

HASTE PORTÁTIL PARA UTILIZAÇÃO DE SONDAS DE TDR EM ENSAIOS DE CAMPO

Douglas Roberto Bizari¹, Edson Eiji Matsura¹, Claudinei Fonseca Souza², Márcio William Roque³

¹Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, Av. Candido Rondon, 501, CEP 13083-875., Email: douglas.bizari@feagri.unicamp.br

²Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos, Araras-SP, Rodovia Anhanguera, km 174 - SP-330, CEP 13600-970

³Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367, CEP 78060-900

1 RESUMO

A Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) têm contribuído em pesquisas na agricultura irrigada, pela facilidade de obtenção, aquisição e armazenamento de dados para a estimativa da umidade do solo e condutividade elétrica. Porém, é pouco utilizada em pesquisas de campo que envolva seu uso em grandes áreas ou em experimentos com delineamentos que empregam geoestatística, devido, principalmente, ao seu alto custo de aquisição e pelas dificuldades de operação. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi construir uma haste portátil para acoplar uma sonda de TDR e facilitar o monitoramento do teor de água do solo e da condutividade elétrica por esta técnica em condições de campo. A haste portátil e a forma de aquisição dos dados foram baseadas no equipamento *GPS Portable Water Content Sensor*, da University of Utah, EUA. Um primeiro protótipo desta haste foi desenvolvido no Brasil pelos laboratórios de Hidráulica e Irrigação e de Protótipos da FEAGRI/UNICAMP em parceria com CCA/UFSCar. Este equipamento foi testado em campo e os resultados mostraram que a haste portátil para uma sonda TDR convencional apresentou bom desempenho de operação em campo, podendo substituir, quando possível, grande quantidade de cabos coaxiais e sondas TDR na superfície do solo. Com a utilização da haste portátil é possível monitorar o teor de água no solo e a condutividade elétrica em uma grande quantidade de pontos amostrais, e de maneira rápida, constituindo-se assim, em uma boa ferramenta para possíveis ensaios sobre manejo de irrigação, uniformidade da redistribuição de água no perfil do solo e de estudos de geoestatística voltados para a agricultura de precisão.

PALAVRAS-CHAVE: Redistribuição de água no solo, Reflectometria no Domínio do Tempo, Teor de água no solo, Condutividade elétrica.

**BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; SOUZA, C. F.; ROQUE, W. R.
DEVELOPMENT OF A PORTABLE STEM FOR TDR PROBES IN THE FIELD**

2 ABSTRACT

The Reflectometry Time Domain (TDR) has contributed to research on irrigated agriculture for easy production, acquisition and data storage for soil water content and electrical conductivity estimation. However, it's rarely used in field research involving its use in large areas or in experimental designs employing geostatistical, mainly due to its high cost and operation difficulties. Therefore, the objective of this work was to build a portable prototype to improve water content and electrical conductivity monitoring in the field with TDR probes based on the *GPS equipment Portable Water Content Sensor* developed at Utah State University. The first prototype developed in Brazil by the Laboratory of Hydraulics and Irrigation of FEAGRI/UNICAMP in partnership with CCA/UFSCaris being used in field. The results showed that portable stem for a TDR probe presented good performance in the field, and can replace a large quantity of coaxial cables and TDR probe. The portable stem will permit the utilization of the TDR in large areas and number of samples, being a good tool for irrigation management and geostatistical studies in precision agriculture.

KEYWORDS: Soil water redistribution, Time Domain Reflectometry, Soil water content, Electrical conductivity.

3 INTRODUÇÃO

Dentre os métodos existentes para a estimativa do teor de água no solo, a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR) vem se destacando em relação aos demais, principalmente por ser um método rápido, não destrutivo e que possibilita a automação da aquisição dos dados. O método se baseia na relação que existe entre o teor de água no solo e sua constante dielétrica, tendo como principal entrave o custo do equipamento e a necessidade de calibração para cada tipo de solo. Em função do custo elevado das sondas TDR importadas várias modelos têm sido desenvolvidos e construídos nas Instituições de Pesquisa e Universidade brasileiras, em condições artesanais, apresentando resultados satisfatórios tanto em laboratório quanto em campo, conforme constatado nos trabalhos de (Coelho et al., 2001; Souza et al., 2001; Coelho et al., 2005; Roque, 2007).

A técnica da TDR também tem sido utilizada na avaliação do movimento de sais no solo (Souza et al., 2009, Varallo et al., 2010) e essa aplicação pode trazer importantes subsídios ao estudo da dinâmica de solutos em diferentes manejos de fertirrigação. Além disso, os recentes avanços tecnológicos em sensores portáteis, para medições das características do solo em nível de campo e em tempo real, segundo (Vandel Heuvel, 1996) têm contribuído para a implantação bem sucedida da agricultura de precisão, como por exemplo, o mapeamento da condutividade elétrica, que pode ser utilizada para estimar algumas propriedades físico-químicas do solo (Machado et al., 2006) por meio da observação de manchas de mesmas características que podem variar espacialmente em toda a área de análise. E de posse destes valores mapeados geograficamente é possível dividir as regiões em áreas de manejo e posteriormente proceder a coleta de algumas amostras para analisá-las segundo as suas propriedades e tomar decisões de como e quanto intervir com os insumos, defensivos e irrigação (Rabello, 2009)

Nos ensaios realizados com a técnica da TDR pode-se utilizar uma única sonda móvel ou fixá-la no solo em determinada profundidade, na qual as leituras são feitas por equipamentos comerciais, tais como, Tektronix (Tektronix, Inc.), Trase System (Soil moisture) e o TDR 100 (Campbell Scientific), dentre outros. Para determinação contínua e automática dos dados em campo em diversas posições ou locais no solo há necessidade de uso

de multiplexadores que requerem várias sondas conectadas ao equipamento TDR (Roque, 2007), aumentando a quantidade de cabos coaxiais sobre a superfície do solo, que ficam sujeitas às injúrias climáticas e às dos tratos culturais, além do elevado custo proveniente da aquisição desse material.

Souza & Matura, 2002; Souza et al., 2006 conduziram diversas pesquisas na confecção de sondas de TDR de baixo custo, para viabilizar a aplicação desta técnica em situações que necessitem quantidade elevada de sensores no monitoramento da dinâmica da solução do solo. Os autores verificaram a possibilidade de usar hastes de latão em substituição ao aço inoxidável, e constataram que ambos os materiais possuíam características semelhantes na propagação de ondas eletromagnéticas, concluindo que as hastes de latão poderiam substituir as de aço inoxidável, o que resultaria em economia no custo de fabricação das sondas de TDR. Os mesmos autores também verificaram a possibilidade de utilização de sondas do tipo multi-haste segmentada (hastes descontínuas) e sondas coaxiais de volume variável desenvolvidas na Feagri/Unicamp, em um equipamento de TDR convencional, modelo Trase System I, para monitorar o teor de água no solo em diversas profundidades, na avaliação de bulbo molhado em irrigação localizada. E concluíram que essas sondas são uma ferramenta importante no dimensionamento de irrigação e no balanço de água no solo. Porém, as sondas multihaste segmentada apresentam dificuldades na sua instalação, manuseio e retirada após a realização dos ensaios, tendo como consequência a deformação das hastes maiores, principalmente quando instaladas em solos argilosos. Outro problema deste tipo de sonda para (Souza & Matura, 2002) se refere à dificuldade na interpretação dos picos de impedância quando utilizado um número elevado de segmentações, que aumenta consideravelmente as reflexões dos sinais, limitando seu uso para no máximo 4 segmentos por sonda.

Em trabalho realizado por (Roque, 2007) o autor propôs um aparato experimental para a fabricação de sondas de TDR, na qual permitiu a construção de um grande número destas, que foram utilizadas posteriormente para calibração da TDR em laboratório e campo e para estudos de geoestatística, utilizando multiplexadores. Com estas mesmas sondas, o autor avaliou a redistribuição da água de irrigação no interior do solo em dois sistemas de manejo e concluiu que a técnica da TDR foi eficiente no monitoramento do teor de água no solo ao longo do ciclo da cultura do feijoeiro, podendo ser empregada no manejo da irrigação, desde que se faça uma previa calibração do equipamento para as condições locais. Porém, neste caso, além do custo elevado para a aquisição de cabos coaxiais e multiplexadores, estes ficavam expostos às intempéries climáticas e às injúrias, eventualmente, provocadas pelos tratos culturais e manuseio do equipamento, havendo a necessidade da troca constante das sondas danificadas no campo e limpeza do sistema de aquisição de dados.

A técnica da TDR pode contribuir com as pesquisas em agricultura irrigada, porém, por apresentar limitações operacionais, como a inserção das sondas em solos muito argilosos e as dificuldades de seu manuseio em campo, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma haste portátil acoplada a uma única sonda TDR de fácil manuseio, para otimizar a leitura do teor de água no solo e a condutividade elétrica em ensaios de campo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A haste portátil para uso de sonda de TDR foi desenvolvida pelos Laboratórios de Hidráulica e Irrigação e de Protótipos da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, em parceria com o Centro de Ciências Agrárias da Universidade

Federal de São Carlos, campus Araras. Sendo que a sua construção foi baseada no equipamento *GPS Portable Water Content Sensor*, desenvolvido pelo Departamento de Plantas, Solo e Clima, da Utah State University, EUA.

Este protótipo foi desenvolvido com o intuito de facilitar a inserção da sonda no solo e servir de suporte para a conexão desta com os demais componentes que possibilitam a estimativa do teor de água no solo e a condutividade elétrica pela técnica da TDR, tais como, a bateria de 12 Volts, o datalogger CR1000 e o TDR 100, ambos da marca Campbell Scientific. Também, pode-se utilizar um GPS para o georreferenciamento dos pontos amostrais. Estes componentes ficam conectados entre si dentro de uma “mochila” apoiada nas costas do operador no momento da leitura. Na parte superior da haste portátil é alocado um display com ligação direta ao datalogger, que transmite para o seu visor os valores dos dados armazenados de: constante dielétrica (K_a), a umidade volumétrica, a condutividade elétrica (CE) e a voltagem da Bateria.

Para a obtenção, armazenamento e visualização dos dados foi utilizado um programa específico para o datalogger CR 1000, sendo que tanto o programa quanto o display foram desenvolvidos na Universidade Estadual de Utah. A FIGURA 1 mostra o esquema de conexão entre os dispositivos utilizados para a leitura do teor de água no solo e condutividade elétrica.

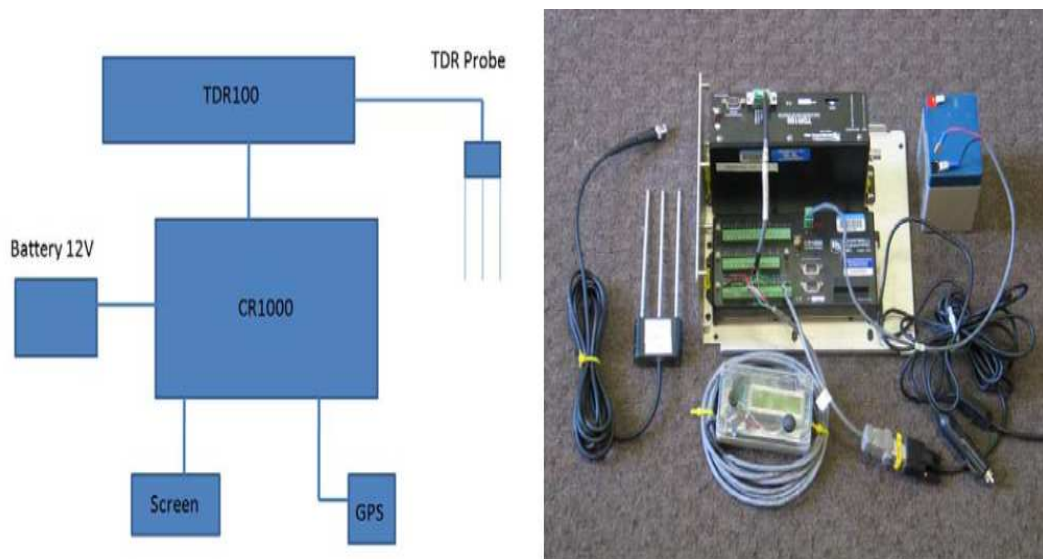


Figura 1. Esquema com os componentes necessários para o monitoramento do teor de água no solo e condutividade elétrica pela técnica da TDR (Fonte: Prof. Scott B. Jones- Universidade Estadual de Utah)

Após sua construção, a haste portátil foi testada na avaliação da redistribuição do teor de água e condutividade elétrica no perfil do solo por meio da técnica da TDR. O solo do ensaio foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico típico argiloso (EMBRAPA, 1999) localizado no campo experimental da Feagri/Unicamp, na região de Campinas, Estado de São Paulo, Brasil. As coordenadas geográficas do local são: latitude 22° 48'57" sul, longitude 47°03'33" oeste e altitude média de 640 m. As análises químicas e físicas do solo foram determinadas conforme metodologia proposta por (EMBRAPA, 1997) e estão apresentadas na tabela 1 abaixo:

Tabela 1. Caracterização física e química do solo da área experimental

Propriedades Físicas										
Camada (m)	Densidade do Solo (Kg.dm ⁻³)	Porosidade Total (%)	Granulometria (g Kg ⁻¹)							
			Argila	Silte	Areia					
0-0,20	1,21	51,0	559,0	192,0	248,0					
Propriedades Químicas										
Camada (m)	pH (CaCl ₂)	P (mg dm ⁻³)	M.O (%)	F ₂ O ₃ (%)	H+Al	K	Ca	Mg	CT C	V (%)
0-0,20	5,3	32,7	3,4	21,3	3,0	5,4	49,6	11,7	96,8	69,0

Para avaliação do desempenho da haste no referido ensaio foi utilizada uma parcela experimental de 144 m², sob sistema plantio direto no quinto ano de implantação com cobertura morta de milho na superfície, proveniente da cultura de verão. O sistema de irrigação utilizado foi o de aspersão convencional, constituído de 4 aspersores, do tipo 427 AG, vazão de 0,45 m³ h⁻¹ e pressão de serviço de 2,0 kgf cm⁻². O espaçamento utilizado entre os aspersores foi de 12 m x 12 m. Para a determinação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) foram instalados coletores em uma malha regular de 2m X 2m (6 linhas e 6 colunas), totalizando 36 coletores. O sistema de irrigação foi acionado durante uma hora para a quantificação do volume de água nos coletores e estimativa da lâmina de água aplicada. Logo após e abaixo de cada coletor, também foi determinado, indiretamente, o teor de água no solo e a condutividade elétrica na profundidade de 0,15 m pela técnica da TDR auxiliada pela haste portátil proposta neste trabalho.

Os valores das leituras do teor de água no solo nos pontos de amostragem foram obtidos por meio da equação de calibração, obtida na área experimental conforme equação 1:

$$\theta = 20,03 + (0,548 * Ka) \quad (1)$$

Em que:

θ é a umidade volumétrica do solo (%) e Ka é a constante dielétrica aparente do solo (adimensional).

Para a estimativa da condutividade elétrica (CE) foi necessário determinar a impedância da sonda de TDR em água destilada e por diferença em relação à impedância obtida no meio estudado, estimou-se a CE por meio da equação 2, proposta por (GIESE & TIEMANN, 1975):

$$CE = \frac{Z_0}{120\pi LZ_u} \left(\frac{2V_0}{V_{inf}} - 1 \right) \quad (2)$$

Em que:

CE condutividade elétrica, dS m^{-1} ;

L comprimento da sonda, m;

Z_0 impedância característica da sonda em água destilada;

Z_u impedância no cabo, 50Ω ;

V_0 amplitude do sinal eletromagnético gerado pelo TDR;

V_1 amplitude do sinal depois da reflexão no início da sonda;

V_{inf} amplitude do sinal de retorno depois das reflexões múltiplas.

Para a determinação da uniformidade de distribuição de água na superfície e sua redistribuição no interior do solo foi utilizado o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por (Christiansen, 1942) conforme equação 3:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum Z_i - \bar{Z}}{\bar{Z} N} \right] \quad (3)$$

Em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

Z_i = lâmina coletada no pluviômetro i, mm;

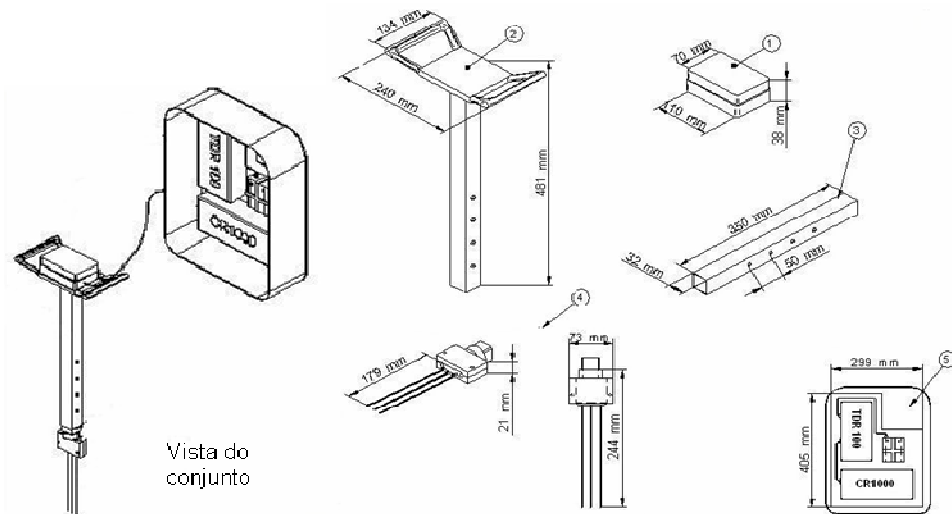
\bar{Z} = lâmina média, mm;

N = número de coletores.

Para verificar a distribuição espacial da lâmina de água coletada, do teor de água no solo e da condutividade elétrica na parcela foram gerados mapas de superfície, utilizando o programa Surfer versão 8.0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 abaixo apresenta a haste portátil desenvolvida neste trabalho e suas partes principais, com as suas respectivas dimensões.



Legenda: (1) display; (2) corpo principal e fixação do display; (3) regulador de altura da haste; (4) adaptador com sonda TDR; (5) suporte com os componentes: TDR 100, CR 1000. Bateria 12 V.

Figura 2. Desenho da haste portátil e dos componentes necessários para a medição do teor de água no solo pela TDR.

A Figura 3 ilustra a malha dos coletores instalados na parcela para o monitoramento do teor de água no solo e a haste portátil em operação no campo.

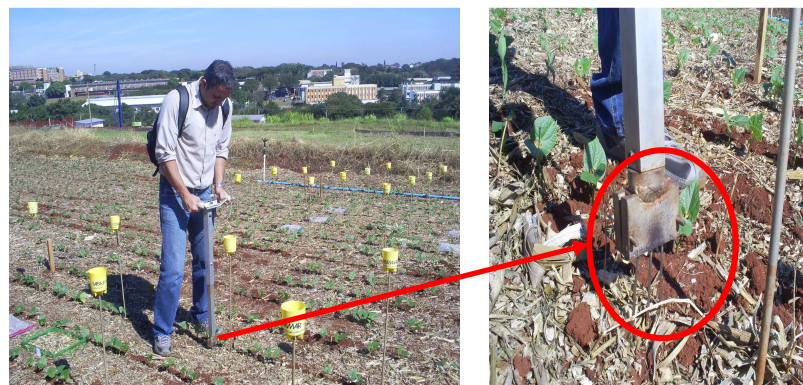


Figura 3. Leitura do teor de água no solo e condutividade elétrica por sonda de TDR e detalhe da sua fixação na haste portátil.

A haste portátil propiciou a estimativa dos parâmetros teor de água do solo e condutividade elétrica em 36 pontos em aproximadamente 20 minutos, com uma média de 33 segundos por ponto amostrado. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 2, sendo que o valor médio do teor de água no solo foi em torno de 38 %, ficando bem próximo ao obtido na capacidade de campo (37 %), estimado pela curva de retenção de água no solo. A uniformidade de redistribuição ficou acima de 96 %, sendo 21 % superior em relação ao obtido na superfície, sendo possível constatar de maneira rápida e fácil a redistribuição da água no solo em tempo real com a utilização do equipamento. Também foi possível determinar os valores da condutividade elétrica e do seu coeficiente de uniformidade no perfil do solo, com valor médio de $0,017 \text{ dS m}^{-1}$ e de 86 %, respectivamente.

Tabela 2. Valores médios de lâmina coletada na superfície, teor de água e condutividade elétrica no perfil do solo e seus respectivos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen, no sistema plantio direto (SPD).

Parcela	Superfície do solo		Perfil do solo			
	Lâmina (mm)	CUC (%)	Teor de água (%)	CUC (%)	CE (dS m ⁻¹)	CUC (%)
SPD	6,76	76,14	38,25	96,92	0,017	84,66
CV (%)	19,99	---	4,37	---	20,99	---

Resultados semelhantes foram obtidos por Roque (2007) com relação ao coeficiente de uniformidade de distribuição no perfil do solo, na qual o autor utilizou 60 sondas de TDR conectadas em multiplexadores em um ensaio realizado na mesma área experimental. Porém, neste caso, com maior dificuldade operacional, principalmente pela necessidade de conexão individual de cada sonda no multiplexador, seu manuseio no campo, maior tempo de leitura e não visualização imediata dos dados obtidos, dificultando a detecção de sondas danificadas ou a ocorrência de algum tipo de erro de leitura em tempo real. O mesmo não ocorrendo quando se utilizou a haste portátil, cujos dados foram gerados no visor do display, proporcionando melhor acompanhamento dos valores do teor de água no solo e condutividade elétrica durante o ensaio.

Com os dados obtidos foi possível gerar mapas de isolinhas dos parâmetros lâmina de água aplicada (a), teor de água no solo (b) e condutividade elétrica (c) conforme mostra a Figura 4. Observa-se que os maiores valores de lâmina coletada foram nas 4 extremidades da parcela, onde estavam instalados os aspersores, com valores acima de 7,0 mm. Porém, ao analisar o teor de água no interior do solo (b), nota-se que na extremidade superior esquerda da parcela, alguns valores ficaram abaixo ou próximo de 33 %, que é considerada a umidade crítica para reinício da irrigação nos ensaios com feijoeiro irrigado realizados área experimental. Isto ocorreu, provavelmente, em função da velocidade do vento que em alguns momentos do ensaio ficou acima de 2,0 m s⁻¹, influenciando a lâmina coletada na superfície e sua redistribuição no perfil do solo. Por outro lado, observa-se que na maior parte da área, houve uma boa redistribuição da água no interior do solo, com valores entre 37 e 39 %. O mesmo ocorrendo com a condutividade elétrica, que apresentou os menores valores no mesmo local onde foram constatados os menores valores do teor de água no solo. Porém, observa-se em função dos valores obtidos que a área em estudo apresenta baixa salinidade, não havendo excesso de sais na água de irrigação que possa vir a prejudicar a absorção de água pelas plantas ou modificar as propriedades físico-químicas do solo. Varello et al. (2010) avaliando a condutividade elétrica pela técnica da TDR em um Latossolo vermelho-amarelo distrófico após aplicação de água de reuso constataram que os valores mantiveram-se sempre abaixo aos considerados prejudiciais a cultura, com valores de 0,14 dS m⁻¹, superior ao encontrado no presente ensaio, mas segundo os mesmos autores, classificada pela (EPA, 1991) como água de salinidade baixa e que poderia ser utilizada para a maioria das culturas. A utilização da haste portátil com a técnica da TDR pode ser uma importante ferramenta em estudos potenciais em escala de campo de mapeamento do teor e redistribuição de água e condutividade elétrica no solo, podendo fornecer subsídios para a implementação do manejo mais adequado da irrigação e caracterização dos solos, que atualmente, depende de amostragens trabalhosas e de custo elevado, limitando seu uso em muitas lavouras agrícolas.

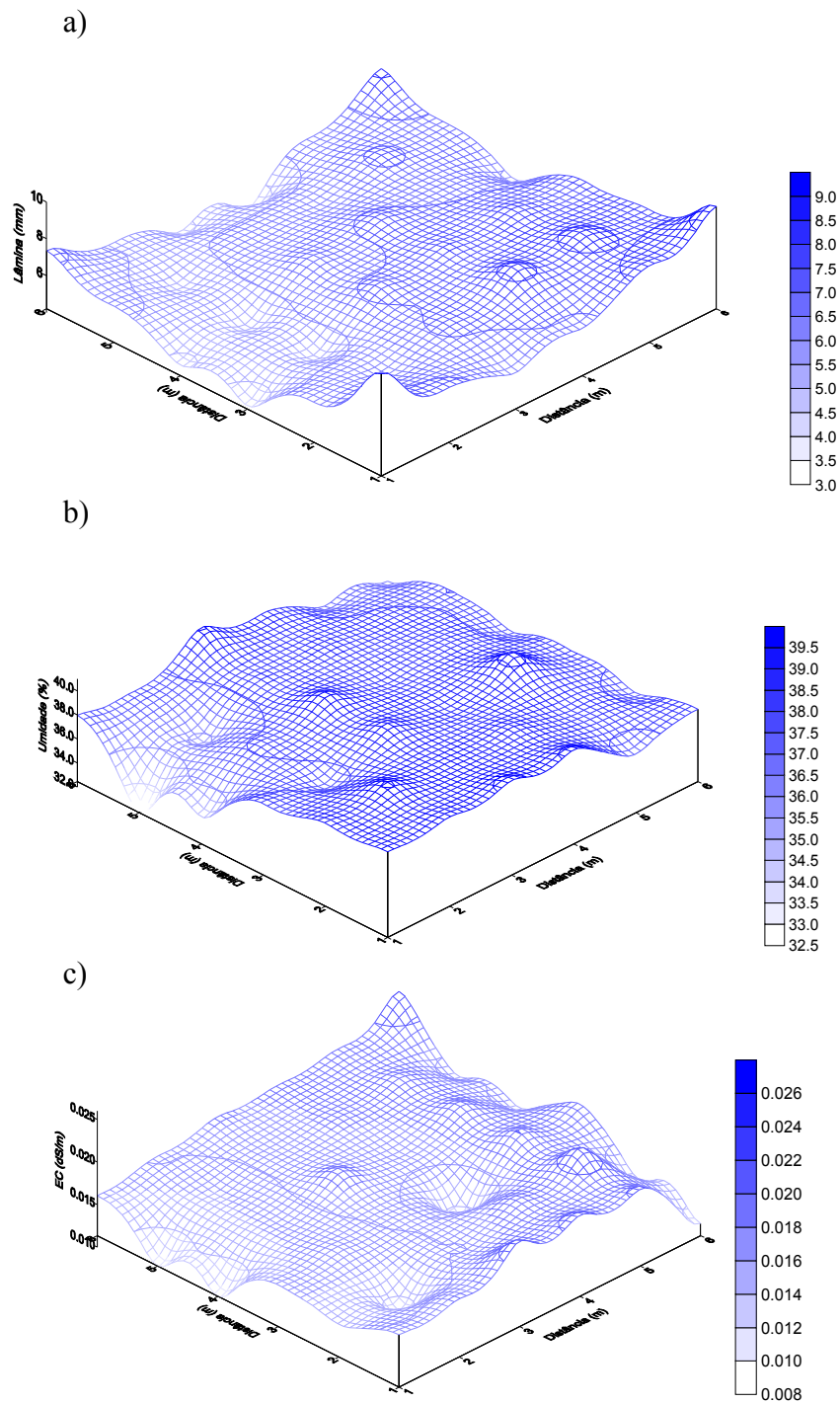


Figura 4. Mapas de superfície da parcela avaliada para lâmina coletada, em mm, (a); teor de água no solo, em %, (b); e condutividade elétrica, em dS m^{-1} (c).

6 CONCLUSÕES

A partir do ensaio realizado pode-se concluir que a haste portátil para uma sonda TDR apresentou bom desempenho de operação em campo, podendo substituir cabos coaxiais e sondas TDR na superfície do solo. Com a utilização da haste portátil é possível monitorar o teor de água no solo e a condutividade elétrica em diferentes pontos amostrais e de maneira rápida, constituindo-se assim, em uma boa ferramenta para possíveis ensaios sobre manejo de irrigação, uniformidade da redistribuição de água no perfil do solo e de estudos de geoestatística voltados para a agricultura de precisão.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHRISTIANSEN, E.J. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station. 1942. 142p. Bulletin, 670.

COELHO, E.F.; ANDRADE, C.L.T.; Or, D.; LOPES, L.C.; SOUZA, C.F. Desempenho de diferentes guias de ondas para uso com o analisador de umidade Trase. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.81-87. 2001.

COELHO, E.F.; VELLAME, L.M.; FILHO, M.A.C. Sonda de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.9, n.4, p.475-480, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Manual de métodos de análise de solo*. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa/CNPS, 1999. 412p.

EPA-Environmental Protection Agency. In: National Primary Drinking Water Regulations Current Drinking Water Standards. Office of Water.1991.

GIESE, K.; TIEMANN, R. Determination of the complex permittivity from thin-sample Time Domain Reflectometry . Improved analysis of the step response waveform. **Advances in Molecular Relaxation Process**. Amsterdam, v.7, n.1, p. 45-59, 1975.

MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; VALENCIA, L.I.O.; MOLIN, J.P.; GIMENEZ, L.M.; SILVA, C.A.; ANDRADE, A.G.; MADARI, B.E.; MEIRELLES, M.S.P. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.6, p.1023-1031, 2006.

RABELLO, L.M. Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 19 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos).

ROQUE, M.W. Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo cultivado com feijão irrigado submetido a diferentes sistemas de preparo. Campinas, 2007. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

SOUZA, A.L.; MATSURA, E.E.; MIRANDA, de J.H.; ROQUE, M.W.; BIZARI, D.R.; ROQUE, W. Reflectometria no domínio do tempo em estudos de lixiviação de potássio em colunas de solo não-saturado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.4, p.1219-1222, 2009.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E.E.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, E.F.; O.R D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo. **Irriga**. Botucatu. v.11, n.1, p.12-25, 2006.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R. Experiência do laboratório de hidráulica, irrigação e drenagem na faculdade de engenharia agrícola/ UNICAMP no uso da técnica de TDR. **Aplicações da técnica de TDR na agricultura**. p. 147-176, 2001.

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.

VANDEL HEUVEL, R.M. The promise of precision agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.51, p.38-40, 1996.

VARALLO, A.C.T.; CARVALHO, L.; SANTORO, B.L.; SOUZA, C.F. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reuso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.4, p.372-377, 2010.