

**ESTABILIDADE OPERACIONAL: UM CONCEITO DERIVADO DA ANÁLISE DE
ESTABILIDADE TEMPORAL COMO INDICADOR DE QUALIDADE.**

ANTONIO CARLOS ANDRADE GONÇALVES¹, ANDERSON TAKASHI HARA², EDUARDO CARRARA SILVA³,
ROBERTO REZENDE⁴

1. Professor associado, UEM, Maringá-PR, goncalves.aca@gmail.com.
2. Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Agronomia, UEM, Maringá, PR. haratakashi@hotmail.com.
3. Acadêmico de Engenharia Agrônômica, edu-carrara@hotmail.com.
4. Professor associado, UEM, Maringá-PR, rrezende@uem.br.

Apresentado no
XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
13 a 17 de setembro de 2015. São Pedro - SP, Brasil

RESUMO: A avaliação de variáveis do solo tem revelado que a variabilidade espacial de valores é uma constante, mas há uma tendência de que pontos que apresentam valores maiores, assim como aqueles que apresentam valores menores, tendem a ser persistentes no tempo, o que tem sido caracterizado como uma estabilidade temporal de leituras. Ao longo dos anos, técnicas para avaliar esta estabilidade temporal foram desenvolvidas e se mostraram adequadas. Por outro lado, a medida de umidade do solo pode ser feita com qualidade empregando-se a técnica de TDR, a qual demanda uma sonda instalada em cada ponto de amostragem. Caso sejam necessários muitos pontos de amostragem, torna-se conveniente a construção de sondas, visando redução de custos, o que tem sido empregado em nosso país. A qualidade destas sondas, no entanto, carece de melhor avaliação, de forma a assegurar a qualidade das medidas realizadas. Assim, neste trabalho foi proposto o emprego das técnicas de avaliação de estabilidade temporal como um instrumento de avaliação da qualidade das sondas construídas. Os resultados revelaram excelente potencial desta técnica para a avaliação destes sensores, assim como evidenciaram a possibilidade de emprego desta metodologia na avaliação de diferentes sensores, empregados em medidas de diferentes variáveis.

PALAVRAS-CHAVE: TDR, calibração, qualidade.

**OPERATIONAL STABILITY: A CONCEPT DERIVATED OF TEMPORAL STABILITY
ANALYSIS TO BE USED AS A QUALITY INDICATOR.**

ABSTRACT: The assessment of soil variables has shown that the spatial variability of values is a constant, but there is a trend that points that have higher values as well as those with lower values tend to be persistent over time, which has been characterized as a temporal stability of readings. Over the years, techniques to evaluate this temporal stability have been developed and showed good results. On the other hand, adequate soil moisture measurement can be made employing the TDR technique, which requires a probe installed at each sampling point. If many sampling points are needed, it is convenient to the construction of probes, to reduce costs, which has been used in our country. The quality of these probes, however, requires better evaluation to ensure the quality of the measurements. Thus, this work proposes the use of temporal stability evaluation techniques as an assessment tool of the quality of built probes. The results showed excellent potential of this technique for the evaluation of these sensors, as shown the possibility of using this methodology in the evaluation of different sensors used in measurements of different variables.

KEY-WORDS: TDR, calibration, quality.

INTRODUÇÃO: O conceito de estabilidade temporal de valores de uma variável de solo foi discutido por Vachaudt et al. (1985), sendo empregado na busca de se identificar, em um certo domínio espacial, correspondente a uma região em um campo experimental, pontos nos quais a umidade atual do solo estivesse próximo à umidade média em todo o domínio, independente do valor desta umidade média. Identificada uma posição na qual o valor médio era persistente, este poderia ser o único amostrado, para se representar todo o domínio, em qualquer momento. Esta estabilidade é definida como a associação invariável no tempo entre a posição no espaço e medidas estatísticas da propriedade (Van Wesenbeek et al., 1988). Kachanoski e De Jong (1988) expandiram o conceito, mostrando que a correlação entre valores medidos em instantes consecutivos é um teste adequado para a estabilidade temporal. Rolston et al. (1991) fizeram uso do conceito para monitorar água no solo em irrigação localizada e concluíram mostrando que se esta estabilidade ocorre, então o monitoramento do armazenamento pode ser feito em apenas alguns pontos. Gonçalves et al. (1999) retomaram o conceito e o empregaram, em conjunto com técnicas geoestatísticas, para avaliar a persistência no tempo de um padrão de dependência espacial de valores de umidade do solo. Os autores verificaram que as técnicas relacionadas a este conceito podem prestar uma contribuição relevante na identificação de valores persistentes em sua posição relativa, dentro de uma série de dados, o que tem potencial para o emprego em diferentes análises.

Tendo por base esta perspectiva, desenvolveu-se a hipótese de que estas técnicas poderiam ser empregadas na avaliação de diferentes produtos tecnológicos, como sensores em geral, desde que uma série de leituras fosse realizada, ao longo do tempo, com um conjunto de sensores, em uma faixa ampla de valores, em um domínio da variável medida. No presente trabalho objetivou-se avaliar, à luz desta hipótese, um conjunto de sondas de TDR produzidas artesanalmente, para a medida da umidade do solo, buscando identificar aquelas cujas leituras persistem dentro de uma faixa de valores em torno da média, ao longo de um ciclo de secagem do solo. Objetivou-se com isto, também, avaliar o emprego do conceito de estabilidade temporal na avaliação de sensores em geral, caracterizando-se a chamada estabilidade operacional, a qual expressará a qualidade do equipamento avaliado, em relação à sua estabilidade (exatidão), ou seja, a persistência da posição da sua leitura em relação à média e variabilidade (precisão) das medidas realizadas.

MATERIAL E MÉTODOS: Um conjunto de 18 sondas de TDR, com duas hastes de 0,20m de comprimento, foram construídas conforme metodologia descrita por Trintinalha (2000). Estas sondas foram instaladas em um recipiente contendo um NITOSSOLO VERMELHO distroférico, da região noroeste do estado do Paraná, o qual foi, em seguida, saturado com água pura. A partir deste momento, permitiu-se a drenagem e a evaporação da água, para que um processo de secagem se estabelecesse. Diariamente o conjunto foi pesado para se obter a umidade com base em massa e a umidade volumétrica (Θ) do solo. Em cada uma das sondas foi realizada uma leitura da constante dielétrica do solo (K_a), utilizando-se uma unidade de TDR marca TRASE. Este processo foi repetido até que a umidade do solo atingisse um valor inferior a $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, ou seja, abaixo do ponto de murcha permanente, para este solo. Os valores de K_a medidos foram agrupados em classes de valores de umidade com amplitude de $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, entre $0,50$ e $0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, totalizando 28 conjuntos de valores. Para cada conjunto de valores calculou-se a diferença relativa média (DRM), expressa em percentual e o correspondente desvio padrão, conforme metodologia descrita por Vachaudt et al. (1985). Previamente, procedeu-se à análise estatística descritiva dos conjuntos de dados, bem como o ajuste de modelos lineares de calibração, para cada uma das sondas avaliadas. A qualidade do ajuste foi avaliada por meio da significância do coeficiente angular do modelo, por meio do coeficiente de determinação, pelo coeficiente d de Willmott (1982) e por meio do coeficiente proposto por Camargo e Sentelhas (1997). Os valores do coeficiente de correlação linear (r) foram determinados para cada par de sondas, entre a primeira (s_1) e a última (s_2), para se avaliar a persistência da posição relativa de cada série em relação à média, conforme metodologia descrita por Kachanoski e De Jong (1988). Com base nos resultados obtidos, as sondas e os modelos de calibração foram avaliados, assim como se buscou avaliar a estabilidade operacional de cada sonda individualmente, utilizando-se a DRM e os respectivos desvios-padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os valores de K_a obtidos diariamente, para as 18 sondas avaliadas, durante o processo de secagem do solo, entre os valores de umidade volumétrica de 0,50 e 0,23 $m^3 m^{-3}$, geraram 28 conjuntos de valores, para cada classe de umidade com amplitude de 0,01 $m^3 m^{-3}$. A análise estatística destes conjuntos de valores permitiu resumi-las de acordo com o apresentado na Figura 1a. Conforme mostrado no gráfico, os valores máximos e mínimos de K_a , em cada classe de umidade, corresponderam aos valores obtidos com as sondas de números 11 e 17, respectivamente. A variação dos 18 valores em torno da média, também apresentada nesta Figura 1a, em cada valor de umidade, pode ser expressa por um coeficiente de variação médio de 9,3%, o qual foi ligeiramente superior (em torno de 10%) na faixa de umidades entre capacidade de campo (0,44) e ponto de murcha (0,34), para este solo. Nas extremidades, os valores de cv foram inferiores, em torno de 8%.

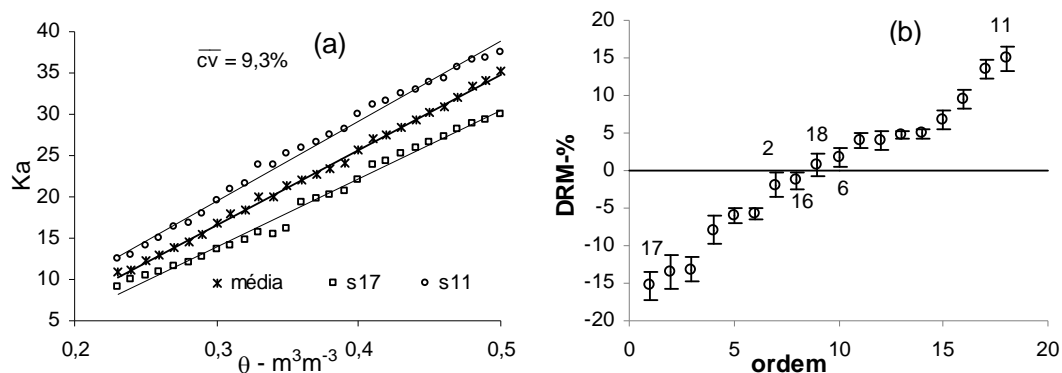


Figura 1 – (a) constante dielétrica e umidade do solo para duas sondas (s17 e s11, extremos dos intervalo), valores médios e retas referentes aos modelos de calibração ajustados. (b) valores da diferença relativa média percentual para cada sonda e correspondente desvio padrão.

Os pares de valores de K_a e umidade, para cada sonda, permitiram o ajuste de um modelo de calibração linear, com coeficiente de determinação superior a 0,98, para todas. Na Figura 1a são mostrados os modelos para as sondas 17 e 11, bem como o modelo ajustado aos valores médios ($R^2 > 0,99$). O coeficiente de confiança, c (Camargo e Sentelhas, 1997), assumiu valores superiores a 0,992 para os modelos referentes às sondas individualmente, assegurando a excelente qualidade dos ajustes, o que expressa a confiabilidade destes. Desta forma, as sondas avaliadas podem ser declaradas como de boa qualidade e empregadas para a estimativa da umidade do solo com TDR, utilizando o modelo médio para qualquer uma delas. O emprego da metodologia proposta por Kachanoski e De Jong (1988), por meio da avaliação dos valores do coeficiente de correlação linear de Pearson obtido para cada par de sondas combinadas entre si, permitiu verificar que estes valores foram sempre superiores a 0,98, corroborando a forte persistência das leituras de cada sonda, em relação às demais. Entretanto, o emprego da técnica de avaliação da estabilidade temporal proposta por Vachaudt et al. (1985), permitiu a determinação dos valores de DRM (%), bem como do desvio padrão destas diferenças relativas em torno da média, cujos valores estão apresentados na Figura 1b, na qual os círculos vazados expressam valores de DRM e as barras o desvio padrão. Verifica-se na Figura 1b que as sondas apresentaram elevada estabilidade dos valores em relação à média, para cada valor de umidade, expressa por um estreito intervalo de valores em torno da DRM, para cada uma delas. Verifica-se que a sonda 17 gerou valores sistematicamente em torno de 15% abaixo da média, com desvio de cerca de 3%, enquanto a sonda 11 os gerou em torno de 15% acima, com desvio da ordem de, também, cerca de 3%. Quatro sondas (s2, s16, s18 e s6) foram destacadas por ficarem próximas à média, com valores de DRM em torno de 2%, com desvios da ordem de 2 a 3%. Estas seriam as sondas a serem escolhidas para serem utilizadas com o modelo médio, garantindo elevada precisão e exatidão das medidas. Caso se optasse por aceitar uma variação de até 10% para DRM, apenas cinco sondas ficariam fora do intervalo. Esta é a grande vantagem do emprego da metodologia proposta para a avaliação da estabilidade operacional: a possibilidade de se fixar um critério de aceitação e exclusão de sensores, baseado em um valor limite aceitável da DRM, o que corresponde a se estabelecer um limite aceitável, para o erro sistemático de medidas. Este limite deverá ser fixado de acordo com as características da variável medida, bem como do padrão tecnológico existente para a construção dos

sensores em questão. De forma complementar, a análise dos valores de desvio padrão para cada sensor poderá ser feita fixando-se um limite aceitável para a variação das leituras de cada um, o que corresponde à definição de um critério em relação à precisão aceitável para as medidas. Assim como o critério anterior, este deve ser fixado de acordo com as condições locais. Para sondas de TDR, entende-se, no presente trabalho, que uma faixa de valores de DRM correspondente a 10% é aceitável e que desvios abaixo de 4%, como os aqui obtidos, conduzem a uma precisão adequada. De acordo com este critério, apenas cinco sondas, geradoras de valores extremos, não deveriam ser representadas por um modelo médio de calibração. Mesmo estas se revelam, no entanto, com qualidade adequada, pois suas leituras apresentam variação sistemática em relação à média, porém sendo persistentes em relação às medidas de K_a , conferindo precisão a estas. A exatidão, portanto, poderá ser assegurada com a utilização de um modelo adequado, o qual permita levar em conta o viés das mesmas. Neste caso, deve-se empregar para estas, um modelo de calibração específico. Destaca-se, por fim, que a metodologia proposta por Kachanoski e De Jong (1988) é insuficiente para a realização desta análise, ficando claro que a estratégia proposta por Vachaud et al. (1985) é necessária para se ter uma abordagem consistente do conceito de estabilidade operacional.

CONCLUSÃO: A estabilidade operacional, conforme conceito estabelecido no presente trabalho, mostrou-se um poderoso recurso na avaliação da qualidade dos sensores em questão, permitindo identificar aqueles que atendem a um critério de qualidade estabelecido, de acordo com o rigor necessário, em termos de exatidão e precisão, das leituras realizadas.

REFERENCIAS

- CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. Rev. Bras. Agrometeorol., Santa Maria, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- GONÇALVES, A.C.A., FOLEGATTI, M.V.; da SILVA, A.P. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô-central. RBCS, 1999.
- KACHANOSKI, R.G. & DE JONG, E. Scale dependence and the temporal persistence of spatial patterns of soil water storage. Water Res. Res. 24: 85 – 91, 1988.
- ROLSTON, D.E.; BIGGAR, J.W. & NIGHTINGALE, H.I. Temporal persistence of spatial soil-water patterns under trickle irrigation. Irrig. Sci., 12: 181 - 186, 1991.
- TRINTINALHA, M. A. Avaliação da técnica de reflectometria no domínio do tempo (tdr) na determinação de umidade em NITOSSOLO VERMELHO Eutroférico. Maringá, 2000. (Dissertação de mestrado). Universidade Estadual de Maringá. 67p.
- VACHAUD, G.; PASSERAT DE SILANS, A.; BALABANIS, P. & VAUCLIN, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. Soil Sci. Soc. Am. J., 49: 822 - 827, 1985.
- VAN WESENBEEK, I.J.; KACHANOSKI, R.G. & ROLSTON, D.E. Temporal persistence of spatial patterns of soil water content in the tilled layer under a corn crop. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 934 – 941, 1988.
- WILLMOTT, C.J. Some comments on evaluation of model performance, Bulletin of American Meteorological Society, v.63, p.1309- 1313, 1982.