

Aderson S. de Andrade Junior<sup>1</sup>Cláudio R. da Silva<sup>1</sup>Rossini Daniel<sup>2</sup>

# Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense

## RESUMO

---

Sensores de umidade do solo por capacitância são alternativas aos métodos comuns de quantificação do conteúdo de água do solo, fornecendo leituras seguras, rápidas e em profundidade. Neste estudo, uma sonda de capacitância (Diviner 2000<sup>®</sup>) foi calibrada para um Latossolo Amarelo da microrregião do Litoral Piauiense. Seis tubos de acesso foram instalados em uma disposição de 5 m por 2 m e três níveis de umidade (seco, úmido e saturado) foram aplicados em duas repetições. As leituras do equipamento, para cada 0,1 m de solo até 1,0 m de profundidade foram relacionadas com a umidade volumétrica. A equação de calibração, ajustada por análise de regressão, foi significativamente relacionada com as medidas do equipamento, com alta correlação ( $R^2 = 0,97$ ) e baixo erro-padrão ( $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). A curva de calibração sugerida pelo fabricante é aplicável ao solo estudado.

**Palavras-chave:** Diviner 2000<sup>®</sup>, umidade volumétrica, FDR, irrigação

## Field calibration of water capacitive sensor in a Yellow Latosol of coastal region, in the of State Piaui, Brazil

## ABSTRACT

---

Capacitance sensors are alternatives to most common methods of quantitative measurement of soil water content, providing readings safely and rapidly with depth. In this study, a capacitance probe (Diviner 2000<sup>®</sup>) was calibrated for a Yellow Latosol of coastal region in, Piaui State, Brazil. Six access tubes were installed in a 5 m by 2 m grid. Three moisture levels (wet, moist and dry) were applied in two replications. The device readings at interval of 0.1 m until 1.0 m depth were compared with volumetric measurements. The calibration equation, adjusted by regression analysis, was significantly ( $p < 0.001$ ) related to measurements of equipment with high correlation ( $R^2 = 0.97$ ) and lower standard error (RMSE) ( $0.01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). Calibration provided by manufacture was suitable for this soil.

**Key words:** Diviner 2000<sup>®</sup>, soil moisture, FDR, irrigation

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Embrapa Meio-Norte.  
E-mail: aderson@cpamn.embrapa.br,  
claudio@cpamn.embrapa.br

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande, PB.

## INTRODUÇÃO

Diversos são os métodos que quantificam a umidade do solo, como o gravimétrico, considerado o método direto padrão, além dos métodos indiretos que estimam a partir de outras propriedades do solo, tais como a termalização de neutros, resistência elétrica, reflectometria no domínio do tempo (TDR) e a frequência no domínio do tempo (FDR) (Souza & Matsura, 2002).

Em alguns novos sensores FDR, conhecidos também como sensores de umidade do solo por capacitância, se incluem as sondas EnvironScan® e Diviner 2000® (Sentek Pty Ltda, Austrália). Essas sondas estão sendo utilizadas para auxiliar no monitoramento da água do solo e/ou manejo de irrigação e apresentam, como principais vantagens, segurança ao operador em virtude de não estar próximo à fonte radioativa, como as sondas de neutrons; o fornecimento de leituras rápidas e precisas em profundidade; facilidade de operação e permitem, ainda, o acoplamento em sistemas automáticos de coleta de dados (Gardner et al., 1991).

Basicamente, a sonda é constituída de um par de eletrodos que funciona como um capacitor eletrônico; quando ativado, a matriz solo-água-ar forma o meio dielétrico (isolante) do capacitor. Desde que a área dos eletrodos e a distância entre eles são fixas na sonda, a capacitância aumenta consideravelmente com um aumento no número de moléculas de água livres e com seus dipolos respondendo ao campo elétrico criado pelo capacitor (Paltineanu & Starr, 1997; Sentek, 2000).

O capacitor é conectado a um circuito LC (L - indutor; C - capacitor) resultando que as trocas de frequência do circuito dependem das trocas de capacitância na matriz, ou seja, quanto maior a umidade do solo maior também será a capacitância e, conseqüentemente, menor frequência (F) do circuito, medida pela fórmula universal  $F = [2\pi\sqrt{LC}]^{-1}$  (Paltineanu & Starr, 1997). Um aspecto interessante é que tais sensores são construídos de modo a oscilarem próximo a 100 MHz (dentro do tubo de acesso) para reduzir o efeito da acidez e salinidade do solo (Gardner et al., 1991); entretanto, os sensores de capacitância necessitam ser calibrados para fornecer leituras precisas da umidade do solo. Apesar do equipamento prover uma calibração universal, o fabricante, bem como os resultados na literatura (Paltineanu & Starr, 1997; Morgan et al., 1999; Baumhardt et al., 2000; Fares et al., 2004 e Groves & Rose, 2004), ressaltam que calibrações locais podem melhorar a precisão do equipamento, ainda que sejam trabalhosas e onerosas.

Os Latossolos estão presentes em 35% da área do Estado do Piauí (aproximadamente nove milhões de hectares); apresentam grande importância, haja vista que a área total dos Latossolos, cerca de 77%, tem potencial para a agricultura, especialmente com irrigação (EMBRAPA, 1989).

Considerando que o manejo racional da irrigação é de importância fundamental, sobretudo em regiões como o Nordeste do Brasil, na qual os recursos hídricos e energéticos são limitados, além das dificuldades práticas para o usuário deste equipamento quanto à calibração em campo, este trabalho teve como principais objetivos: (i) determinar uma equação de

calibração específica para um Latossolo do Estado do Piauí; (ii) comparar esta calibração com a curva fornecida pelo fabricante e com outras calibrações em campo, relatadas na literatura.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área experimental

O trabalho foi executado no Campo Experimental da EMBRAPA Meio-Norte, situado no município de Parnaíba, PI (03°05'S; 41°47'W e 46 m de altitude). A temperatura média anual do ar é de 27,9 °C com umidade relativa média do ar de 74,9%, evapotranspiração de referência média de 5,4 mm dia<sup>-1</sup> e precipitação anual de 1.300 mm concentradas, porém, de janeiro a maio (Bastos et al., 2000).

A instalação dos tubos de acesso, coleta de amostras e análise dos dados, foi realizada no mês de dezembro de 2005 (final do período seco).

O experimento foi instalado em um solo não-vegetado, classificado como Latossolo Amarelo distrófico, com as seguintes características principais: solo profundo, acentuadamente drenado, de textura variando de média a argilosa no horizonte B, densidade do solo relativamente alta (1,3 a 1,6 kg dm<sup>-3</sup>), o que implica em porosidade total mais baixa em relação a outros solos (Melo et al., 2004). Na Tabela 1 são apresentadas algumas características físicas deste solo.

**Tabela 1.** Propriedades físicas de um Latossolo Amarelo distrófico localizado no Parnaíba, Piauí

**Table 1.** Physical properties of yellow Latosol dystrophic localized in Parnaíba, Piauí

Profundidade (m)	Horizonte	Textura (g/kg)			Classificação Textural
		Areia	Silte	Argila	
0,00 - 0,25	A <sub>p</sub>	852,0	62,0	86,0	Areia Franca
0,25 - 0,40	AB	886,0	39,0	75,0	Areia Franca
0,40 - 0,70	Bw <sub>1</sub>	854,0	61,0	85,0	Areia Franca
0,70 - 1,20	Bw <sub>2</sub>	833,0	52,0	115,0	Areia Franca
> 1,20	Bw <sub>3</sub>	807,0	77,0	116,0	Franco Arenoso

Fonte: Melo et al., 2004.

### Sonda de capacitância

Utilizou-se uma sonda de capacitância (modelo Diviner 2000®, Sentek Pty Ltd, Austrália); trata-se de um equipamento que consiste de um display com teclado e coletor de dados (datalogger) acoplado, via cabo, a uma sonda que, ao ser inserida no tubo de acesso no solo, provê automaticamente leituras do conteúdo da água a cada 0,1 m de profundidade.

A frequência de oscilação (MHz) é armazenada pelo datalogger durante um tempo fixo (1s), resultando em uma contagem que pode variar próximo a 120.000 e 160.000, dependendo das condições de umidade do solo.

Uma vez que não há exatidão nos valores de frequência (F) nas leituras realizadas por sondas diferentes, dada uma condição particular como, por exemplo, água e o ar (Sentek, 2000) o fabricante optou por fazer uma normalização das medi-

das; para isto, primeiro se registraram as leituras dentro de um tubo de PVC exposto separadamente do ar e da água ( $\cong 26^{\circ}\text{C}$ ). A saída dos dados fornecida pelo datalogger foi então denominada frequência relativa (*FR*), definida pela seguinte equação:

$$FR = (F_a - F_s)/(F_a - F_w) \quad (1)$$

em que,

$F_a$  - leitura da frequência no tubo de PVC totalmente suspenso no ar

$F_s$  - leitura da frequência no tubo de PVC no solo

$F_w$  - leitura da frequência no tubo de PVC imerso em água

Nesta calibração, os valores de  $F_a$  e  $F_w$  foram fixos para todas as medidas realizadas, sendo 164.919 e 121.850.

### Instalação dos tubos de acesso

Seis tubos de acesso feitos de PVC (DE = 56,5 mm, DI = 51 mm e comprimento de 1,5 m) foram instalados em duas linhas, usando-se uma disposição de 5 m por 2 m; às recomendações do fabricante, para garantir um bom contato entre o solo e o tubo de acesso. Na extremidade de cada tubo foram inseridos anéis de latão biselados a fim de facilitar a instalação do tubo no solo, os quais foram enterrados verticalmente (em prumo), em intervalos de 0,15 m usando-se um martelo de borracha e, após cada incremento na profundidade, usou-se um trado de ferro (47 mm) para escavar e retirar o solo do interior do tubo; desta forma, a instalação visa reduzir a formação de bolsões de ar e variações na densidade do solo adjacente ao tubo de acesso (Sentek, 2001). Ao final da instalação os tubos foram limpos internamente, com o auxílio de uma esponja acoplada em uma haste metálica. Cada tubo ficou 0,04 m acima da superfície do solo. Um cap foi firmemente colocado na extremidade superior do tubo realizando-se, também, a vedação na extremidade inferior de cada tubo com a colocação de um anel de borracha; 15 dias depois, foram abertas, manualmente, três trincheiras, com dimensões de 4 m x 1,5 m x 1,5 m de profundidade, distantes 0,4 m de cada tubo (Figura 1A).

Conforme recomendado pelo fabricante (Sentek, 2001), três níveis de umidade foram utilizados para cobrir toda a amplitude nos valores do conteúdo de água no solo, denominados saturado, úmido e seco. Dois tubos foram usados para cada nível de umidade; para o nível de saturação se aplicaram, no dia 13/12/2005,  $\cong 295$  L de água com a ajuda de um anel de infiltração (0,5 m de diâmetro) até que a frente de molhamento atingisse 1,0 m de profundidade (Figura 1B); no dia seguinte à aplicação de água, procedeu-se às leituras com a sonda e a coleta das amostras de solo, para o nível úmido, aplicou-se a mesma quantidade de água porém as leituras e amostragens foram realizadas após quatro dias. Como o experimento foi montado no final do período seco (dezembro), no nível seco se procedeu apenas às leituras e coleta do solo.

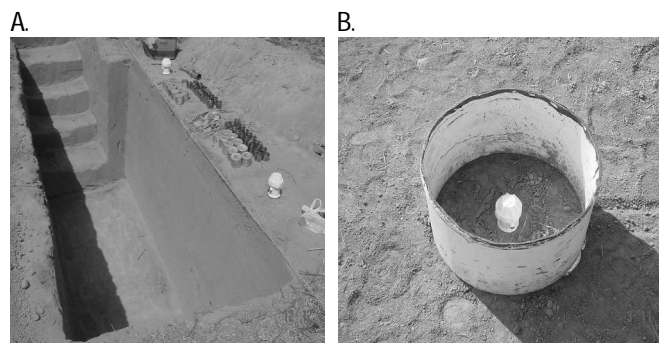


Figura 1. Trincheira aberta próxima aos tubos de acesso (A). Anel de infiltração utilizado para umedecer o solo próximo ao tubo e em profundidade (B)

Figure 1. Soil profile near to assess tubos (A) and infiltration ring utilized for wetting the soil near to tube and in depth (B)

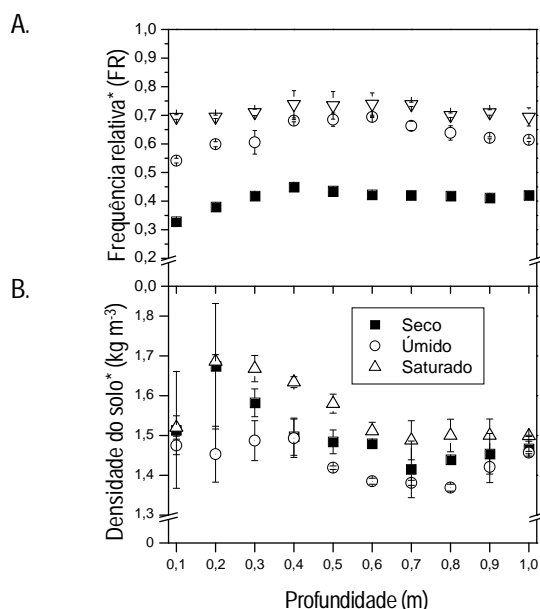
### Procedimento de leituras e amostragem do solo

Três leituras de *FR* foram realizadas para cada camada de solo (0,1 m – 1,0 m), gerando-se uma média de *FR* para cada uma das camadas; imediatamente após a realização das leituras, procedeu-se à coleta do solo para as determinações da umidade gravimétrica e densidade; para tal, a cada 0,1 m de profundidade uma amostra de solo deformada foi retirada adjacente ao tubo e colocada em uma lata de alumínio (aproximadamente 60 mm de altura por 70 mm de diâmetro) com tampa; concomitantemente, para determinar a densidade do solo duas amostras indeformadas por camada foram coletadas com anéis volumétricos (48,7 mm de altura por 52,4 mm de diâmetro) dispostos horizontalmente a 0,1 m da parede do tubo; as amostras foram então pesadas ( $\pm 0,01$  g), secas em estufa ( $105^{\circ}\text{C}$ ) e pesadas novamente, após 48 h. A umidade volumétrica ( $\theta_v$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) em cada camada de solo foi determinada multiplicando-se a umidade gravimétrica pela média da densidade do solo ( $\text{kg m}^{-3}$ ). Os valores de  $\theta_v$  e as correspondentes leituras de *FR*, foram submetidos a análise exploratória estatística básica, para definição da média, desvio padrão e erro padrão de estimativa, e análise de regressão múltipla (modelo potencial).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As leituras de *FR* sob os diferentes níveis de umidade aplicados (seco, úmido e saturado) estão presentes na Figura 2A. O maior valor encontrado foi 0,740 (saturado: 0,6 m de profundidade) e o menor de 0,329 (seco: 0,1 m de profundidade); no nível seco a *FR* aumentou linearmente até 0,4 m de profundidade, para depois praticamente estabilizar, ao longo do perfil. Os demais níveis (úmido e saturado) também exibiram variações similares ao seco, porém com uma leve queda a partir de 0,8 m de profundidade provocada, talvez, pela diminuição da profundidade de molhamento do solo. A densidade média do solo ao longo do perfil foi de 1,50, 1,43 e 1,55  $\text{kg m}^{-3}$ , para os níveis seco, úmido e saturado, respectivamente. Esta diferença pode ter sido originada por possíveis falhas na coleta das amostras de solo, para a determinação da densidade, já que o solo estava muito seco, e/ou devido à

própria variabilidade do solo. De fato, cerca de 10% das amostras tiveram que ser excluídos por erros nos valores determinados. De maneira geral, os resultados encontrados refletem aumento do teor de argila do horizonte A para B textural e decréscimo na densidade do solo (Tabela 1) (Figura 2B). Alguns estudiosos (Morgan et al., 1999 e Fares et al., 2004) relataram grandes diferenças nos valores estimados de  $\theta_v$  por calibrações locais quando comparados com valores estimados pela calibração fornecida pelo fabricante e foram diretamente associadas às diferenças quanto ao tipo, granulometria e estrutura do solo; desta forma, os resultados obtidos neste trabalho sugerem que calibrações individuais para as quatro primeiras camadas podem melhorar a precisão da estimativa enquanto apenas uma seria suficiente para o restante do perfil (0,5-1,0 m). A Tabela 3 apresenta as equações da calibração para cada camada até 0,4 m de profundidade, para a média da camada de 0,5-1,0 m e para todo o perfil do solo.



\* Resultados de densidade são médias de dois pontos e de FR são médias de três pontos. O desvio-padrão da média também está indicado com barra

**Figura 2.** Frequência relativa (FR) (A) e densidade do solo (B) ao longo do perfil do solo (0,1-1,0 m) nos três níveis de umidade propostos (seco, úmido, saturado).

**Figure 2.** Relative frequency (FR) (A) and density (B) in soil profile (0.1-1.0m) at three levels of soil moisture (dry, moist and wet)

Os coeficientes de determinação obtidos nas calibrações feitas para as camadas 0,2, 0,3 e de 0,5-1,0 foram superiores ao obtido pela regressão, considerando-se todo o perfil do solo; entretanto, quando se comparam os valores estimados de  $\theta_v$  por ambas as equações, os resultados não diferem entre si ( $p > 0,05$ ).

Com o objetivo de testar a calibração fornecida pelo fabricante e outras calibrações realizadas em campo (Morgan et al., 1999; Fares et al., 2004), utilizaram-se as equações apresentadas na Tabela 3 e se construíram as curvas com as leituras de FR realizadas em campo e a umidade estimada por cada equação. Juntamente com as curvas foram adicionados

os dados reais e a curva da calibração obtida neste estudo tendo em vista o perfil inteiro do solo (Figura 3).

Nota-se que as curvas de Fares e Morgan foram similares e superestimaram a umidade do solo em relação à calibração local, de 36,8 e 38,7%, em média, respectivamente. Entretanto,

**Tabela 2.** Equações<sup>(1)</sup> de calibração da sonda de capacitância Diviner 2000<sup>®</sup> para as camadas 0,1, 0,2, 0,3, 0,4m, de 0,5 a 1,0 m e para todo o perfil do solo. Parnaíba, PI

**Table 2.** Calibration equations<sup>(1)</sup> of Diviner 2000<sup>®</sup> capacitance probe for layers of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 m, from 0.5 to 1.0 m and for entire, soil profile

Horiz. (m)	a	b	R <sup>2</sup>	Prob>F	Erro padrão <sup>(2)</sup>	N	Umid. (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	
							Mínima	Máxima
0,1	0,4407	2,7252	0,975	<0,001	0,012	6	0,007	0,158
0,2	0,5142	3,2853	0,993	<0,001	0,005	6	0,020	0,156
0,3	0,5668	3,2784	0,998	<0,001	0,003	5	0,034	0,180
0,4	0,3767	2,4703	0,951	<0,001	0,014	5	0,051	0,193
0,5-1,0	0,3715	2,3333	0,977	<0,001	0,008	32	0,049	0,206
0,0-1,0	0,3970	2,5335	0,971	<0,001	0,010	54	0,007	0,206

<sup>(1)</sup> Regressões obtidas pelo programa Table Curve v.5.01 (SYSTAT, Software, Inc.);

<sup>(2)</sup> Erro padrão de estimativa =  $\sqrt{\text{Quadrado médio dos resíduos}}$ ;

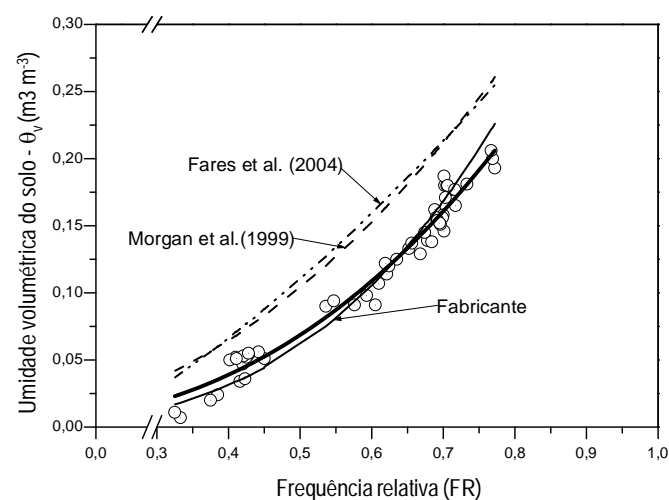
\* Os coeficientes a e b são da calibração  $\theta_v = aFR^b$ , em que: FR,  $\theta_v$  e N são a frequência relativa, umidade volumétrica (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e número de amostras usada por análise.

**Tabela 3.** Fonte de dados, equações, coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), erro-padrão e número de observações (N) de diferentes calibrações desenvolvidas com sondas de capacitância sob condições de campo.

**Table 3.** Source of data, equations, coefficient of determination (R<sup>2</sup>) standard error and number of observation (N) of different calibrations with capacitance probe under field conditions

Fonte de dados	Equação <sup>(1)</sup>	R <sup>2</sup>	Erro-padrão	N
Calibração do fabricante	$\theta_v = 0,494 FR^{3,017}$	0,99	-	-
Morgan et al. (1999)	$\theta_v = 0,451 FR^{2,121}$	0,83	0,008	-
Fares et al. (2004)	$\theta_v = 0,440 FR^{1,549} - 0,040$	0,88	0,029	60
Calibração local	$\theta_v = 0,397 FR^{2,533}$	0,97	0,010	54

<sup>1</sup> FR,  $\theta_v$ , e N são a frequência relativa, a umidade volumétrica do solo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e número de amostras usadas por análise, respectivamente.



**Figura 3.** Curvas de calibração da sonda Diviner 2000<sup>®</sup>, destacando-se a calibração local para um Latossolo Amarelo na microrregião de Parnaíba, PI, na faixa de umidade de 0,07 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> a 0,206 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>

**Figure 3.** Calibration curve of Diviner 2000<sup>®</sup> probe showing local calibration for an yellow Latosol in Microregion of Parnaíba, PI in the moisture range of 0.07 to 0.206 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>

to, a calibração sugerida pelo fabricante foi muito próxima daquela obtida para este solo, não diferindo significativamente ( $p > 0,05$ ). Esta proximidade pode ser explicada devido ao fato do fabricante ter usado em sua calibração, dados obtidos de solos arenosos, muito semelhantes, em termos de retenção de água, como o solo testado neste estudo. A calibração de Fares também foi obtida em um solo arenoso porém com menor capacidade de retenção de água, ao passo que a de Morgan foi feita para um solo argiloso.

## CONCLUSÕES

As leituras de capacitância apresentaram alta correlação ( $R^2 = 0,97$ ) e baixo erro-padrão ( $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) com as medidas da umidade volumétrica do solo, em um intervalo de aplicabilidade de  $0,07$  a  $0,21 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

A curva de calibração padrão do Diviner 2000® é aplicável ao solo Latossolo Amarelo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Técnico Agrícola Rogério Farias Cavalcante, da EMBRAPA Meio-Norte – UEP de Parnaíba, na execução dos trabalhos de campo.

## LITERATURA CITADA

- Bastos, E.A.; Rodrigues, B.H.N.; Andrade Júnior, A.S. Dados agrometeorológicos para o município de Parnaíba, PI (1990-1999). Teresina: Embrapa Meio-Norte. 2000. 27p. (Embrapa Meio Norte. Documentos, 46).
- Baumhardt, R.L.; Lascano, R.J.; Evett, S.R. Soil material, temperature, and salinity effects on calibration of multisensor capacitance probes. *Soil Science Society of America Journal*, v.64, p.1940-1946, 2000.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Diagnóstico e prioridades de pesquisa em agricultura irrigada: região Nordeste. Brasília: DPL, p. 27-162, 1989. (Embrapa - DPL. Documentos, 9).
- Fares, A.; Buss, P.; Dalton, M.; El-Kadi, A.I.; Parsons, L.R. Dual field calibration of capacitance and neutron soil water sensors in a shrinking-swelling clay soil. *Valdoso Zone Journal*, v.4, p.1390-1399, 2004.
- Gardner, C.M.K.; Bell, J.P.; Cooper, J.D.; Dean, T.J.; Hodnett, M.G.; Gardner, N. Soil water content. In: Smith, R.A.; Mullings, C.E. (ed.) *Soil analysis: Physical methods*. New York: Marcel Dekker, 1991, cap.1, p. 1-73.
- Groves S.J.L.; Rose S.C.L. Calibration equations for Diviner 2000 capacitance measurements of volumetric soil water content of six soils. *Soil Use and Management*, v.20, n.1, p. 96-97, 2004.
- Melo, F.B.; Cavalcante, A.C.; Andrade Júnior, A.S.; Bastos, E.A. Levantamento detalhado dos solos da área da Embrapa Meio-Norte/UEP de Parnaíba. Embrapa Meio-Norte. 2004. 26p. (Embrapa Meio Norte. Documentos, 89).
- Morgan, K.T.; Parsons, L.R.; Wheaton, T.A.; Pitts, D.J.; Obreza, T.A. Field calibration of a capacitance water content probe in fine sand soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.63, p.987-989, 1999.
- Paltineanu, I.C.; Starr, J.L. Real-time soil water dynamics using multisensor capacitance probes: laboratory calibration. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.61, p.1576-1585, 1997.
- Sentek. Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2001.
- Sentek. Diviner 2000: user guide version 1.21. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2000.
- Souza, C.F.; Matsura, E.E. Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.1, p.63-68, 2002.