



CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE CAPACITÂNCIA IRRIGAP PARA MEDIDA DA UMIDADE EM SOLO DE TEXTURA FRANCO ARGILOSA

B.R.S. Costa¹, J.S. Correia², L.H. Basso³

- (1) Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Rua Antônio Carlos Magalhães, 510, 48902-300, Juazeiro, BA, bruno.ricardo.silva@hotmail.com
(2) Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", FCA/UNESP, Rua José Barbosa de Barros, 1780, 18610-307, Botucatu, SP, linajua@hotmail.com
(3) Embrapa Semiárido, BR 428 km 152, 56302-970, Petrolina, PE, luis.basso@embrapa.br

Resumo: O uso de sensores de capacitância para a medida da umidade do solo necessita de calibração para garantir o melhor desempenho desses equipamentos, em função da variabilidade dos atributos dos solos. Assim, este estudo teve como objetivo a determinação e avaliação da capacidade preditiva de equações de calibração (obtidas em condições controladas) para o nó sensor capacitivo IRRIGAP, para a medida da umidade do solo de textura franco argilosa, a partir de amostras coletadas em intervalos de profundidade de 0,20-0,30 m e 0,50-0,60 m em área irrigada do município de Juazeiro, BA. Foi verificado que modelos lineares e quadráticos apresentaram desempenho satisfatório para a medida da umidade volumétrica no solo estudado, porém, para ambas as camadas de solo, funções polinomiais apresentaram um melhor ajuste e menor erro associado às previsões dessa variável em comparação às funções lineares.

Palavras-chave: manejo de água, conteúdo de água no solo, sensor de umidade.

CALIBRATION OF IRRIGAP CAPACITANCE SENSOR FOR MOISTURE MEASUREMENT IN CLAYEY LOAM SOIL

Abstract: The use of capacitive sensors for soil moisture measurement requires their calibration to ensure the best performance of them, considering the soil attributes variability. Thus, this study aimed to determine and to evaluate the predictive capability of calibration equations (obtained under controlled conditions) of the IRRIGAP capacitive sensor for moisture measurement in clayey loam soil, from samples collected in irrigated area of Juazeiro, BA, Brazil, at 0.20-0.30 and 0.50-0.60 m depth intervals. Linear and quadratic models showed satisfactory performance for soil moisture measurement for both soil layers, but polynomial functions showed a better fit and less error associated with the predictions of this variable compared to linear functions.

Keywords: water management, soil water content, moisture sensor.

1. Introdução

A definição da ocasião precisa para emprego de irrigação leva em conta as necessidades hídricas das culturas em determinada fase de desenvolvimento, bem como o monitoramento dos valores atuais da umidade no solo, de modo a evitar condições de excesso ou estresse hídrico, resultando em economia de água e minimizando possíveis efeitos de uma irrigação excessiva. Neste sentido, a determinação do conteúdo de água no solo pode ser realizada por métodos classificados como diretos ou indiretos. A característica diferencial dos métodos indiretos diz respeito à estimativa do conteúdo de água no solo a partir de outras propriedades relacionadas a essa variável (SILVA et al., 2008). Dentre os métodos indiretos para estimativa da umidade do solo, os sensores de umidade com princípio capacitivo, ou seja, baseados na medida da permissividade dielétrica do solo, são alternativas aos métodos tradicionais, permitindo a leitura rápida e segura desse parâmetro ao longo do perfil avaliado (SILVA et al., 2007). Contudo, por ser um método indireto de determinação da umidade, a utilização de sensores de capacitância está associada à necessidade de calibrações, realizadas com o intuito de incrementar a precisão nas estimativas do conteúdo de água, em virtude das condições edáficas particulares dos locais de instalação dos equipamentos. O presente estudo teve como objetivo a determinação de equações ajustadas por modelos lineares e quadráticos para a estimativa da umidade em Vertissolo Háplico, a partir do uso do nó sensor de umidade da plataforma IRRIGAP, considerando os intervalos de profundidade de 0,20-0,30 m e 0,50-0,60 m do perfil do referido solo.

2. Materiais e Métodos

No Campo Experimental de Mandacaru, pertencente à Embrapa Semiárido e situado no Perímetro Irrigado de Mandacaru, em Juazeiro – BA (latitude 9° 24' 42" S, longitude 40° 29' 55" O, altitude 368 m), amostras de solo foram coletadas, com uso de trado, a 0,20-0,30 m e 0,50-0,60 m de profundidade, em um solo classificado como Vertissolo. As amostras foram homogeneizadas em 3 amostras compostas, representativas de cada camada e submetidas ao peneiramento e secagem em estufa a temperatura de 105° C até peso constante, para determinação da massa de solo seco. A composição granulométrica, densidade do solo (d_s), densidade das partículas (d_p) e porosidade total (α) das amostras, foram determinadas segundo os procedimentos descrito por Donagema et al. (2011). A condutividade elétrica (CE_{es}) e o pH foram determinados a partir da extração da solução do solo pelo método da pasta saturada. O sensor utilizado para o monitoramento da umidade do solo foi o nó sensor sem fio IRRIGAP, que possui princípio de funcionamento capacitivo, apresentando eletrodos em geometria espiralada distribuídos em seção de 10 cm em torno de uma haste cilíndrica.

Colunas de solo seco com o sensor de umidade instalado de forma centralizada nas amostras foram montadas, utilizando um cilindro de PVC com diâmetro nominal (DN) de 0,100 m, diâmetro interno (DI) de 0,097 m e 0,175 m de altura. A haste cilíndrica do sensor apresentou diâmetro de 0,025 m e altura de 0,195 m. Na montagem do cilindro foi acoplada uma grelha de PVC em uma das suas extremidades, além de uma manta geotêxtil (bidin) recortada em formato circular e colocada no interior deste. Foi utilizado uma massa de solo seco padrão, equivalente a 1,463 kg, assumindo-se o valor médio de 1400 kg m⁻³ para a densidade do solo e um volume de 1,045.10⁻³ m³. Tal valor foi obtido pela diferença entre o volume referente ao espaço interno do cilindro de PVC (de 1,109.10⁻³ m³, calculado com base na altura de 0,15 m assumida para a amostra padrão) e à haste do sensor inserida na amostra (de 6,381.10⁻⁵ m³, considerando a altura de 0,130 m equivalente à profundidade alcançada pelo equipamento inserido no solo).

Após a montagem, as colunas de solo seco foram submetidas à saturação por capilaridade, permanecendo parcialmente imersas em um recipiente com água por um período de 48 horas. Em seguida, em condições ambientais controladas, foram realizadas pesagens sucessivas do conjunto contendo as amostras saturadas com o sensor instalado, de modo a se obter valores da variação da massa de água (em kg, convertidos posteriormente em umidade volumétrica θ , em m³ m⁻³) contida nas mesmas, além dos correspondentes valores da variação da voltagem de saída do sensor (em V). Para estas observações foram utilizados, respectivamente, uma balança eletrônica digital, com resolução de 0,01g, e um multímetro digital, na escala de 2 V, com resolução de 0,001 V e exatidão de $\pm(0,5\%+3d)$. As observações das variáveis mencionadas foram realizadas diariamente, a cada 0,5 horas, durante um período de 4 horas e em seguida as amostras úmidas foram submetidas à secagem em estufa a uma temperatura de 40°C por 4 horas, de modo a acelerar o seu processo de secagem.

A partir da correspondência entre os valores de ambas as variáveis observadas, foram determinadas equações ajustadas à distribuição dos dados obtidos, por meio de método estatístico de análise de regressão, considerando modelos lineares e não lineares para esta representação. Nos modelos obtidos, assumiu-se a relação entre a variável independente X, referente à resposta do sensor e a variável dependente Y, ou seja, θ . As funções foram então avaliadas quanto aos índices estatísticos referentes ao coeficiente de correlação (r); coeficiente de determinação (r^2); índice de concordância (d) (Willmott, 1981); e índice de desempenho (c) (Camargo e Sentelhas, 1997). A validação e comparação do desempenho dos modelos, no que concerne à estimativa de θ , foi realizada a partir da relação linear entre os valores observados (O_i) e simulados (P_i) dessa variável a partir das funções de regressão obtidas. De modo complementar, foi determinada a raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) produzido por cada equação de calibração, além dos seus componentes, denominados erro sistemático (RMSE_s) e erro não sistemático (RMSE_v), conforme descrito por Willmott (1981).

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados os resultados referentes aos atributos físicos e químicos das amostras de solo, ambas pertencendo à classe textural franco argilosa. Além da predominância da argila, foi observada a modificação no volume do solo, referente à expansão e contração das amostras, em função do regime de umedecimento e secagem ao qual foram submetidas. Estas alterações, atribuídas ao alto teor de argilominerais 2:1 no solo, influenciaram o cálculo do volume total das amostras, densidade, porosidade e, conseqüentemente, a determinação de θ e a elaboração das equações de calibração.

Tabela 1. Atributos físicos e químicos das amostras de solo.

Prof. (m)	Granulometria (kg kg ⁻¹)			Densidade (kg m ⁻³)		α (%)	CE_{es} (dS m ⁻¹)	pH
	Areia Total	Silte	Argila	Solo	Partículas			
0,20-0,30	0,310	0,307	0,384	1355	2530	46,43	0,73	7,96
0,50-0,60	0,336	0,265	0,399	1400	2480	43,77	0,53	7,93

α : porosidade total do solo (%); CE_{es} : condutividade elétrica do extrato da pasta saturada (dS m⁻¹)

Os gráficos de dispersão apresentados na Figura 1 representam a relação entre os valores de tensão elétrica de saída do sensor (V) e os respectivos valores de θ (m³ m⁻³) das amostras de solo, bem como as equações ajustadas. A relação diretamente proporcional entre as variáveis é explicada devido ao princípio de funcionamento do sensor capacitivo, o qual está baseado na variação da permissividade dielétrica do solo. Essa última se dá,

principalmente, em função do conteúdo de água no solo, dada à amplitude dos valores da constante dielétrica (K) das suas frações constituintes. De acordo com Silva et al. (2008), os valores de K para a fração gasosa e sólida variam de 1 e 2 a 5, respectivamente, enquanto para água K é de aproximadamente 81. A relação linear para calibração de um sensor capacitivo foi descrita por Miranda et al. (2007) para um solo de textura arenosa (Neossolo Quartzarênico). Contudo, em função da distribuição do conjunto de dados referentes às variáveis analisadas, viu-se que o efeito quadrático foi estatisticamente significativo ao nível de 95% de probabilidade e promoveu melhores estimativas desse parâmetro para o solo de textura franco argilosa em questão, em ambas as camadas avaliadas. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Miranda et al. (2007) e Barbosa (2011), que consideraram o modelo polinomial na calibração de sonda de capacitância em Cambissolo e Argissolo. A Tabela 2 a seguir resume os índices estatísticos para avaliação comparativa dos modelos.

Tabela 2. Índices estatísticos dos modelos linear e quadrático da calibração do sensor.

Prof. (m)	Modelo	r	r ²	d	c	RMSE	RMSE _s	RMSE _u
0,20-0,30	1	0,892	0,796	0,941	0,839	5,294.10 ⁻²	2,389.10 ⁻²	4,724.10 ⁻²
	2	0,985	0,969	0,977	0,992	2,060.10 ⁻²	3,617.10 ⁻³	2,028.10 ⁻²
0,20-0,30	1	0,875	0,766	0,930	0,813	4,488.10 ⁻²	2,173.10 ⁻²	3,927.10 ⁻²
	2	0,973	0,946	0,959	0,986	2,150.10 ⁻²	4,988.10 ⁻³	2,092.10 ⁻²

1: modelo linear; 2: modelo quadrático; r: coeficiente de correlação; r²: coeficiente de determinação; d: índice de concordância; c: índice de desempenho; RMSE: raiz quadrada do erro quadrático médio (m³ m⁻³); RMSE_s: raiz quadrada do erro sistemático (m³ m⁻³); RMSE_u: raiz quadrada do erro não sistemático (m³ m⁻³).

Foi comprovada a existência de um grau elevado de associação entre θ e a resposta do sensor, segundo o coeficiente r, indicando uma boa precisão dos modelos propostos. De modo semelhante, os valores de r² próximos de 1,0 demonstraram que grande parte da variação de θ pode ser explicada pela variação na resposta do sensor. O elevado grau de concordância entre os valores observados e estimados (Figura 2), segundo o índice d, confirmam a exatidão dos modelos para a determinação de θ . Esta exatidão também é evidenciada em função dos valores do intercepto b₀ e inclinação b₁ dos modelos lineares referentes à relação entre a θ observada e θ simulada serem próximos de 0,0 e 1,0, respectivamente. Além disso, valores elevados do índice c indicaram um desempenho das equações de calibração classificado como ótimo (c > 0,85), com exceção dos modelos lineares, os quais receberam a classificação “muito bom” (0,75 < c ≤ 0,85). Com relação ao erro médio associado às estimativas de θ , as equações polinomiais estão relacionadas à valores inferiores de RMSE em comparação com àqueles referentes às equações lineares em ambas as profundidades.

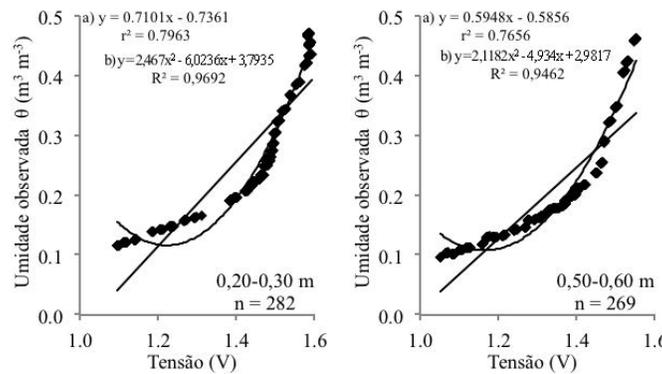


Figura 1. Valores de tensão elétrica de resposta do sensor IRRIGAP em função da variação de θ e modelos de regressão linear (a) e quadrático (b) ajustados.

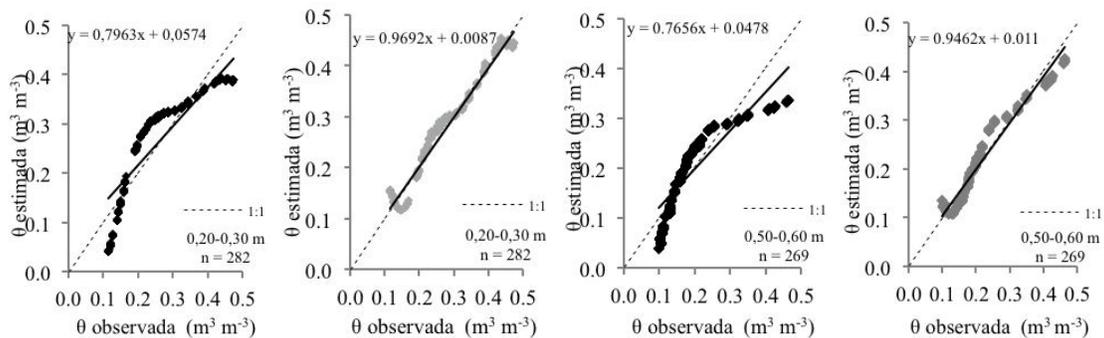


Figura 2. Valores de θ observados e simulados a partir dos modelos lineares (pontos em preto) e quadráticos (pontos em cinza).

4. Conclusões

Modelos quadráticos apresentaram um melhor desempenho para a estimativa da umidade em solo de textura franco argilosa a partir do uso do sensor capacitivo IRRIGAP.

Agradecimentos

À FAPESB, à Rede de Agricultura de Precisão da Embrapa e à Enalta.

Referências

- BARBOSA, M.A.G. Calibração e uso de sensores FDR para determinação da umidade e salinidade em dois tipos de solos. 2011. 89f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) -Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró.
- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- DONAGEMA, G.K., CAMPOS, D. V.B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. V. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132)
- MIRANDA, F.R. de; SANTANA, M.G.S. de; SOUZA, C.C.M. de; OLIVEIRA, C.H.C. de. Calibração do sensor dielétrico ECH2O em dois tipos de solo. *Revista Ciência Agronômica*, v.38, n.3, p.317-321, 2007.
- SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, S. de A.; ALVES JÚNIOR, J.; SOUZA, A. B. de; MELO F. B.; COELHO FILHO, M. A. Calibration of a capacitance probe in a Paleudult. *Scientia Agrícola*, v.64, n.6, p. 636-640. Piracicaba. 2007.
- SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, S. de A.; SOUZA, C. F. Aspectos práticos na utilização da técnica de capacitância: desafios e aprendizagem. In: II Workshop de aplicações de técnicas eletromagnéticas para o monitoramento ambiental. 2008.
- WILLMOTT, C.J. On the validation of models. *Physical Geography*, v.2, p.184-194, 1981.