



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária
Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Rua XV de Novembro, 1452 - Caixa Postal 741 - CEP 13560-970 - São Carlos - SP
Telefone: (16) 274 2477 - Fax: (16) 272 5958 - e-mail: postmaster@cnpdia.embrapa.br

ISSN 1413-6244

COMUNICADO TÉCNICO

Nº 39, set/2000, p.1-8

CALIBRAÇÃO E USO DE UMA SONDA COMBINADA TENSÍMETRO/TDR

Álvaro Macedo¹
Carlos Manoel Pedro Vaz²
Luís Henrique Basso³
Jan W. Hopmans⁴

1. Introdução

A curva de retenção da água no solo é uma relação entre a umidade volumétrica e a tensão matricial do solo. Essa relação varia amplamente de solo para solo e tal variação depende de fatores ligados aos valores de tensão superficial. Para baixos valores (0 a 1 bar) a dependência maior é em relação à capilaridade e à distribuição dos tamanhos de poros, portanto, fortemente da estrutura do solo. Para valores maiores, a dependência maior é da adsorção, ou seja, mais da textura e da superfície específica que da estrutura. O formato da curva de retenção é fortemente afetado pela textura do solo. Quanto maior for a fração argila, mais gradual será a inclinação da curva. Isto deve-se à distribuição mais uniforme dos poros, contendo mais água adsorvida. Numa textura mais arenosa, os poros são grandes e para uma dada sucção esvaziam-se rapidamente, fazendo com que a inclinação da curva seja mais acentuada (Hillel, 1992).

Pode-se inferir, do que foi acima exposto, o efeito que a estrutura do solo pode causar nas curvas de retenção. Quando ocorre compactação, por exemplo, os volumes inter-agregados diminuem e parte dos poros maiores são transformados em poros médios, o que causa o aumento de água retida nessa faixa de tamanho de poros. Obviamente, isso muda o formato da curva.

A curva de retenção possibilita, ainda, a avaliação da distribuição de poros (volumes das diferentes classes), para solos não expansíveis, uma vez que:

¹Engenheiro Eletrotécnico, PhD, da Embrapa Instrumentação Agropecuária, C. Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos/SP, alvaro@cnpdia.embrapa.br

²Físico, PhD, da Embrapa Instrumentação Agropecuária, C. Postal 741, CEP 13560-970, São Carlos/SP, vaz@cnpdia.embrapa.br

³Engenheiro Agrônomo, PhD, da Embrapa Semi-árido, C. Postal 23, CEP 56300-000, Petrolina/PE, lhbasso@cpatsa.embrapa.br

⁴Engenheiro Agrônomo, da Universidade da Califórnia, Davis, CA, 95616, E.U.A., jwhopmans@ucdavis.edu

CT/39, CNPDIA, set/2000, p.2

$$\frac{2 \cdot 10^{-3}}{r} \quad (1)$$

onde ψ (mbar) é o potencial matricial, σ ($\text{g} \cdot \text{s}^{-2}$) é a tensão superficial da água e r (cm) é o raio do poro. Essa equação é uma particularidade da equação da capilaridade, com a aproximação de que os poros são cilíndricos e o ângulo de contato seja zero.

Assim, se ocorrer uma sucção em que se passe de uma tensão matricial ψ_1 para ψ_2 , o volume de água extraído corresponderá ao volume de poros com raios na faixa de r_1 a r_2 .

Outros fatores que afetam a curva de retenção são a expansão e a contração de argila, o aprisionamento de bolhas de ar e variações na estrutura por secagem rápida ou saturação prolongada. A contração é inibida na presença de cátions bivalentes (cálcio, por exemplo) e pronunciada na presença de cátions monovalentes (sódio, por exemplo).

O conhecimento da curva de retenção de um solo é importante tanto para a pesquisa básica quanto para a aplicada. Seu levantamento é feito, normalmente, em laboratório com amostras deformadas ou indeformadas, através de vários métodos (Dane & Hopmans, 2001; Klute, 1986). Entre estes, podem ser citados os métodos da mesa de tensão, do funil com placa porosa e da panela de Richards.

No campo, aplica-se uma combinação de vários métodos. Na maioria dos experimentos, entretanto, o potencial do solo é medido com um tensiômetro conectado a um manômetro de mercúrio ou a um transdutor de pressão, ao passo que a umidade é medida com sondas de moderação de nêutrons, atenuação de raios gama ou gravimetria (Simmons et al. 1979; Watson et al. 1975; Cheng et al. 1975; Arya et al. 1975; Royer & Vachaud, 1975; Scholl & Hibbert, 1973). As desvantagens da medição em campo são o tempo e esforço envolvidos, a instrumentação necessária e a faixa estreita de tensões que ocorre em campo (Bruce & Luxmoore, 1986). Além disso, os volumes onde são medidos os dois parâmetros (tensão matricial e umidade) não são os mesmos, o que leva a interpretações difíceis e imprecisas.

Mais recentemente, tem-se utilizado a técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (mais conhecida pela sua sigla em inglês TDR *Time Domain Reflectometry*) em combinação com o tensiômetro e técnicas de medida da resistência elétrica para levantar-se a curva de retenção *in situ*. Baumgarten et al. (1994) e Whalley et al. (1994) utilizaram tubos de aço com cápsulas porosas de aço inoxidável em suas extremidades, numa configuração padrão de eletrodos paralelos para a medida simultânea do potencial matricial e da umidade. Os resultados preliminares mostraram a funcionalidade e eficácia dessa montagem, mas notaram-se limitações devidas à diferença entre os volumes de solo na medição da umidade e do potencial mátrico. Outros dispositivos foram idealizados e avaliados e apresentaram limitações a serem vencidas (Vaz et al., 2000).

Vaz et al. (2000) propuseram um novo dispositivo para a medida simultânea do potencial mátrico e da umidade, tanto em laboratório quanto em campo. Este dispositivo está esquematizado na Figura 1. Consta de uma cápsula porosa convencional de tensiômetro em torno da qual são enrolados, helicoidal e paralelamente, dois fios de cobre que funcionam como os eletrodos de um TDR. Estes dois fios são os condutores de um cabo coaxial de 50 Ω , que é fixado ao longo do tubo de PVC do tensiômetro e soldado aos dois fios de cobre no ponto A.

CT/39, CNPDIA, set/2000, p.3

Os dois fios são colados à cápsula, no ponto B. A umidade do solo é, então, determinada através da medição da sua constante dielétrica e o potencial mátrico da água pelo tensiômetro. A principal vantagem dessa nova proposta é a possibilidade de realizar a medição dos dois parâmetros no mesmo volume.

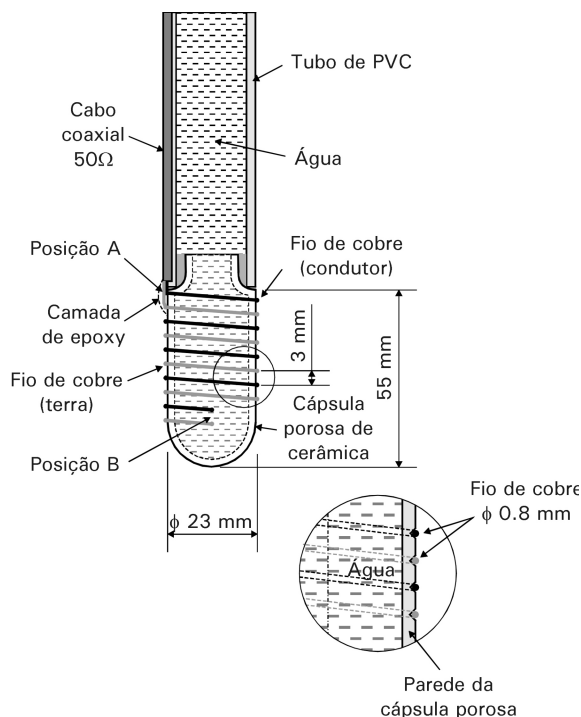


Figura 1 Diagrama detalhado da sonda combinada tensiômetro TDR.

A medida da umidade do solo através da técnica da TDR é obtida com base na medição da velocidade ou do tempo de propagação de ondas eletromagnéticas (EM) ao longo de uma guia de onda de comprimento conhecido inserida no solo. O tempo de propagação T é proporcional à constante dielétrica ϵ global do meio onde a onda propaga-se e é dado por:

$$T = \frac{2L\sqrt{\epsilon}}{c} \quad (2)$$

sendo L (cm) o comprimento da guia de onda entre as posições A e B e c ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$) é a velocidade da luz no vácuo. Como a constante dielétrica é fortemente dependente do conteúdo de água, o tempo de propagação pode ser diretamente relacionado com a umidade volumétrica. A vantagem desta configuração em solenóide é poder, devido ao pequeno espaçamento entre as suas espiras, atingir comprimentos maiores dos eletrodos, mantendo um comprimento de medição ao longo da profundidade do solo relativamente pequeno. Isto faz com que se tenha uma maior resolução da sonda, em termos da medição ao longo da profundidade. O preço a se pagar é a diminuição da sensibilidade do dispositivo à umidade, uma vez que o volume de inspeção é menor.

No presente documento, apresentar-se-á o procedimento para utilização dessa nova sonda, no levantamento de curvas de retenção de água no solo.

CT/39, CNPDIA, set/2000, p.4

2. Procedimento

2.1 Calibração

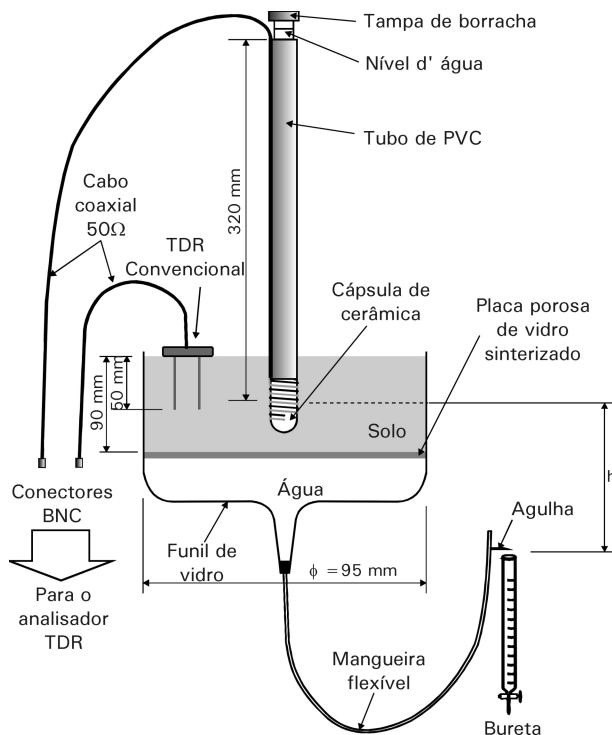


Figura 2 Diagrama de montagem do experimento para calibração da sonda combinada tensiômetro/TDR.

A calibração da sonda combinada tensiômetro/TDR deve ser feita para cada sonda e cada solo e deve ser realizada em laboratório. A Figura 2 mostra o diagrama da montagem do experimento por Vaz et al. (2000). Nesta montagem, utilizou-se uma placa porosa de vidro (pyrex, 10 15 m, da Corning, NY, USA), em contato hidráulico com uma coluna d'água. Após posicionar-se a sonda combinada no centro do volume a ser ocupado pela amostra, o solo é cuidadosamente colocado no funil, atentando-se para a presença de vazios, tanto no interior do solo quanto no seu contato com a placa. Eleva-se a agulha de saída d'água, ligeiramente acima da superfície da amostra, para saturar a amostra. Esta elevação deve ser gradual, para evitar-se o aprisionamento de ar. A agulha foi empregada para ter-se a posição exata da saída. Uma vez saturada a amostra, inicia-se a aquisição dos pontos da curva. Para obter-se cada ponto, diminui-se a altura da agulha e espera-se até que se atinja o equilíbrio. A altura h , entre a agulha e o centro da cápsula, fornece a tensão matricial, enquanto a água de saída é medida e contabilizada para determinar-se a umidade, da seguinte forma:

$$i \frac{V_{sat} - V_i}{V_t} \quad (3)$$

Onde i é a umidade volumétrica no ponto i da curva, V_{sat} o volume de saturação da amostra, V_i o volume acumulado, desde o início da drenagem até o tempo de medição do ponto i , e V_t o volume total da amostra. Alternativamente, pode-se utilizar uma sonda TDR convencional calibrada para medir-se a umidade. Quando se atingir o

CT/39, CNPDIA, set/2000, p.5

ponto onde não mais ocorre a saída de água, que será chamado de ponto de equilíbrio final, coloca-se a amostra em estufa a 105° C, durante 24 horas, para se retirar a água residual (V_{res}). O volume V_{sat} será a soma desta água residual com o volume total de água drenada, medido na bureta. A determinação V_{res} é feita calculando-se a diferença entre a massa da amostra no ponto de equilíbrio final e a massa da amostra seca em estufa. Obviamente, $\theta_o = \theta_{sat}$.

Para cada um dos pontos acima, mede-se a constante dielétrica com o auxílio de um analisador TDR conectado ao cabo coaxial da sonda combinada, da forma indicada no item 2.2.2 e obtém-se, assim, a curva de calibração da sonda, para a medida de umidade. O intervalo de deslocamento da agulha pode ser a cada 5cm ou 10cm, conforme necessário, em função da textura de cada solo. Para medida do potencial mátrico, não há necessidade de calibração, pois a sonda comporta-se como um tensiômetro convencional.

2.2 Utilização da sonda combinada tensiômetro/TDR

Uma vez calibrada a sonda combinada, conforme descrito no item 2.1, ela está pronta para utilização em campo ou laboratório. No caso de ser uma análise de laboratório e com amostra perturbada, a montagem é semelhante à da calibração, com a diferença de que não há necessidade de se coletar a água drenada nem utilizar uma sonda TDR convencional, já que a medida da umidade será feita pela sonda. No caso de medida em laboratório com amostra não perturbada ou no campo, insere-se a sonda no solo em orifício feito com emprego de um trado na medida da cápsula porosa e efetuam-se as medidas, nos intervalos e condições semelhantes ao que se faria com os métodos convencionais.

2.2.1 Medida do potencial mátrico

O potencial mátrico é medido com o mesmo procedimento utilizado para um tensiômetro, podendo empregar-se uma coluna de Hg ou um tensímetro digital. Para o caso do uso de um tensímetro, necessita-se fazer uma montagem no corpo do tensiômetro (tubo de PVC), com um tubo de acrílico transparente, que permita visualizar o nível da água e se a agulha do tensímetro está corretamente instalada. Ela não poderá ficar imersa na água. Para permitir a inserção da agulha e boa vedação, deve-se fechar a ponta do tubo de acrílico com uma rolha ou tampa de borracha (ver Figura 3).

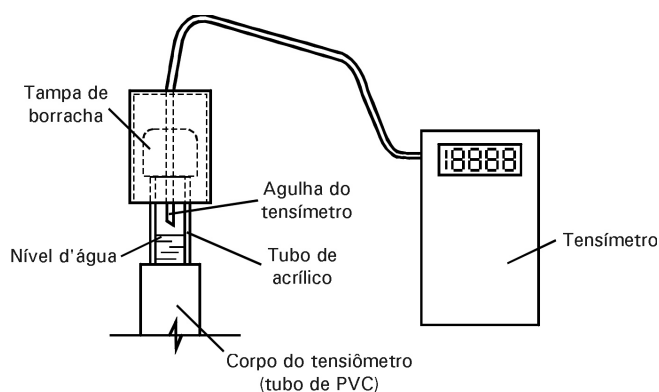


Figura 3 Detalhe da montagem do tubo de acrílico no corpo do tensiômetro, para instalação da agulha do tensímetro.

CT/39, CNPDIA, set/2000, p.6

2.2.2 Medida da umidade

A instalação da sonda na amostra de solo, conforme já mencionado, é feita da mesma forma que para um tensiômetro. A Equação 2 permite calcular a constante dielétrica de um solo, desde que se possa determinar o tempo de propagação de uma onda eletromagnética ao longo de uma guia de ondas de comprimento L conhecido. Através de um analisador TDR (o modelo 1502B, da Tekronix, por exemplo), aplica-se um pulso de tensão com tempo de subida muito alto. A onda eletromagnética viaja pelo cabo coaxial em direção à sonda inserida no solo. A sonda, como já dito, funciona como um guia de ondas e o solo como um meio dielétrico. Quando o pulso encontra uma mudança na impedância do solo, parte do pulso é refletida e o restante continua. Essas reflexões ocorrem, em particular, no início e no fim dos eletrodos da sonda. Os sinais refletidos, ao encontrarem mudanças no seu caminho de volta ao medidor, sofrem novas reflexões e o processo repete-se até que o pulso seja dissipado. O analisador registra o pulso e todas as suas reflexões como uma função do tempo decorrido desde o início do processo. O resultado dessa aquisição é mostrado no visor do analisador TDR, como esquematizado na Figura 4. O tempo T , de interesse, é dado pela diferença entre T_B e T_A . Reorganizando-se a Equação 2, obtém-se a constante dielétrica, dada por:

$$\frac{c T^2}{2 L} \quad (4)$$

Obtém-se a umidade a partir do valor de ϵ , conforme dado pela Equação 4, e utilizando-se a curva de calibração.

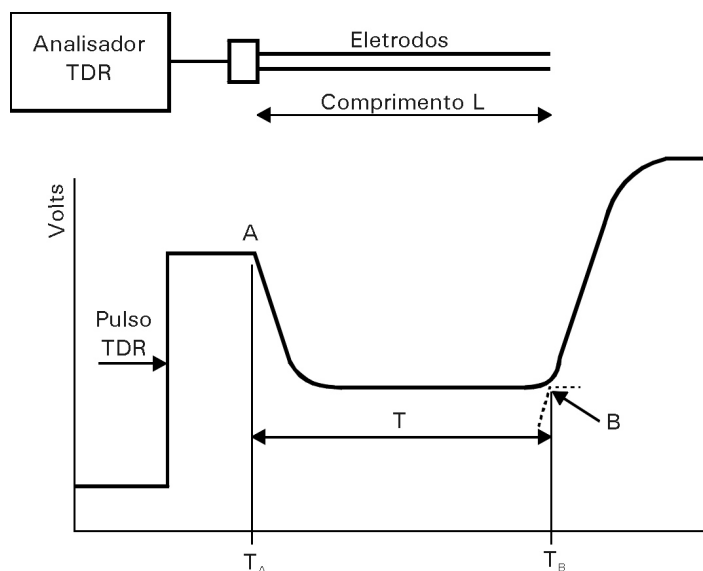


Figura 4 Medição do tempo de propagação de uma onda eletromagnética em uma guia de onda.

Como ilustração da aplicação do método descrito, as Figuras 5 e 6 mostram o o resultado obtido por Vaz e al. (2000) para o solo Oso-Flaco (Califórnia, E.U.A.). Os deslocamentos iniciais da coluna d'água eram de 5cm e a partir do ponto de entrada de ar no solo, estes valores passaram a 10cm. O maior valor da coluna foi de 80cm.

CT/39, CNPDIA, set/2000, p.7

A Figura 5 mostra os valores de constante dielétrica medidos em função da umidade calculada a partir do volume de água drenada (Equação 3). Na Figura 6, vê-se a curva de retenção d'água levantada com a sonda combinada tensiômetro/TDR e a comparação com a curva obtida pelo método da coleta do volume de água drenada. Vê-se uma boa interpolação dos dados da curva de retenção da sonda combinada ao utilizar-se um polinômio de 3º grau.

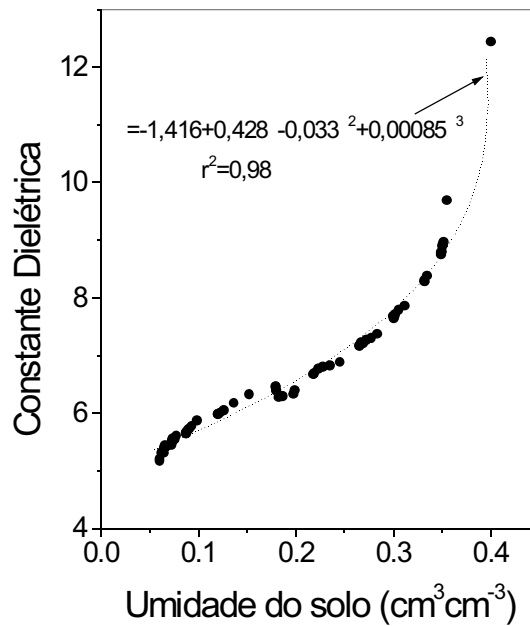


Figura 5 Curva de calibração em umidade da sonda combinada tensiômetro/TDR.

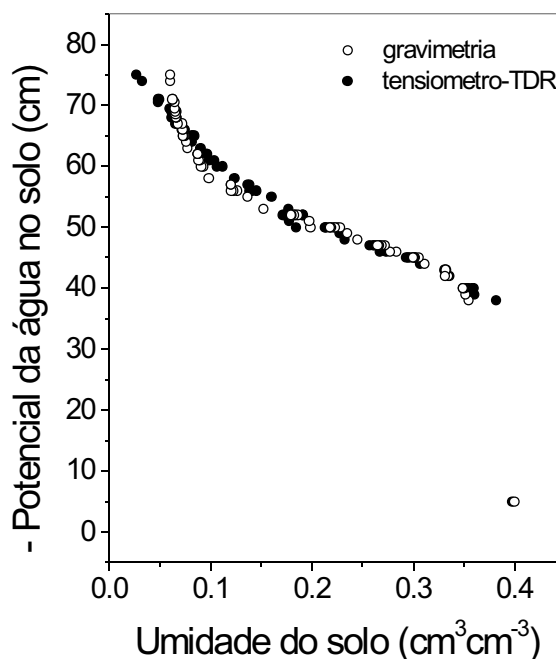


Figura 6 Curva de retenção d'água do solo Oso-Flaco, levantada pela sonda combinada tensiômetro/TDR.

CT/39, CNPDIA, set/2000, p.8

Os resultados obtidos por Vaz et al. (2000) mostraram que a sonda combinada tensiômetro/TDR constitui-se uma ferramenta útil e precisa no levantamento *in situ* da curva de retenção de água de um solo. Possui a vantagem, sobre os métodos convencionais, de medir a umidade e o potencial mátrico do solo em um único volume, não incorrendo, portanto, em interpretações difíceis e imprecisas advindas das medições em volumes distintos.

O presente documento teve como objetivo descrever o método de calibração e utilização da sonda. Para maiores detalhes sobre a metodologia científica, ver o trabalho de Vaz et al. (2000).

3 Referências Bibliográficas

- Arya, L.M., D.A. Farrel, and G.R. Blake. A field study of soil water depletion patterns in the presence of growing soybeans roots: I. Determination of hydraulic properties of soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:424-430. 1975.
- Baumgartner, N., G.W. Parkin, and D.E. Elrick. Soil water content and potential measured by hollow time domain reflectometry probe. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:315-318. 1994.
- Bruce, R.R., and R.J. Luxmoore. Water retention: field methods. In: *Methods of Soil Analysis*, Madison, ASA-SSSA Inc. Publisher, 663-686. 1986.
- Cheng, J.D., T.A. Black, and R.P. Willington. A technique for the field determination of the hydraulic conductivity of forest soils. *Can. J. Soil Sci.* 55:79-82. 1975.
- Dane, J.H., and J.W. Hopmans. Water retention and storage. IN: J.H. Dane and G.C. Topp (Eds.) *Agronomy Monograph*. ASA and SSSA. Madison, WI. 2001.
- Klute, A. Water retention: Laboratory methods: IN: A. Klute (ed.). *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd edition. *Agronomy Monograph* 9: 635-662. ASA and SSSA, Madison, WI. 1986.
- Royer, J.M., and G. Vachaud. Field determination of hysteresis in soil-water characteristics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:221-223. 1975.
- Scholl, D.G., and A.R. Hibbert. Unsaturated flow properties used to predict outflow and evapotranspiration from a sloping lysimeter. *Water Resour. Res.* 9:1645-1655. 1973.
- Simmons, C.S., D.R. Nielsen, and J.W. Biggar. Scaling of field-measured soil water properties. *Hilgardia*, 47:77-173. 1979.
- Vaz, C.M.P.; Hopmans, J.W.; Macedo, A.; Bassoi, L.H.; Wildenschild, D. Soil water retention data from combined tensiometer-coiled TDR probe measurements. *Water Resources Research*, 2000. (submetido).
- Watson, K.K, R.J. Reginato, and R.D. Jackson. Soil water hysteresis in a field soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39:242-246. 1975.
- Whalley, W.R., P.B. Leeds-Harrison, P. Joy, and P. Hoefsloot. Time domain reflectometry combined in a integrated soil water monitoring system. *J. Agric. Eng. Res.* 59:141-144. 1994.