1" S; 36°36'22,8" O e 236m), no período de maio a outubro de 2008. Algumas características físicas desse solo nas profundidades de 0-30 e 30-60 cm, respectivamente são: areia (85,7 e 78,3%), argila (12,3 e 20,3%), silte (2,0 e 1,3%), densidade do solo (1,56 e 1,60 g cm⁻³) e porosidade total (0,88 e 0,84%), onde é possível se observar o caráter arenoso do solo da área. As medidas de umidade do solo foram determinadas através de sensores automáticos (tipo TDR), refletômetro de conteúdo de água (CS616 "Water Content Reflectometers", Campbell Scientific, Inc.), ligados a um sistema de aquisição de dados (CR10X), programado para fazer medidas a cada 10 segundos e armazenar a média a cada hora. As hastes de metal mediam 30 cm de comprimento e foram posicionadas verticalmente no solo, entre as plantas, dentro da fileira e nas profundidades de 0 a 30 cm e 30 a 60 cm, similar ao procedimento empregado por Kang et al., (2000). A calibração do CS616 foi feita a partir do umedecimento de solo, com a aplicação de 200 L de água em uma área de aproximadamente 2 m², delimitada por taipas, onde se encontravam instaladas os sensores de umidade do solo. Iniciou-se a coleta das amostras de solo próximo às sondas (0,2m ao redor), com o objetivo de estabelecer a relação entre a leitura do período (P) do CS616, em microssegundos, e a correspondente umidade do solo pelo método gravimétrico, considerando os

valores de campo e as umidades do solo residual e de saturação. Foram realizadas amostragens de umidade do solo (em base de peso e transformadas em base volumétricas com a densidade do solo) no local, em 15 pontos diferentes, nas mesmas profundidades onde se encontravam as sondas. Foram retiradas três amostras para cada intervalo de 10 cm até a profundidade de 60 cm, em cinco intervalos de tempo. Como as sondas mediam 30 cm, foi feita a média aritmética das umidades volumétricas para cada intervalo de 30 cm de profundidade. As amostras, de solo foram coletadas nas primeiras horas da manhã, sendo acondicionadas em latas de alumínio e plastificadas, para minimizar as perdas de umidade no momento da coleta e transporte. Imediatamente após, as amostras foram conduzidas ao laboratório para a determinação da umidade volumétrica, (EMBRAPA, 1997). A partir do conjunto de dados de umidade volumétrica (θ), umidade residual (θ_i), umidade de saturação (θ_f) e leituras do período (micro-segundos, μs) do CS616, registradas no mesmo horário da coleta das amostras, foram ajustadas curvas de calibração, e as respectivas equações para as profundidades de 0 a 30 cm e 30 a 60 cm. Os dados foram tabulados e ajustados, considerando a umidade como variável dependente e o período como variável independente. Os dados foram ajustados ao modelo de Boltzmann através do programa computacional (ORIGIN 6.0, 1999).

$$\theta = \theta_f + \frac{\theta_i - \theta_f}{1 + e^{(P-a)/b}}$$

em que: θ , é a umidade volumétrica do solo ($m^3 m^{-3}$); θ_f , é a umidade final (máxima) ($m^3 m^{-3}$); θ_i , é a umidade inicial ($m^3 m^{-3}$); e P, o período (μs) e “a” e “b” os parâmetros empíricos do modelo. Ao longo do período experimental, os dados referentes ao período (P) registrados a cada cinco minutos foram coletados, através do módulo e armazenados em disco rígido e, posteriormente, transformados em umidade do solo a partir da equação de ajuste das leituras do período do CS616. Em seguida, os valores da umidade do solo (θ) foram integrados para o período horário e diário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: As relações entre o período de onda gerado pelo TDR e a umidade gravimétrica para as profundidades de solo de 0 a 30 cm e 30 a 60 cm (Figura 1),

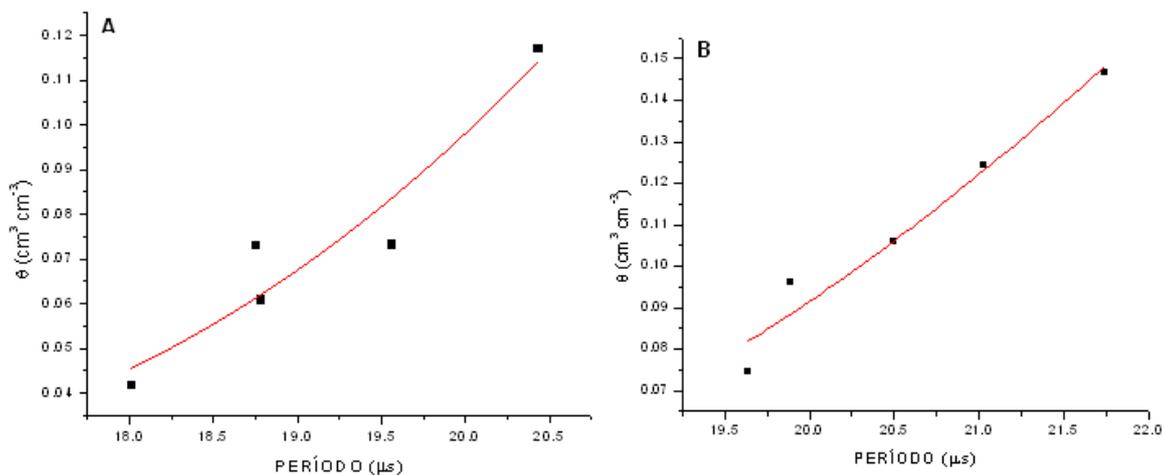


Figura 1 - Curva de Calibração da umidade volumétrica do solo (θ) obtida por gravimetria em relação ao período (micro-segundos) da onda do refletômetro. A) profundidade de 0 a 30 cm e B) profundidade de 30 a 60 cm.

serviram para determinação da umidade volumétrica do solo calibrada, para as condições do local de amostragem, e apresentaram coeficientes de determinação, respectivamente, de 0,91 e 0,96. Os coeficientes de ajuste da equação foram significativos ($p < 0.05$). Utilizou-se um

modelo exponencial onde os extremos de umidade do solo inferior (inicial ou residual) e superior (final ou de saturação) foram inseridos nessa equação através do software (Tabela 1). Assim, os resultados de umidade gerados pelo modelo são válidos entre o ponto residual e a saturação de umidades volumétricas, incluindo todos os períodos de ondas medidos com o CS616.

Tabela 1 - Valores de a, b, θ_r , θ_s e R^2 encontrados para a equação de Boltzman para as camadas de solo de 0 a 30 cm e 30 a 60 cm de profundidade de solo.

Prof (cm)	A	b	θ_i ($m^3 m^{-3}$)	θ_f ($m^3 m^{-3}$)	R^2
0-30	22,43	2,09	0,0021	0,4048	0,91
30-60	22,99	2,49	0,0014	0,3903	0,96

As Figuras de 2 a 3 mostram as variações horárias da umidade volumétrica do solo, durante o ciclo da cultura do milho, nas duas camadas de solo, 0 a 30 cm (Figura 2) e 30 a 60 cm (Figura 3). Em ambas as camadas foram notáveis a diferença da umidade do solo obtida com sensores utilizando coeficientes inclusos no manual do fabricante (umidade fabricante) e os dados de umidade do solo gerados pelo modelo com dados do solo do local (umidade local).

As maiores diferenças entre os valores são observadas quando a umidade do solo apresentou-se elevada. A umidade do solo com coeficientes inclusos no manual mostrou-se na maior parte do tempo inferior a umidade do solo com coeficientes do solo local. A umidade no solo variou de 0,059 - 0,305 $m^3 m^{-3}$ e 0,094 - 0,292 $m^3 m^{-3}$, com amplitudes de umidade de 0,246 e 0,198 $m^3 m^{-3}$, para a camada de 0 a 30 cm e 30 a 60 cm, respectivamente.

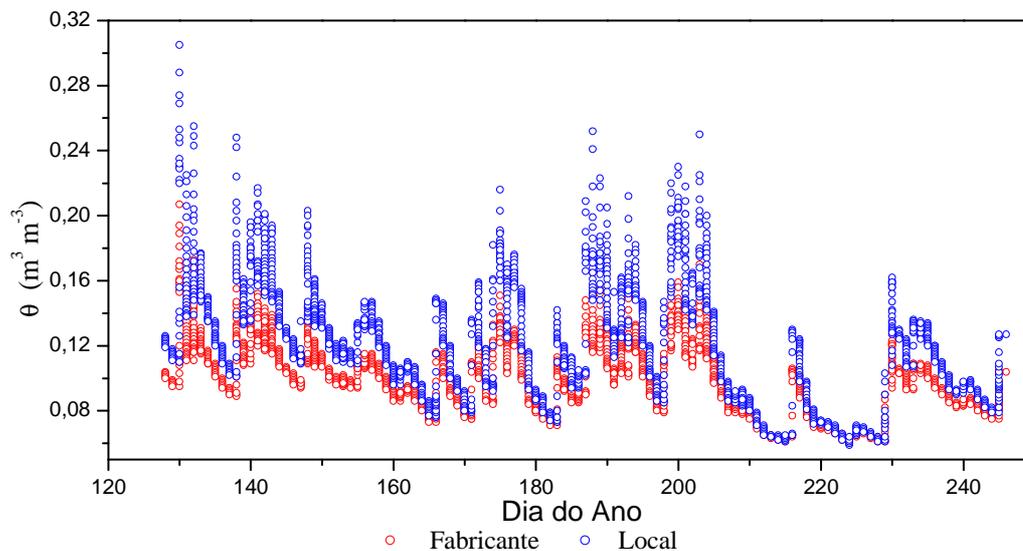


Figura 2. Variação horária da umidade volumétrica (θ) do solo obtida com sensores utilizando coeficientes inclusos no manual do fabricante (vermelho) e sensor com coeficientes do solo local (azul) com dados de campo de 0 a 30 cm de profundidade, em cultivo de milho.

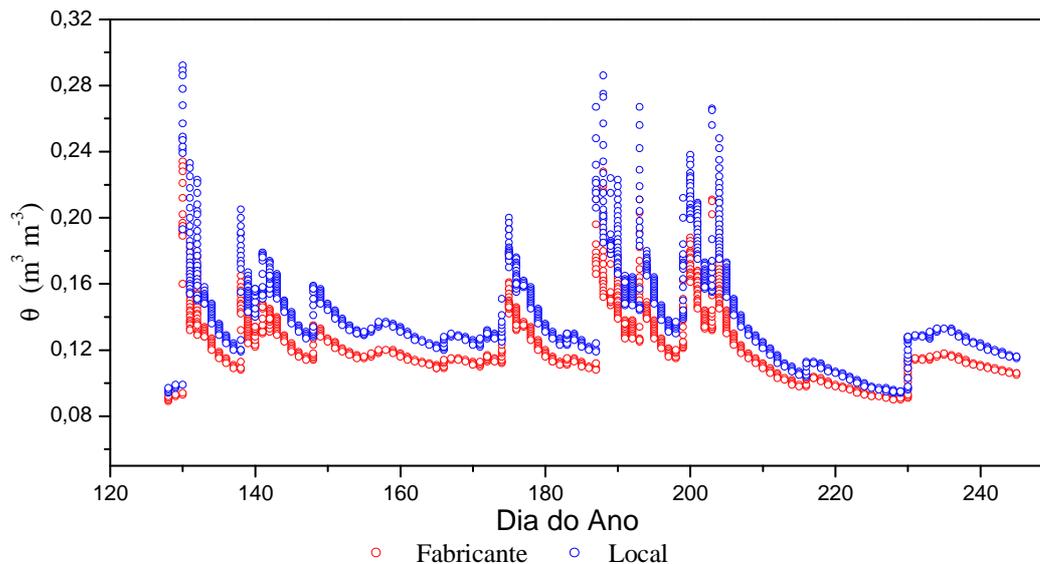


Figura 3. Variação horária da umidade volumétrica (θ) do solo obtida com sensores utilizando coeficientes inclusos no manual do fabricante (vermelho) e sensor com coeficientes do solo local (azul) com dados de campo de 30 a 60 cm de profundidade, em cultivo de milho.

CONCLUSÕES: A equação de Boltzman apresenta bom ajuste entre a umidade gravimétrica e o período da onda do sensor. As diferenças entre as umidades do TDR são típicas de solos com características físicas diferentes.

AGRADECIMENTO: CT-Hidro/CNPq 504068-03-2, CNPq-Universal 479143/2007-2, FAPEAL, CAPES, EMBRAPA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BRISSON, N., SEGUIN, B., BERTUZZI, P. Agrometeorological soil water balance for crop simulation models. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.59, p.267- 287, 1992.
- CAMPBELL, G.S., DIAZ, R. Simplified soil-water balance models to predict crop transpiration. In: Bidinger, F.R., Johansen, C., (rds.), *Drought Research Priorities for the Dryland Tropics*, Parancheru, India. ICRISAT, p.15-26, 1988.
- COELHO, E. F.; SOUZA, C. F. Uso da reflectometria no domínio do tempo (TDR) para determinação da umidade do solo e condutividade elétrica do solo. **Workshop sobre sistemas de aquisição e armazenamento de dados para avaliação das relações hídricas das plantas**; EMBRAPA. 18 a 19 de setembro de 2007, Cruz das Almas, BA;CD room
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Rio de Janeiro. Embrapa CNPS, p. 212, 1997
- KANG, S.; SHI, W. & ZANG, J. An improved water-use for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field crop research*, v.67, p.207-214, 2000.
- 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.
- ORIGIN-Origin user's manual.Microcal software, inc.1999,774p.
- TOMMASELLI, J. T. G. **Influência de algumas características do solo sobre a calibração de um aparelho TDR (Time domain reflectometry)**. Piracicaba, 1997. 108 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Universidade de São Paulo.

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

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