

METODOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA NO SOLO: SENSOR DE SINAIS ELÉTRICOS

G. J. SILVA¹; A. BIANCHINI²; J. C. de S. MAIA²; M. M. ESPINOSA³; R. P. ROSA⁴; R. F. DAROS⁴.

RESUMO: O conhecimento e ou o monitoramento do conteúdo água do solo são exigências para o desenvolvimento de uma agricultura produtiva e sustentável, bem como, para inúmeros estudos em ciência do solo e irrigação. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o uso de sensores de sinais elétricos de fabricação artesanal, no monitoramento do conteúdo de água do solo em laboratório. Para tal propósito, sondas de aço inox foram inseridas em amostras de solo em anéis de Uhland. As amostras foram saturadas com água destilada e a variação de suas massas foi registrada após depleção da água em coluna de areia e em estufa com circulação de ar. Ao mesmo tempo foi medida a impedância elétrica do sistema solo/água/sonda por meio de um galvanômetro. As técnicas de análise de variância e regressão foram utilizadas e com esta última, foram ajustados modelos para estimar o conteúdo de água em função da resposta elétrica. O conteúdo volumétrico de água do solo em relação à impedância do solo a um sinal elétrico se ajustou ao modelo linear e ao quadrático. As equações são: θ (%) = $0,003388 \cdot (\text{mV})^2 - 0,2025 \text{ mV} + 13,81$ ($R^2 = 99,2\%$) e θ (%) = $0,2818 \text{ mV} + 7,721$ ($R^2 = 98,9\%$). Assim, se conclui que é possível estimar o conteúdo de água do solo em função da impedância elétrica dada pela tensão medida com os sensores artesanais e um galvanômetro.

PALAVRAS CHAVE: Umidade do solo, condutividade elétrica, irrigação, impedância.

ALTERNATIVE METHODOLOGIES TO DETERMINE THE SOIL WATER CONTENT: SENSOR OF ELECTRICAL SIGNAL

SUMMARY: The knowledge and monitoring of the soil water content are requirements for soil management in a productive and sustainable agriculture as well as to numerous studies in soil science and irrigation. The objective of this study was to evaluate the use of electrical signals from sensors homemade, in monitoring of soil moisture in the laboratory. For this purpose, stainless steel probes were inserted in soil samples in Uhland rings. The samples were saturated with distilled water and their mass variation was recorded after the water depletion in sand column and oven with air circulation. At the same time the electrical impedance of the soil / water / probe system was measured through a galvanometer. Techniques of variance analysis and regression were used and models adjusted to estimate the water content by the electrical response. The volumetric water content of soil in relation to the soil impedance to an electrical signal is adjusted to the linear and quadratic models. The equations are: θ (%) = $0.003388 \cdot (\text{mV})^2 - 0.2025 \text{ mV} + 13.81$ ($R^2 = 99.2\%$) and θ (%) = $0.2818 \text{ mV} + 7.721$ ($R^2 = 98.9\%$). Thus, we conclude that it is possible to estimate the soil

¹ Prof MSc do IFMT-CACERES-MT, aluno do curso de doutorado do programa de pós- graduação em Agricultura Tropical FAMEV/UFMT. Rua 47, 609, CEP 78068365, Cuiabá MT. Fone 65 36158999. e-mail: gjsilva@cpd.ufmt.br

² Professor /pesquisador do programa de pós- graduação em Agricultura Tropical FAME/UFMT, Cuiabá, MT.

³ Professor e pesquisador do Departamento de Estatística - ICET/UFMT e do programa de pós- graduação em Agricultura Tropical FAME/UFMT, Cuiabá, MT.

⁴ Aluno de graduação bolsista de iniciação científica FAME/UFMT, Cuiabá, MT.

water content as a function of the electrical impedance given by the voltage measured with the craft sensors and a galvanometer.

KEYWORDS: Soil moisture, electrical conductivity, irrigation.

INTRODUÇÃO

O conteúdo de água do solo deve ser determinado secando uma amostra de aproximadamente 50 g de solo em estufa a 105 ° C (EMBRAPA, 1997). Este é um método padrão, no entanto, quando se precisa conhecer imediatamente a umidade do solo, o método não é aplicável, sendo necessário um método de resposta rápida. Existem diversas metodologias disponíveis com esta característica e a escolha de uma ou outra depende da finalidade, da precisão necessária, complexidade e disponibilidade (COELHO, 2003).

Todo e qualquer método tem vantagens e limitações. Exemplificando, métodos baseados em dispersão de nêutrons e atenuação de raios gama determinam um perfil de umidade do solo e são métodos não-destrutivos, no entanto, são geralmente caros e podem ser perigosos (SILVA, 2005). O uso de reagentes químicos como o carbureto de cálcio no método chamado “Speedy moisture tester”, segundo CAMARGO & COSTA (1960) tem sido usado desde 1944 para determinar a umidade do solo in situ. Mas para HOLTZ & KOVACS (1981), este método fornece resultados pouco precisos em solos orgânicos e argilas.

Os métodos tensiométricos são amplamente utilizados no monitoramento da umidade do solo para efeito da irrigação. No entanto, se limitam à determinação da água retida na tensão de 0 - 0,75 atm, o que representa cerca de 70% da água retida em solos arenosos e de 40% da água retida em solos argilosos (SIMÃO et al., 2004).

A técnica TDR, que apresenta inúmeras vantagens, esbarra na falta de um modelo aceito como padrão de calibração e nos preços de importação das guias de ondas que tem limitado o uso de tais equipamentos segundo TOMMASELLI (2001).

Vários métodos são baseados no princípio de que o solo úmido oferece menor resistência à corrente elétrica do que o solo seco. BOUYOUCOS & MICK (1940) propuseram um método simples que mede a resistência de dois eletrodos colocados em um bloco de gesso. PERRIER & MARSH (1958) alertam que a salinidade da solução do solo pode ser um fator limitante nestes casos. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o uso de sensores de sinais elétricos de fabricação caseira, no monitoramento do teor de água no solo em ensaios de laboratório.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foi utilizado um desenho fatorial 2x6, sendo duas camadas de solo e seis níveis de secagem, com quatro repetições. Para isso, oito amostras de solo com a estrutura minimamente alterada foram coletadas com amostrador de Uhland, em anéis de alumínio de 69,37 mm de diâmetro, espessura de 3,55 mm e 71,08 mm de altura. As amostras foram retiradas na posição intermediária das camadas de 0-15 e 15-30 cm em quatro pontos de uma área de cultivo da soja. A área pertence ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Mato Grosso, Campus de São Vicente e fica a sudoeste do ponto de coordenadas UMTS: 8.252.131 m N e 671,241 m S. A solo dessa área é principalmente LATOSSOLO VERMELHO-AMARELADO de textura média.

As amostras de solo foram dispostas em uma bandeja e então, saturadas por capilaridade com a elevação gradual do nível de água destilada, até 15 mm da superfície superior das amostras. Em cada amostra foram introduzidas quatro hastes de aço inoxidável de 50 x 6,13 mm, distribuídas de forma equidistante com a ajuda de um gabarito (Figura 1).

As amostras preparadas e saturadas foram pesadas e submetidas às tensões de 10, 20, 30, 40 e 60 centímetros de coluna d'água (cca) em uma coluna de areia. Após o equilíbrio em cada tensão mediu-se a impedância elétrica do conjunto amostra/sonda e determinou sua massa em balança eletrônica com duas casas decimais. A partir daí, procedeu-se a secagem gradual dos conjuntos em estufa de circulação de ar a 40 ° C, por períodos de 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16 e 32 horas, intercaladas por 48 horas para resfriamento e distribuição da umidade. Durante estas 48 horas, mantinha-se o conjunto em saco plástico selado e ao final a massa e impedância elétrica eram medidas. Finalmente, as sondas foram removidas e as amostras secadas a 105 ± 5 °C para determinar o teor de água residual do solo e a umidade volumétrica (θ) foi calculada multiplicando a umidade gravimétrica pela densidade.



Figura 1. Gabarito para aplicação dos eletrodos e sonda de fabricação artesanal para determinação da umidade volumétrica do solo por meio da medição da impedância elétrica.

Os dados relativos à umidade e tensão elétrica obtidos nas tensões de sucção entre 00 e 60 cca não foram considerados, porque não havia resposta elétrica de acordo com a variação do teor de água no solo nesta faixa. Os dados restantes foram submetidos à análise de variância para avaliar os efeitos das

camadas pela média. Também foi realizada análise de regressão da umidade do solo em função da tensão elétrica. Pelo teste t, as diferenças entre os valores da umidade do solo observada e estimada pelos modelos ajustados, foram comparadas. Cabe ressaltar que, a adequação de cada modelo foi verificada pela análise dos resíduos considerando um nível de significância de 0,05. Para o processamento e análise dos dados foi utilizado o pacote estatístico Minitab versão 15 (Minitab, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 2 se observa claramente a diferença de comportamento entre amostras de solo recolhidas da camada superior (0 - 15 cm) e inferior (15 - 30 cm), com relação à condutividade elétrica durante a secagem da amostra. Para o mesmo grau de ressecamento, a tensão medida nas amostras da camada superior foi, em média, 20 mV maior que a tensão medida nas amostras da camada inferior. Esta diferença não parece ser devida unicamente ao aumento da capacidade de armazenamento de água da camada de 0-15 cm, mas antes, parece se dever a uma possível maior salinidade desta camada, resultante provavelmente da aplicação de fertilizantes no plantio.

Ainda com relação à Figura 2 observa-se não haver mais aumento da condutividade elétrica quando da elevação do conteúdo de água do solo na faixa de água gravitacional. Esta faixa parece situar-se entre a saturação completa e cerca de 25% de ressecamento. Este comportamento é coerente com o que registraram RHOADES et al. (1989), que não observaram efeito da mobilidade das moléculas de água gravitacional na movimentação de íons de soluto, portanto, a resistência elétrica é quase independente do teor de água nesta faixa. Para os autores, ainda pode haver uma pequena diminuição da resistividade na faixa de água gravitacional, devido à dissolução contínua de íons adsorvidos e precipitados a partir da fase sólida do solo. Isto pode explicar a maior dispersão dos valores da tensão neste nível de umidade nas amostras da camada inferior.

A análise de variância e o teste de Tukey revelaram diferenças significativas em nível de 5% para umidade e tensão elétrica, medidas em amostras colhidas nas duas camadas do solo.

Na Tabela 1 A diferença entre o conteúdo volumétrico de água das amostras colhidas nas camadas superficial e inferior foi de cerca de 7%, quando estas foram submetidas a 1, 2 ou 4 horas de ressecamento em estufa a 40 ° C (ECA1, ECA2 e ECA4). Provavelmente, o alto teor de água nas amostras da camada superior seja devido a uma possível maior mesoporosidade nesta camada em relação à camada inferior (Tabela 1). Também é possível verificar uma maior condutividade elétrica nas amostras da superior. A diferença de tensão foi inicialmente de 19,21% em ECA1 e aumentou com o ressecamento das amostras, atingindo 68,34% nas condições de amostras mais secas (ECA32).

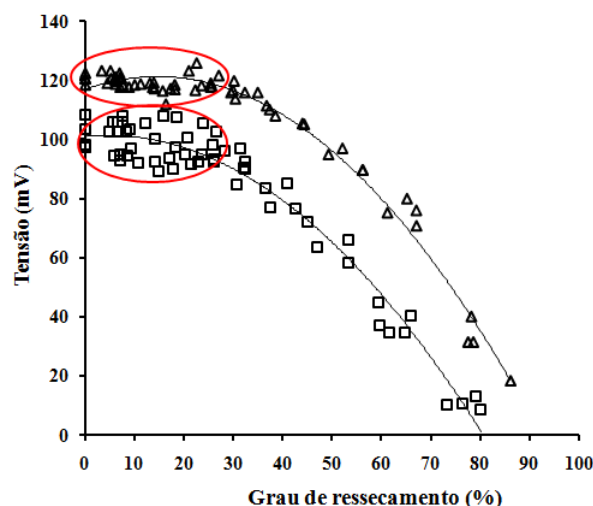


Figura 2. Tensão elétrica do solo medida nas camadas de 0 a 15 cm (Δ) e de 15 a 30 cm (\square) em relação ao grau de saturação hídrica do solo.

A maior impedância elétrica observada em amostras da camada inferior reforça a influência da salinidade do solo na condutividade elétrica. Isso acarreta necessidade de calibração freqüente dos dispositivos que adotam essa variável como fator de predição, devido à variabilidade temporal e espacial da salinidade do solo. Esta variabilidade depende das condições do solo, clima e várias atividades associadas ao uso e manejo dos solos, conforme ALBUQUERQUE et al. (1996).

Tabela 1. Umidade volumétrica e tensão elétrica em amostras de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico submetidas a secagem em estufa de circulação de ar (ECA)¹

TS / Camada	Umidade volumétrica (%)						Tensão Elétrica (mV)					
	Superficial		Inferior		Média		Superficial		Inferior		Média	
ECA1	37,32	a	34,90	B	36,11	A	117,54	a	94,96	B	106,25	A
ECA2	34,94	c	32,75	D	33,84	B	115,49	c	88,03	D	101,76	B
ECA4	30,69	e	28,50	F	29,60	C	106,16	e	75,19	F	90,67	C
ECA8	24,24	g	22,80	G	23,52	D	92,29	g	55,57	H	73,93	D
ECA16	18,17	h	18,02	H	18,09	E	77,66	i	37,18	J	57,42	E
ECA32	10,92	i	11,10	I	11,01	F	32,25	k	10,20	L	21,22	F
Média	26,05	a	24,68	B	25,36		90,23	a	59,77	B	75,21	

⁽¹⁾ ECA (1, 2, 4, 8, 16 e 32): Secagem em estufa de circulação de ar a 40 °C por 1, 2, 4, 8 16 e 32 horas. ⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem pelo teste de Tukey a ($P < 0,05$) para as duas variáveis medidas.

Foram escolhidos o modelo linear e o quadrático que apresentaram alto coeficiente de determinação ajustado, para predição da umidade do solo em função da tensão elétrica do solo. O conteúdo de água no solo calculado pelos modelos selecionados não diferiram significativamente dos valores medidos, quando aplicada a estatística do teste t com 46 graus de liberdade e $\alpha = 0,05$. Nessas condições, os resultados do teste t para a camada superficial foi $p = 0,998$ e o intervalo de confiança

(IC) para a média foi igual a (-5,54; 5,55). Para a camada inferior o valor p foi de 0,999 e o IC para a média foi de (-5,01; 5,00). Isso confirma a eficiência dos modelos ajustados.

CONCLUSÕES

É possível estimar o teor de água do solo em função da impedância elétrica dada pela tensão medida com sensores de fabricação artesanal e um galvanômetro.

A relação entre o conteúdo volumétrico de água no solo e a tensão elétrica mostrou comportamento que se aproximou dos modelos, linear ($y = a + bx$) e quadrático ($a - bx + cx^2$).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; FIORIN, J. E.; REINERT, D. J.; MUTTI Y, L. M.; SILVA, E. P. da Variabilidade espacial do solo e produção do milho. Revista Brasileira de Ciência do solo, Campinas, n.1, p. 151-157, 1996.
- BOUYOUCOS, G. J. e MICK, A. H. An Electrical Resistance Method for the continuous Measurement of Soil Moisture under Field Conditions. Michigan AGRICULTURAL EXPERIMENT Station, Technical Bul. 1940, 172p.
- CAMARGO, A.P. de e COSTA, A.O.L. da. Determinação Rápida da Umidade do Solo Pelo Método da Reação com o Carbureto de Cálcio. Bragantia. n. 30, p. 493-502, 1960.
- COELHO, S.L. Desenvolvimento de um tensiômetro eletrônico para o monitoramento do potencial da água no solo. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.
- HOLTZ, R. D. e KOVACS, W. D. An introduction to geotechnical engineering. New Jersey: Prentice-Hall, 1981. 733p.
- MINITAB Minitab for Windows Version 15 Pennsylvania: State College: Minitab Statistical Software, 2008
- PERRIER, E. R. and MARSH, A. W. Performance characteristics of various electrical resistance units and gypsum materials. Soil Science, n. 86, p. 140–147, 1958.
- RHOADES, J.D., N.A. MANTEGHT, P.J. SHOUSE. AND W.J. AIVES. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. Soil Sci. Sot. Am. J. n. 53, p. 433-439, 1989.
- SILVA, I. de O. Desenvolvimento de um sensor capacitivo para o monitoramento de umidade do solo 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)-Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza CE, 2005.
- SIMÃO, A. H.; MANTOVANI, E. C. e SIMÃO, F. R. Irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira. In: ROZANE, D.E.; DAREZZO, R.J.; AGUIAR, R.L.; AGUILERA, G.H.A. e ZAMBOLIM, L. (ed). Manga Produção Integrada, Industrialização e Comercialização. Viçosa: UFV, 233-302, 2004. 604p. Disponível em: <http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/ensino/pos/Palestras_William/Livromanga.pdf/08_irrigacao.pdf> Acesso em 23/05/2011.
- TOMMASELLI, J. T. G. e BACCHI, O. O. S. Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade do solo. Pesq. Agropc. Bras. N. 9, p. 1145-115, 2001.