



II WORKSHOP DE APLICAÇÕES DE TÉCNICAS ELETROMAGNÉTICAS PARA O MONITORAMENTO AMBIENTAL



Aplicações da técnica TDR: Manejo da água e nutrientes no solo.

Prof. Dr. Edson Eiji Matsura, Feagri-UNICAMP

INTRODUÇÃO

De uma maneira geral a agricultura tem sido alvo de atenção no mundo globalizado, destacando-se como uma atividade, que tem permitido o desenvolvimento econômico de diversos países em desenvolvimento na produção de alimentos em quantidade suficiente para o consumo interno e para a exportação. Sem dúvida um dos fatores que tem contribuído favoravelmente é a utilização crescente de técnicas apropriadas ao cultivo agrícola. No entanto não podemos ignorar que as diversas atividades do homem tem influenciado no deslocamento e/ou mudança do local de produção, e que conseqüentemente modifica o manejo dos sistemas de produção agrícola, influenciando diretamente nos aportes de água e nutrientes necessários a cultura. Neste contexto o manejo de água e nutrientes em culturas irrigadas tem sido alvo de um crescente número de estudos, onde identificamos a técnica da TDR como sendo adequada ao uso no monitoramento da dinâmica da água e nutrientes do solo. E mais ainda, podendo contribuir na avaliação da eficiência de irrigação, que somados a outros fatores técnicos-economicos-ambientais, permitem o desenvolvimento de uma agricultura sustentável.

Uma das formas, tida como uma das mais rápidas para medir e monitorar o conteúdo de água no solo “in situ”, tem sido através da técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR). Essa técnica foi desenvolvida por Topp et al. (1980), baseia-se no sensível efeito do conteúdo de água no solo sobre a velocidade de propagação de pulsos de microondas em cabos condutores envoltos pelo solo, dada a grande diferença entre as constantes dielétricas relativas da água (K_a), dos componentes da matriz do solo e do ar. Para a implementação da técnica são necessários, basicamente, um testador de cabos e um sensor com hastes metálicas de aço inoxidável, ligados entre si por um cabo coaxial.

Quanto ao manejo do solo, soluções têm sido apresentadas, sendo um exemplo delas o sistema plantio direto. Este tem como pilares o mínimo revolvimento do solo, a cobertura vegetal continuada do solo e a rotação de culturas. A cobertura do solo e a rotação de culturas agregam positivamente as condições do plantio em função do aporte de matéria orgânica, interferindo nos vários processos químicos, físicos e biológicos do solo.

Mesmo com a evolução dos sistemas de irrigação e a adoção do sistema plantio direto, ainda nas condições atuais, os sistemas agrícolas enfrentam dificuldades, devido ao manejo inadequado do solo, à falta de controle da irrigação e ao despreparo do produtor quanto ao planejamento e gerenciamento do sistema produtivo (Urchei, 1996). Desta forma o estudo das relações causais entre os diversos atributos do solo e a produção das culturas permite o levantamento de informações aplicáveis ao manejo localizado da cultura, com reflexo na sustentabilidade da produção. Pretendemos neste trabalho mostrar como o Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade de Campinas vem colaborando no estudo das relações físico-hídricas do sistema solo-planta –atmosfera, utilizando-se da técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo(TDR).

MANEJO DA ÁGUA E NUTRIENTES NO SOLO.

O manejo dos insumos água e nutrientes sempre foram os motivos principais nos estudos de manejo de água para irrigação, uma vez que estes influem diretamente no crescimento da planta e conseqüentemente em sua produção. Dado que existe uma interação continua e dinâmica entre esses atributos no sistema solo-planta-atmosfera é muito importante conhecer como estes se comportam durante o ciclo de uma cultura. O esquema da FIGURA 1 abaixo nos mostra o sistema solo planta atmosfera e o local de estudo do monitoramento de água e nutriente pela sonda TDR.

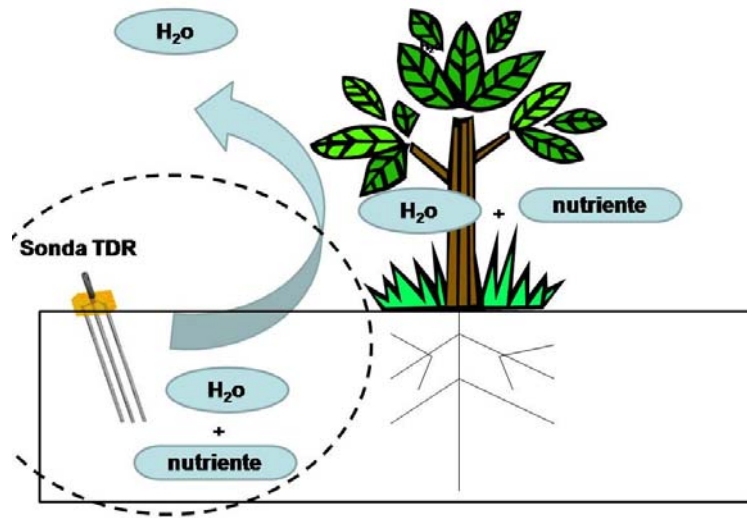


FIGURA 1 Sistema solo-planta-atmosfera e o local de estudo das determinações de água e nutrientes pela técnica da TDR em linha tracejada.

Como podem verificar a determinação se localiza na zona do sistema radicular mais importante para o manejo de irrigação definida por uma profundidade efetiva que difere em função do tipo de planta e/ ou seu estágio de desenvolvimento. Apresentamos na FIGURA 2 um esquema de um projeto de pesquisa sendo desenvolvido, onde propomos a utilização de uma sonda de TDR com haste segmentada para verificar simultaneamente o conteúdo de água nas profundidades Z_1 , Z_2 e Z_3 em 3 fases distintas de uma planta.

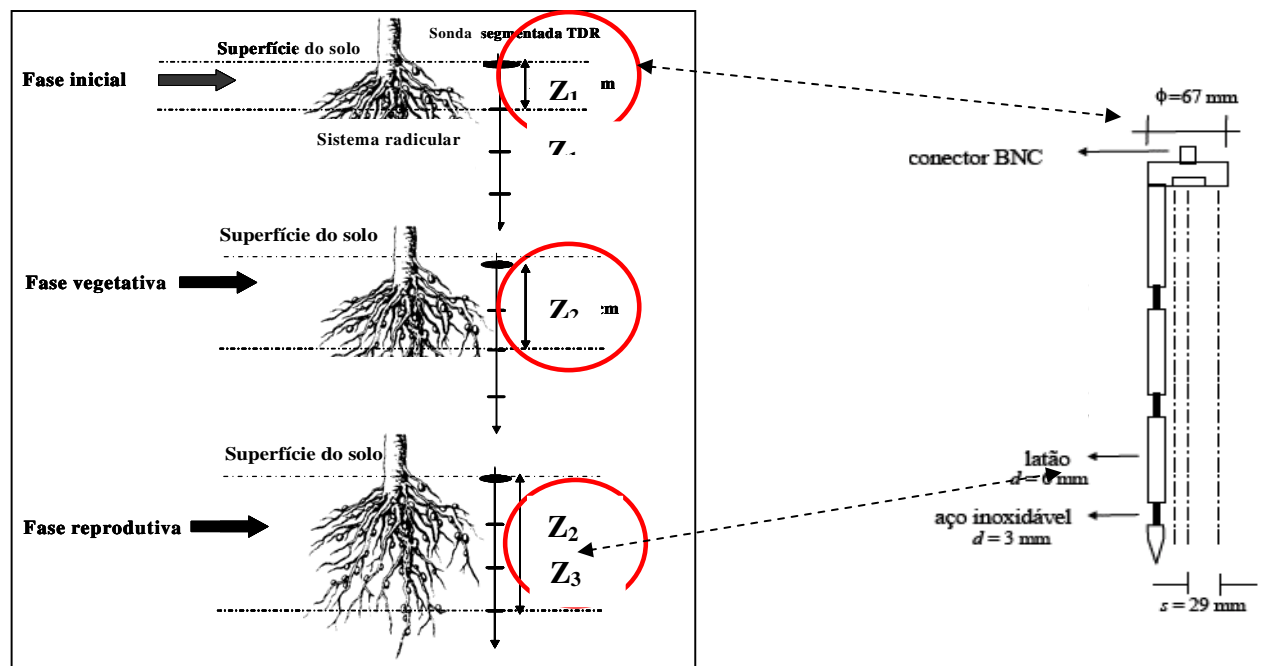


FIGURA 2. Esquema proposto para monitoramento silmultaneo em 3 profundidades do sistema radicular de uma cultura a partir de uma sonda segmentada.

A apresentação dos ensaios realizados no laboratório e campo foram divididos didaticamente em dois tipos: **ensaios de simples determinação** - definido como aqueles em que o intervalo de tempo utilizado entre as determinações das variáveis água e/ou a solução do solo foram suficientemente importantes para que houvesse a redistribuição destes nos pontos monitorados, obtendo-se valores médios dos dados, e **ensaio dinâmico de determinação** – o intervalo de tempo utilizado entre as determinações das variáveis água e/ou a solução do solo foram suficiente para reproduzir dinamicamente as variações discretas do processo de redistribuição com valores pontuais.

ENSAIOS DE SIMPLES DETERMINAÇÃO DE ÁGUA E NUTRIENTES

Uma das primeiras experiências de uso desta técnica com sondas segmentadas foi realizada em laboratório a partir de caixas de solos e em seguida usado no campo para determinação do bulbo molhado. Vamos nos reportar ao trabalho desenvolvido por SOUZA & MATSURA, 2004. A FIGURA 3 nos mostra a característica do perfil de reflexão, assim

como o resultado das determinações final dos conteúdos de água para as diversas profundidades da sonda segmentada.

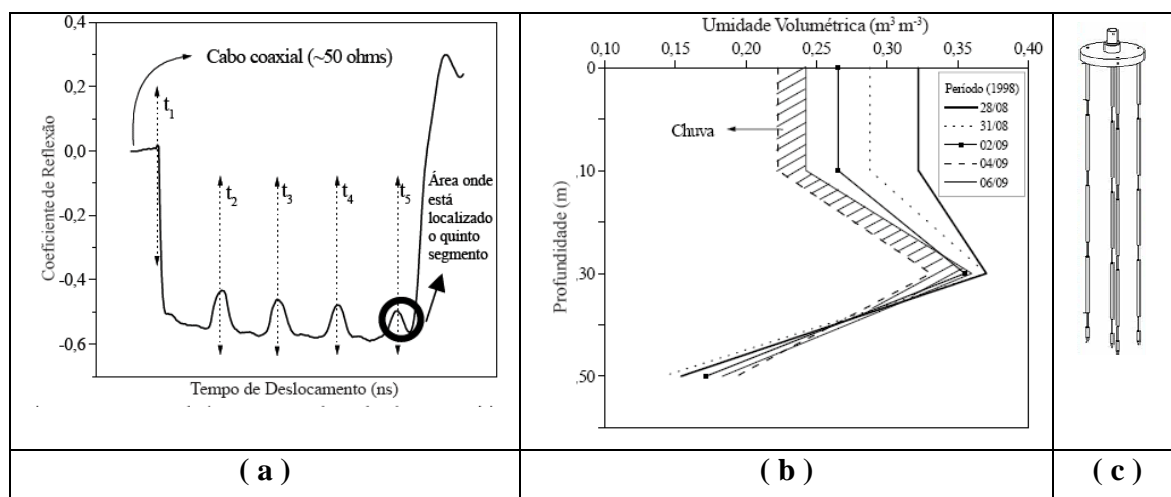
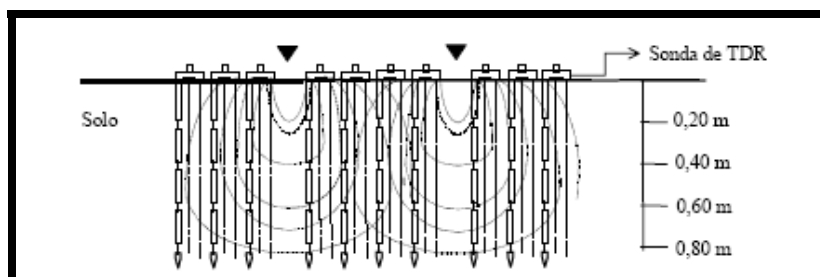


FIGURA 3. Característica do perfil das reflexões da sonda segmentada(3a) e em (3 b) o resultado das leituras da umidade ao longo do tempo da sonda utilizada (3c)

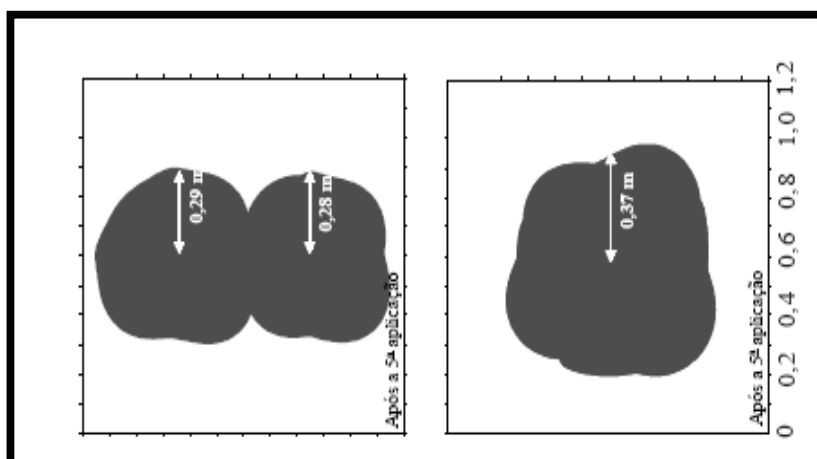
Utilizando-se de sondas multi-haste de TDR o estudo experimental permitiu observar as seguintes conclusões:

1. Para as condições de estudo foi necessária a realização de 2 ou 3 irrigações sucessivas para o dimensionamento do bulbo molhado.
2. A umidade inicial do solo, o volume aplicado, a vazão do gotejador, o disco saturado e, principalmente, a condutividade hidráulica, são elementos importantes e devem ser conhecidos para o dimensionamento e o manejo adequado da irrigação.
3. Para as condições de estudo, ao se dobrar a vazão do gotejador diminuiu-se o movimento vertical da água e se aumentou o movimento horizontal, de forma a favorecer a redução da percolação da água.

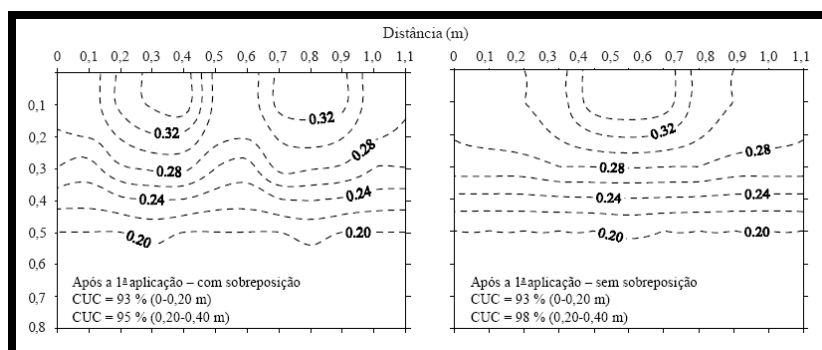
Foi verificado que o sinal da reflexão vai se atenuando a medida que aumentamos a profundidade e a quantidade de segmentos . O primeiro trabalho foi realizado em condições de laboratório, onde foi realizado uma experimentação da qualidade do sinal considerando o material das sondas e o número de segmentações (SOUZA & MATSURA, 2002) O trabalho foi dividido em duas partes, em que na primeira, as performances de duas configurações de sonda foram analisadas e, na segunda parte, as sondas foram avaliadas durante o monitoramento da umidade em condições de laboratório e de campo. Foi possível verificar-se a viabilidade do uso de sondas multi-haste segmentadas na estimativa da umidade de um perfil de solo; entretanto, a utilização da Sonda 1, com segmentação de 0,10 m, ficou limitada à profundidade de 0,40 m, devido à dificuldade da interpretação dos picos de impedância em sua extremidade.A FIGURA 4 nos mostra o esquema do experimento assim como os resultados obtidos.



(a)



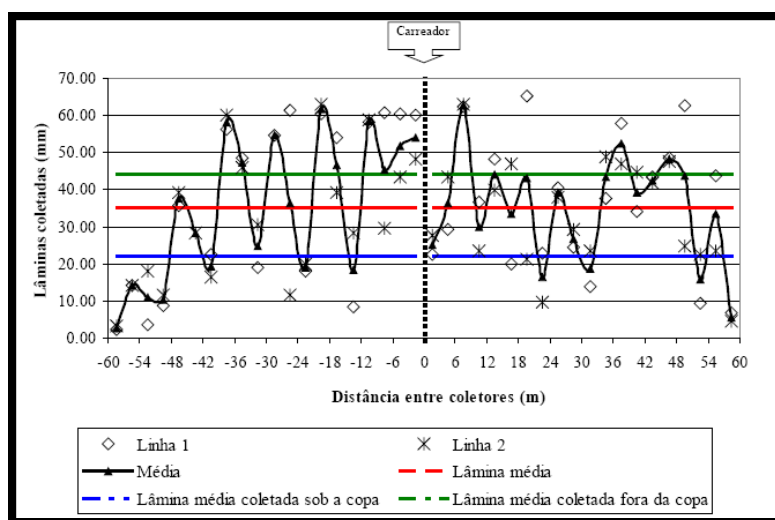
(b)



(c)

FIGURA 4 Esquema da distribuição das sondas no campo (a) , a distribuição de água na superfície (b) e no interior do solo (c) .

Outro trabalho realizado no campo foi a utilização da técnica no monitoramento de um pomar de laranjas irrigado por autopropelido (COLETTI, 2000) Na avaliação do desempenho do equipamento TDR para o monitoramento da umidade do solo, o equipamento se mostrou bastante eficiente na camada de 0 a 0,60m de profundidade, quando realizada a comparação entre a umidade calculada pelo método gravimétrico e a umidade calculada através da equação de TOMMASELLI (1997) para Latossolo vermelho amarelo. Para a camada de 0,60 a 0,80m, o equipamento não apresentou bons resultados. A FIGURA 5 nos mostra o esquema do experimento utilizado assim como o resultado obtido.



(A)

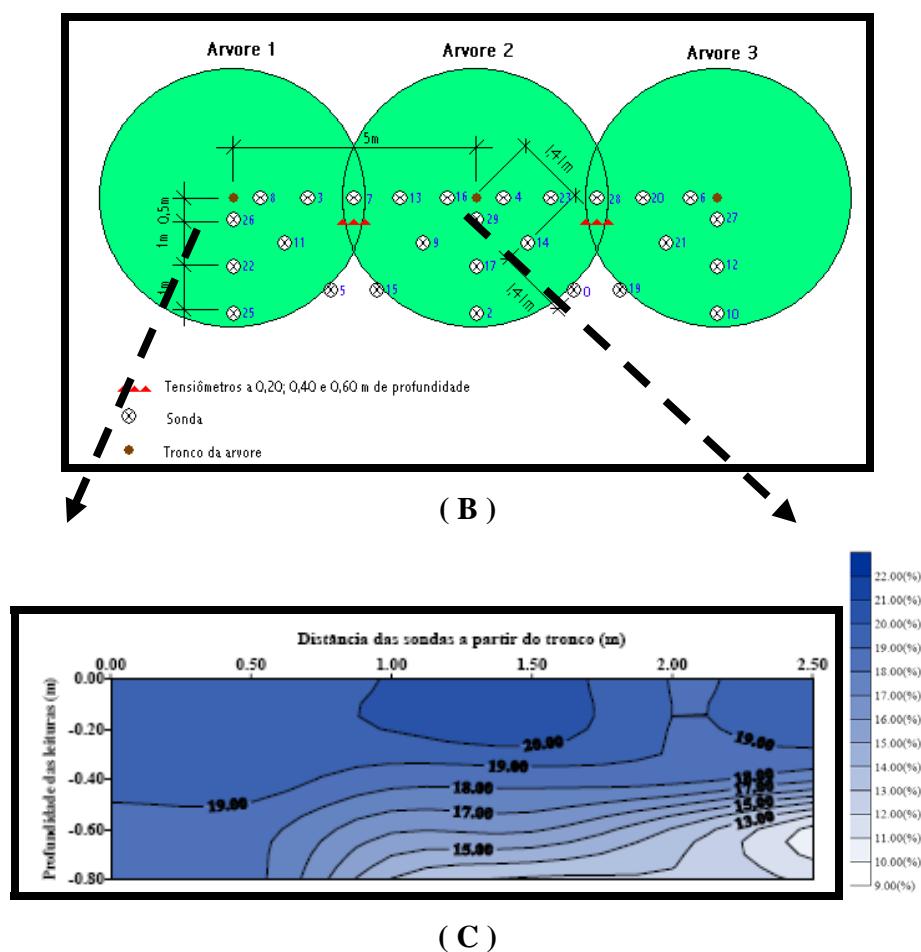


FIGURA 5 Exemplo do uso da sonda segmentada em uma irrigação de um pomar de laranja a partir de um ensaio de uniformidade (A) , em parcela delimitada (B) e o resultado no perfil do solo dos conteúdos de água (C).

Um outro exemplo do uso de TDR com sondas simples foi realizada em canteiros de morango(PASSEROTTI, 2000), buscando monitorar a umidade do solo e determinar os coeficientes de uniformidade de distribuição de água, utilizado na avaliação de sistemas de irrigação, o coeficiente de Cristhiansen (CUC) e o de Hart (CUD). A FIGURA 6 ilustra os 4 canteiros de morango irrigados por sistema de gotejamento enterrado com 2 linhas de gotejadores a 0,10 m da superfície.

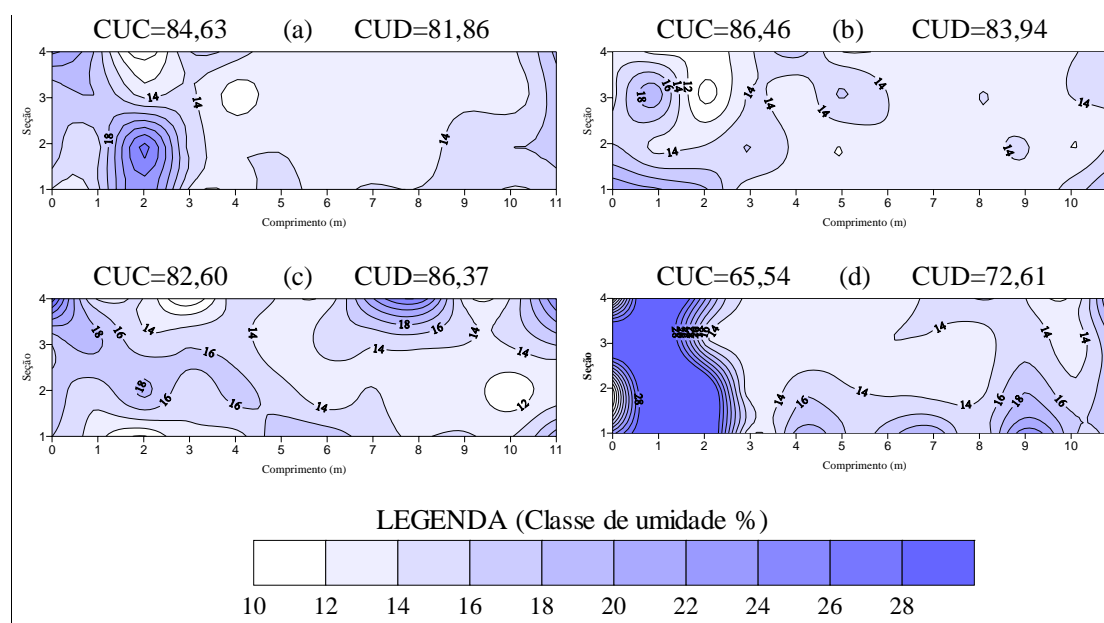


Figura 6. Isolinhas de classes de umidade para 4 canteiros de morango irrigado por gotejamento enterrados a 0,10 m da superfície do solo ao longo do período de irrigação.

A FIGURA 6 Distribuição da água em 4 canteiros e seus respectivos valores de coeficientes de uniformidade

Desta forma foi possível estimar as diferentes classes de umidade obtida pela técnica da TDR, quantificando a uniformidade de distribuição de água no interior do solo nos canteiros irrigados.

Recentemente utilizou-se da técnica da TDR sob sistema plantio direto e convencional, afim de verificar a variação temporal da umidade do solo durante o ciclo da cultura do feijoeiro, utilizando-se da equação de calibração do tipo quadrática obtida em campo para o solo estudado, além de quantificar a produtividade obtida nos dois sistemas de manejo do solo (ROQUE & MATSURA, 2007.)

O experimento foi conduzido no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP (FEAGRI/UNICAMP), no município de Campinas, SP. O local do ensaio possui solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico típico (Embrapa, 1999). Irrigou-se a cultura do feijão, cultivar IAC – carioca em duas parcelas experimentais de 20 X 30 m, para verificar a variação da umidade ao longo do ciclo da cultura por meio da técnica da TDR. A umidade volumétrica do solo foi acompanhada pela leitura das

sondas TDR instaladas em campo em uma malha de 3 X 3 m, totalizando 60 sondas por parcela. A FIGURA 7 ilustra a estação de monitoramento de umidade do solo em campo e o equipamento da TDR 100 e os multiplexadores de sinais.

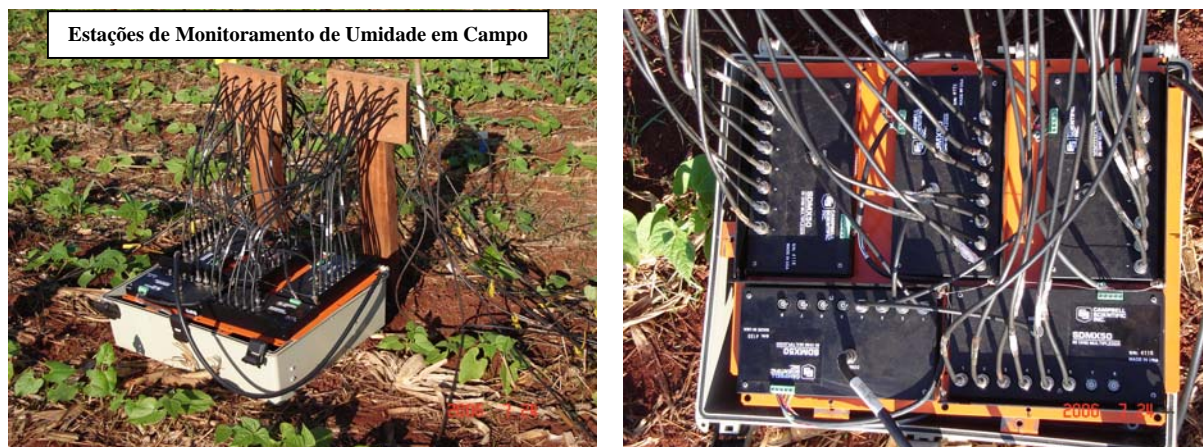


FIGURA 7. Estações de leitura das sondas no campo utilizando-se do equipamento TDR 100 e multiplexadores.

Os valores de umidade obtidos através da TDR foram comparados com a curva de retenção de água do solo, verificando-se desta forma se os valores estavam condizendo com o manejo realizado através da tensiometria, ficando dentro intervalo de 31% (Capacidade de Campo) e 28% (momento de irrigar), conforme a curva de retenção da água no solo.

A FIGURA 8 apresenta o comportamento da umidade volumétrica obtida através da técnica da TDR ao longo do ciclo do feijoeiro. Observa-se que a umidade ficou durante quase todo o ciclo dentro da faixa ideal de manejo da irrigação, ou seja, entre a capacidade de campo e o momento de irrigar, demonstrando que a técnica da TDR após a calibração, tem grande potencial para ser utilizada no manejo da irrigação no solo.

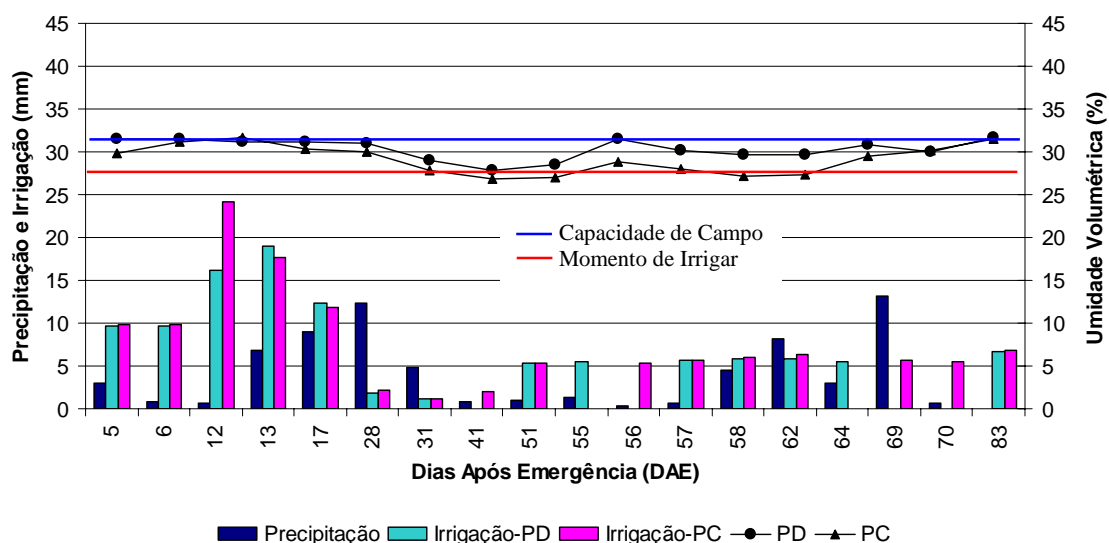


FIGURA 8. Monitoramento da umidade volumétrica através da TDR ao longo do ciclo da cultura do feijoeiro irrigado.

Com a mesma técnica foi possível determinar e monitorar a umidade em substrato orgânico a base de casca de pinus e fibra de coco, a partir da TDR com a obtenção de uma curva de calibração (MESTAS VALERO et al., 2006) (FIGURA 9).

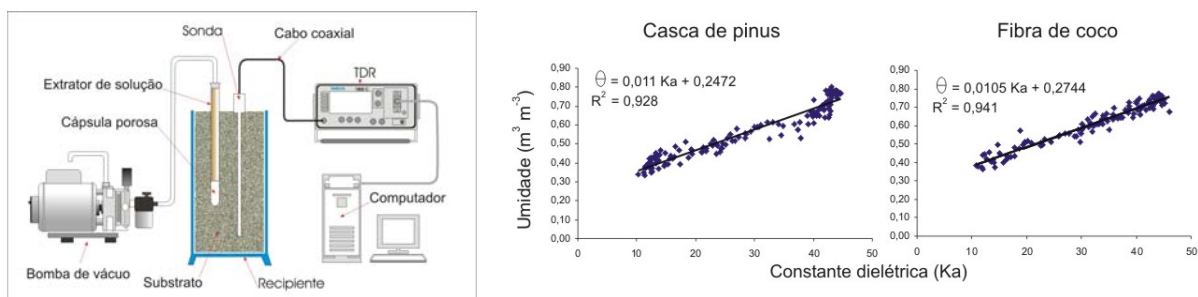
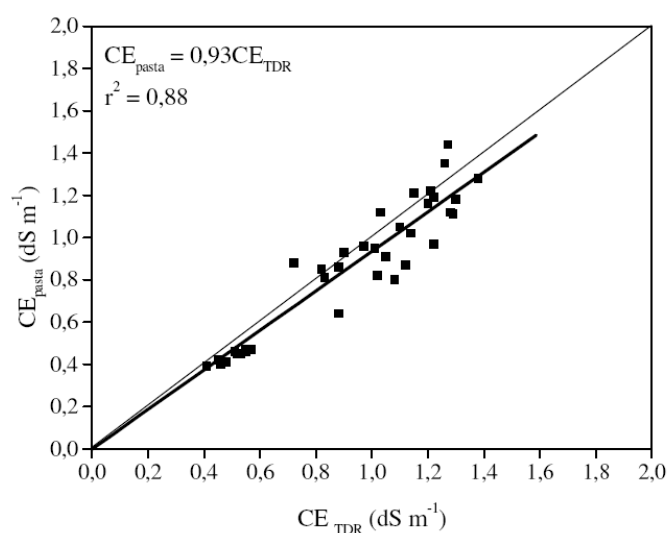


FIGURA 9. Esquema utilizado para realizar a calibração e as curvas de calibração dos substratos orgânicos.

As pesquisas geradas a partir das informações de laboratório, contribuíram de maneira significativa na avaliação de modelos computacionais para a simulação numérica dos processos da dinâmica de água e solutos no solo, e que posteriormente foram e irão ser utilizados em condições de campo. Neste sentido em um primeiro trabalho desenvolvido

SOUZA et al., 2006 teve como objetivo principal estabelecer um procedimento de calibração para usar a TDR no cálculo de concentrações de nitrato de potássio (KNO_3) em solução do solo, baseando-se na metodologia proposta por RHOADES et al. (1976) e MMOLAWA & OR (2000). O solo utilizado foi retirado de um perfil de 0-0,30 m, classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, fase arenosa, denominado Série “Sertãozinho”, localizado nas coordenadas geográficas de $22^\circ 43' 14''$ de latitude sul e $47^\circ 36' 47''$ de longitude oeste, no município de Piracicaba -SP. O experimento para determinação da relação entre a condutividade elétrica do extrato de saturação e a condutividade elétrica obtida pela TDR foi realizado no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da FEAGRI/UNICAMP. Como resultado obtivemos uma relação entre os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{pasta}) e condutividade elétrica obtida pela técnica da TDR.(FIGURA 10)



A FIGURA 10 Ilustra a relação entre os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{pasta}) e condutividade elétrica obtida pela técnica da TDR.

Para verificação do uso da relação obtida foi determinado o perfil de salinidade do solo contido em um recipiente no laboratório de Irrigação e Drenagem da ESALQ- USP. O perfil da salinidade do solo, confeccionado a partir das determinações da condutividade elétrica nos extratos saturados e nas estimativas pela TDR, está apresentado na Verifica-se semelhança entre os perfis, o que permite inferir boa estimativa da condutividade elétrica

pela TDR em relação às medidas realizadas no extrato de saturação a cada ponto verificado (FIGURA 11).

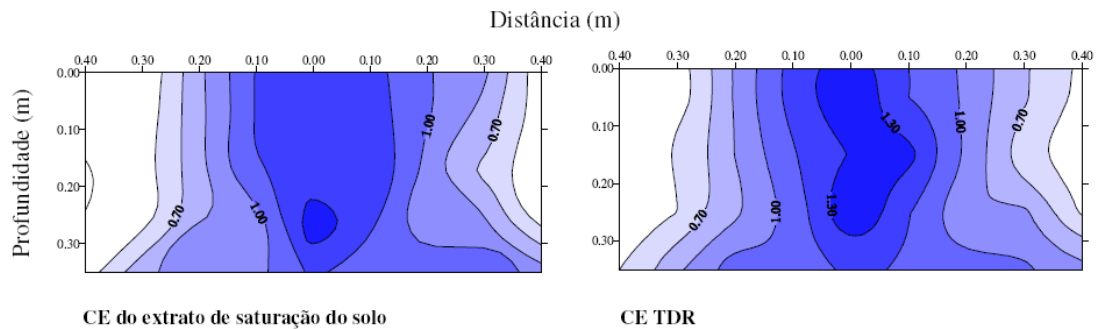


FIGURA 11 Comparação entre os perfis de salinidade do solo para os ensaios de determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo *versus* a técnica da TDR

Em um outro experimento com uso de substrato orgânico foi determinado pelo mesmo método por MESTAS VALERO, R. M, 2006 obtendo uma relação da determinação da condutividade elétrica obtida por um condutivímetro . O gráfico da FIGURA 12 abaixo ilustra a relação obtida nos dois substratos orgânicos.

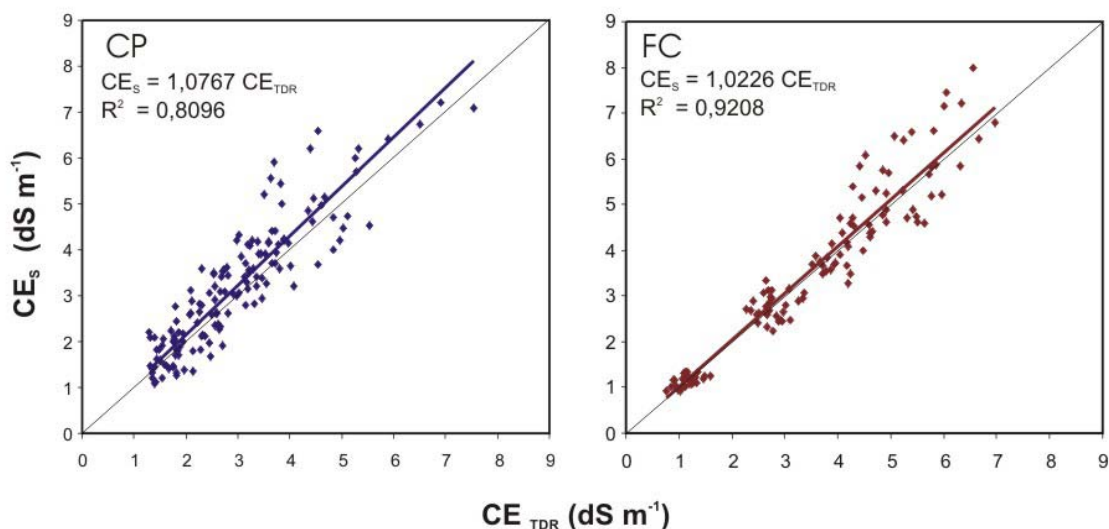


FIGURA 12 Relação entre os valores de condutividade elétrica do extrato de solução medido (CEs) e valores de condutividade elétrica estimada (CES').

Duas limitações foram verificadas na aplicação da metodologia desenvolvida por RHOADES et al. (1976). A primeira consiste na dificuldade em se utilizarem extratores para a retirada da solução do solo; e a segunda, observou-se que o limite de concentração utilizado (20 dS m⁻¹) é muito elevado. Essas limitações dificultam estimar o fator de tortuosidade, as quais podem reduzir a sensibilidade da equação de calibração e colaborar para a não-linearização proposta por RHOADES et al. (1976), relacionando a condutividade elétrica medida pela TDR em função da condutividade elétrica da solução do solo. Os extratores utilizados retiraram facilmente a solução no interior do solo em condições próximas à capacidade de campo, contudo, em condições em que o extrato foi obtido com o solo mais seco, a solução estava mais sujeita aos efeitos da interferência da energia potencial matricial na extração. Por essa razão, recomenda-se que a aplicação da solução durante o processo de saturação da amostra de solo não seja pontual, mas multiponto, para favorecer uma distribuição homogênea da solução, e também a utilização de mais de um extrator de solução por recipiente. Dessa forma, acredita-se garantir uma condição amostral representativa capaz de promover uma correlação mais precisa entre as diferentes técnicas de estimativa da condutividade elétrica do solo.

ENSAIO DINÂMICO DE DETERMINAÇÃO DE ÁGUA E NUTRIENTE

Todos os trabalhos anteriores foram realizados verificando pontualmente os conteúdos de água e a sua respectiva condutividade elétrica de uma maneira “estática” ou seja após a aplicação de água ou soluto com intervalo de tempo suficiente para a estabilização dos dados.

Neste sentido a condução de estudos em laboratório utilizando-se de colunas de solos, tem sido uma pratica bastante comum, permitindo conhecer a dinâmica da água e de solutos em uma situação que embora artificial, viabiliza um maior controle e entendimento destes processos conforme trabalhos dos pesquisadores COSTA (1998), MIRANDA (2001) e RIVERA(2005).

Comumente a avaliação da concentração de solutos ao longo da coluna de solo é feita através da utilização de pastas saturadas, metodologia destrutiva que não permite que a dinâmica de solutos no solo seja avaliada sucessivamente em um mesmo ponto de monitoramento de forma continua (SILVA et al., 2005).

Sendo assim, muitos estudos tem utilizado a técnica de TDR para avaliar a dinâmica de água e de solutos em colunas de solo RITTER et al. (2003), NISSEN et al. (2000), VANCLOOSTER et al. (1995) entre outros. De uma maneira geral, os resultados apresentados nos trabalhos descritos acima, demonstram que o uso da técnica de TDR mostrou-se bastante eficiente no monitoramento da dinâmica da água e de solutos em diferentes tipos de solo. Sendo assim, no trabalho realizado por Souza(2007), com o objetivo de avaliar a dinâmica de solutos em colunas de solo, utilizou-se uma coluna de acrílico de 35 cm de diâmetro interno e 105 cm de comprimento. A coluna foi preenchida com terra fina seca ao ar (TFSA) proveniente de um LATOSSOLO VERMELHO Amarelo, fase arenosa, denominado Série “Sertãozinho do município de Piracicaba-Brasil. A coluna de solo foi preenchida a partir de sua base, mantendo-se uma densidade uniforme de $1,5 \text{ kg dm}^{-3}$ (FIGURA 13 a). O deslocamento da água e de solutos ao longo da mesma, foi monitorado em seis profundidades: 15 cm, 30 cm, 45cm, 60 cm, 75 cm e 90 cm.

Cada um dos pontos de monitoramento foi equipado com 2 sondas de TDR, um extrator de solução

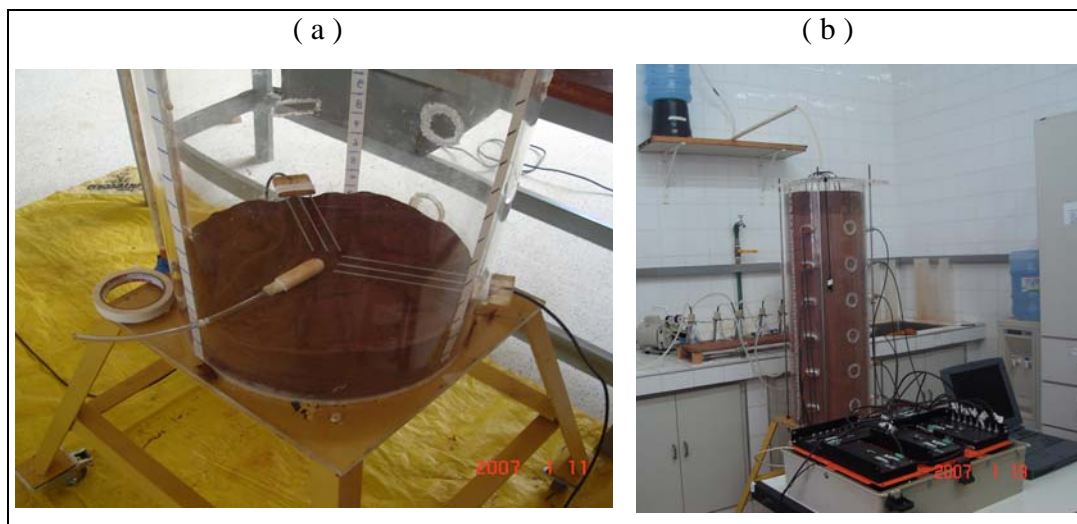


FIGURA 13 Preenchimento da coluna de solos e instalação dos extratores e das sondas de TDR (a) e coluna de solo equipada com sondas de TDR, extratores de solução e sistema automatizado para aquisição de dados(b)

Foram utilizados um total de 12 sondas de TDR, construídas no laboratório de hidráulica da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI- UNICAMP), com três hastes de 15 cm de comprimento, 0,3 cm de diâmetro e com um espaçamento entre hastes de 2,5 cm..

As sondas de TDR foram acopladas a um multiplexador SDMX50 conectado a um TDR100. Foram feitas leituras de K_a e de C_e a cada minuto. Através do *software loggernet* tais leituras foram enviadas para um *notebook* onde foram armazenadas.

Na FIGURA 13 b é apresentada a coluna de solo equipada com as sondas de TDR, extratores de solução e o sistema automatizado para aquisição de dados.

Durante o período de 8 horas e 10 minutos aplicou-se a coluna, com uma vazão constante de $3,0 \text{ L h}^{-1}$, uma solução de KNO_3 numa concentração de potássio de 1500 mg L^{-1} . A solução foi aplicada à coluna por um conjunto de 4 gotejadores distribuídos na superfície da mesma.

A fim de se obter uma estimativa da umidade volumétrica a partir dos valores obtidos para K_a foi ajustada uma curva de calibração segundo a metodologia descrita por TOMMASELLI, (2001), Equação 1.

$$\theta = 0,0034 K_a^3 - 0,2232 K_a^2 + 5,7554 K_a - 25,519 \quad (1)$$

Devido a similaridade dos resultados dos pares de sondas dispostos nas diferentes profundidades avaliadas, optou-se por trabalhar com os valores médios. A FIGURA 14 apresenta os valores médios de θ e para C_e , nos diferentes pontos de monitoramento ao longo do ensaio experimental.

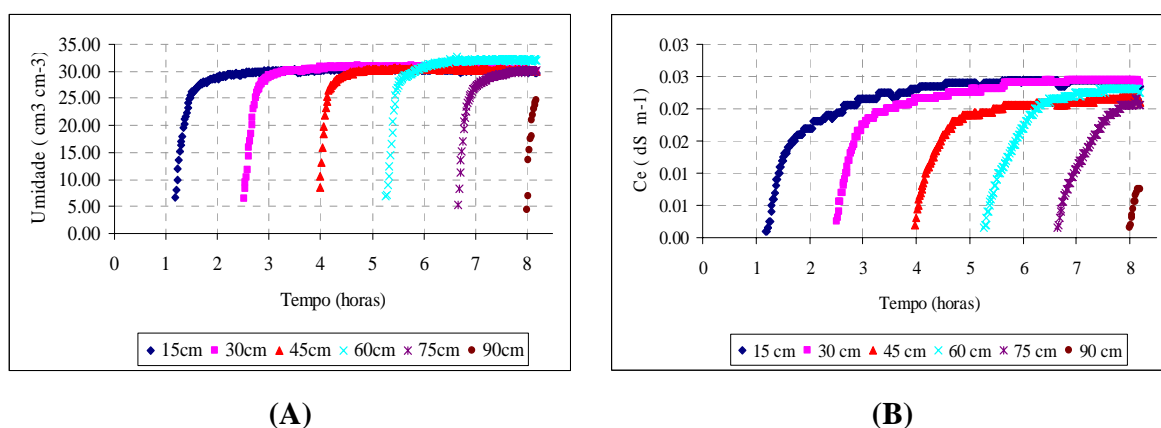


FIGURA 14: Valores médios de θ e para C_e , nos diferentes pontos de monitoramento ao longo do ensaio experimental

Através da Figura 14 (A), observa-se que a forma com que frente de molhamento atingiu cada um dos pontos de monitoramento foi bastante homogênea, sendo o paralelismo das curvas de umidade um indicador de que a mesma deslocou-se de forma bastante uniforme ao longo da coluna, reforçando a hipótese de que o preenchimento da mesma foi feito de maneira bastante homogênea.

Também se verificou, que as curvas de C_e além de apresentarem um comportamento distinto das curvas de umidade, chegando ao patamar de maneira mais lenta, apresentam comportamentos distintos entre si, para estas curvas não existe paralelismo, sendo que o tempo que cada uma delas leva para chegar ao patamar tende a aumentar com a profundidade.

Estes resultados indicam que, ao deslocar-se pela coluna, parte do K que estava em solução, fica retido no solo. Os comportamentos das curvas de umidade, (FIGURA 14 A), e de C_e ,

(FIGURA 14 B). O grande volume de informações geradas acerca da dinâmica da água e de solutos no solo e, sobretudo, a consistência das mesmas, pode contribuir de maneira bastante significativa com artigos científicos que tenham como objetivo a construção e a avaliação de modelos computacionais para a simulação numérica destes processos.

Recentemente estamos desenvolvendo um projeto que deve utilizar os conhecimentos anteriores de maneira a poder correlacionar os dados de CE com a fertilidade do solo amostrado ao longo do ciclo da cultura. Trata-se de um projeto de pós-doutorado denominado “CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE OS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO E DA PRODUTIVIDADE DO FEIJOEIRO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL IRRIGADOS”

O experimento será conduzido no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola/Unicamp, cuja classe de solo é Latossolo Vermelho distroférico típico. Serão utilizadas duas parcelas experimentais com dimensões de 20 x 30 m, onde será cultivado o feijão como cultura de inverno. As parcelas serão manejadas sobre o plantio direto e convencional, ambas irrigadas. Cada parcela terá uma malha amostral de 3 x 3m, totalizando 60 pontos por parcela, com suas respectivas coordenadas, onde serão retiradas amostras deformadas para determinação dos atributos químicos do solo e amostras indeformadas para determinação da densidade do solo. Através da técnica da TDR será feito o monitoramento da umidade do solo e a determinação da condutividade elétrica do solo. O objetivo principal deste trabalho será a determinação da variabilidade espacial dos atributos físico-químicos do solo e da produtividade do feijão irrigado, correlacionando os mapas de krigagem destes parâmetros, visando obter um modelo de estimativa da produtividade para o sistema plantio direto e convencional. A confecção de mapas temáticos dos atributos físico-químicos do solo em cada sistema de manejo, correlacionados com os mapas de produtividade da cultura, poderá auxiliar a visualização e no entendimento do comportamento espacial desses atributos e suas correlações com a produtividade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De uma maneira geral acreditamos que o estudo do uso desta técnica no Brasil teve um avanço exemplar, considerando que nestes últimos anos esta técnica tem sido empregada

em diversos centros de estudo do país com diversas aplicações, sobretudo na física de solos.

Sem dúvida nenhuma a divulgação da técnica e principalmente a fabricação das sondas pelos próprios usuários tem permitido a incorporação de novos usuários, promovendo o seu uso em diversas aplicações na agricultura.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer os autores (alunos, pesquisadores e professores) citados neste trabalho que efetivamente colaboraram com as pesquisas desenvolvidas no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da FEAGRI-UNICAMP utilizando e desenvolvendo a técnica da TDR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

COLETTI, C. Caracterização do manejo de irrigação de um cultura citrícola com a utilização de TDR. 2000. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas / SP.

COSTA, S. N. Desenvolvimento de m modelo computacional para simular o transporte de água e solutos no solo sob condições de escoamento não permanente na vertical. 1998. 145p. (Tese de Doutorado) Universidade Federal de Viçosa– UFV, Viçosa/MG.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 412 p., 1999.

MESTAS VALERO, R. M ; MATSURA, E. E. ; SOUZA, A.L ; ROQUE, M.W; BIZARI, D.R . Determinación de humedad en sustratos orgánicos mediante la técnica de tdr para

finés de irrigación. In: CLIA 2006 VII Congreso LatinoAmericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, 2006, Chillan. CLIA 2006 VII Congreso LatinoAmericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, 2006. v. 1. p. 1-5.

MIRANDA, J. H. Modelo para a simulação da dinâmica de nitrato em colunas verticais de solo não saturado. 2001. 79p. (Tese de Doutorado) ESALQ- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, Piracicaba/SP.

MMOLAWA, K.; OR, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. Plant and Soil, Dordrecht, v.222, n.1-2, p.163-90, 2000.

NISSEN, H. H.; MOLDRUP, P.; KACHNOSKI, R. G. Time Domain Reflectometry Measurements of solute Transport across a soil layer boundary. Soil Science Society of America Journal. v.64, p.62-74, 2000.

PASSEROTTI, F.R. Irrigação Subterrânea por Tubo Geotextil Exsudante no Desenvolvimento da Cultura do Morangueiro. 2000. 54p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas.

RITTER, A.; MUÑOS-CAPERNA, R.; REGALADO, C. M.; SOCORRO, A. R. Caracterización del transporte de solutos em suelos volcánicos agrícolas mediante TDR y simulación inversa.. Estudios de la zona no saturada del suelo. v. VI, p. 19-24, 2003.

RHOADES, J.D.; RAATS, P.A.; PRATHER, R.J. Effects of liquid phase electrical conductivity, water content and surface conductivity on bulk soil electrical conductivity. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.40, n.5, p.651-5, 1976.

RIVERA, R.N.C. Modelagem da dinâmica da água e do potássio na irrigação por gotejamento superficial. Piracicaba, 2005. 89p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

ROQUE, M. W. ; MATSURA, E. E. . Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos sobre o cultivo do feijão irrigado submetido a diferentes sistemas de preparo do solo.. In: VI WORKSHOP PÓS-GRADUAÇÃO: Formação Científica e Tecnológica com Compromisso Ambiental, Ético e Social, 2007, Campinas. VI Workshop Pós-Graduação, 2007.

SILVA, T. S. M.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. S.; VELLAME, L. M.; SANTANA, G. S. Teor de potássio na solução do solo com uso da técnica de reflectometria no domínio do tempo. Irriga. v. 10, n. 4, p.393-402, 2005.

SOUZA, A. L.. Uso da teoria de conjuntos fuzzy no estudo da dinamica da água e de solutos no solo. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas.

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.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Distribuição da água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.8, n.1, p.07 - 15, 2004.

SOUZA, C. F.; FOLEGATTI, M. V.; MATSURA, E. E.; OR, D. Calibração da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) para a estimativa da concentração da solução no solo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, p.282-291, 2006.

TOMMASELLI, J. T. G.; BACCHI, O. O. S. Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidades de solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, p.1145-1154, 2001.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content:

measurements in coaxial transmission lines. Water resources Research, Washington, v.16, n.3, p.574-582, 1980.

URCHEI, M.A. Efeitos do plantio direto e do preparo convencional sobre alguns atributos físicos de um latossolo vermelho-escuro argiloso e no crescimento e desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob irrigação. Botucatu, 131 p., 1996. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

VANCLOOSTER, M.; MALLANTS, D.; VANDERBORGHT, J.; DIELS, J.; ORSHOVEN, J. V.; FEYEN, J. Monitoring solute transport in a multi-layered sandy lysimeter using time domain reflectometry. Soil Science Society of America Journal. v.59, p.337-344, 1995.