



## ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA TEMPORAL: UM NOVO MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE TEMPORAL DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO

*Anderson Takashi Hara, Heraldo Takao Hashiguti, Antônio Carlos Andrade Gonçalves, Fernando Tadeu Bernardino, Aarão Fabrício dos Santos<sup>1</sup>, Marcos Vinícius Folegatti*

**RESUMO:** Para um manejo criterioso da irrigação, é necessário o conhecimento do armazenamento de água no solo. Do ponto de vista agrônomo, determinar uma única posição que permita estabelecer um processo de inferência da condição média de armazenamento de água do solo de um domínio experimental é muito conveniente, uma vez que possibilita a economia de esforço e economia de recursos financeiros, devido a menor demanda de sensores para o monitoramento de água no solo. Neste trabalho, tem como objetivo testar a hipótese que a uniformidade de aplicação de água no solo não promove mudanças na estabilidade temporal de armazenamento de água no solo quando a umidade do solo é elevada pela irrigação em uma condição acima da capacidade de campo permitindo a identificação de um ponto que por meio da medida da lâmina armazenada deste ponto, possa representar a condição média de um domínio. O trabalho foi realizado na fazenda Experimental da UEM, localizada no distrito de Iguatemi no município de Maringá. Foi avaliado o armazenamento de água no solo após a aplicação de água no solo considerando quatro diferentes padrões de aplicação de água no solo. De posse dos dados, foram aplicadas a técnica de estabilidade temporal e determinado o índice de consistência temporal. Os resultados obtidos revelam que é possível por meio do monitoramento de um único ponto inferir a condição média de armazenamento de água no solo com elevada precisão e exatidão independentemente da condição que é realizada a aplicação de água no solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** armazenamento de água no solo; aspersão; consistência temporal; TDR.

### 1 INTRODUÇÃO

A irrigação é uma técnica largamente empregada por agricultores Brasileiros e dentre as diferentes técnicas de irrigação a aspersão é uma das mais utilizadas no Brasil por agricultores devido a sua versatilidade e simplicidade no emprego da técnica. Para um manejo eficiente da irrigação, conhecer umidade do solo é de fundamental importância no estabelecimento da quantidade da lâmina de irrigação necessária a ser aplicada e também o momento que deve ser realizada a irrigação. Dentre as diversas técnicas para estimar a umidade do solo, a técnica da TDR vem sendo cada vez mais empregadas devido à confiabilidade da informação obtida, rapidez na obtenção de dados e pela simplicidade de operação. Uma vez que a umidade do solo é variável no espaço (Guimarães et al., 2010), no processo de monitoramento da umidade do solo, é desejável que o ponto a ser monitorado represente a condição média da área trabalhada, objetivando uma menor necessidade de gastos com sensores e esforço amostral. Com objetivo de identificar esse ponto a ser monitorado para representar a condição média de umidade do solo da área trabalhada, Vachaud et al. (1985) propõe o conceito de estabilidade temporal. Essa técnica tem sido empregada por diversos autores, e para diversas condições experimentais, como em área irrigada com pivô central e sem cultura (Gonçalves et al., 2009), em área com a cultura de citros (Rocha et al., 2005), em estudos hidrológicos (Àvila et al., 2010). No entanto o estudo da aplicabilidade da técnica carece de investigações a respeito das informações obtidas sob diversos padrões de aplicação de água no solo. O objetivo deste estudo é testar a hipótese que a uniformidade de aplicação de água no solo não promove mudanças na estabilidade temporal de armazenamento de água no solo quando a umidade do solo é elevada pela irrigação em uma condição acima da capacidade de campo.

### 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi na fazenda Experimental da UEM, localizada no distrito de Iguatemi no município de Maringá, com latitude de 23° 25' sul e longitude de 51° 57' oeste. A altitude média é de 540 m. O solo da área experimental é caracterizado como um LATOSSOLO de textura arenosa. A área experimental apresentava dimensão de 12x24m, nesta área foi demarcado quadrículas de 2x2m, compondo um total de 72 quadrículas,

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR



sendo que no centro de cada quadrícula foi instalado uma sonda de TDR, para estimar lâmina de água armazenada da camada do solo de 0-0,2 m. Cada ponto que foi instalado a sonda de TDR foi referenciada. Foram imposto na área experimental quatro cenários, nomeados como C1, C2, C3 e C4.

Cada cenário pode ser descrito como uma sequência metodológica compreendido pela leitura de todas as sondas de TDR antes da irrigação, aplicação de uma lâmina de irrigação suficiente para elevar a umidade acima da capacidade de campo, e posteriormente, a medida de quatro leituras de todas as sondas de TDR espaçadas em 1, 8, 96 e 144 horas após a irrigação. Em cada cenário, foi adotado um padrão distinto de aplicação de água da lâmina de irrigação, sendo esse padrão imposto de acordo com a posição que era posicionada os aspersores na área experimental, gerando diferentes uniformidades de aplicação de água no solo. O primeiro cenário (C1) apresentava 15 aspersores distanciados 6x6 m. O segundo cenário (C2) apresentava seis aspersores distanciados 12x12 m. O terceiro cenário (C3) apresentava seis aspersores distanciados 12x18 m. O quarto cenário apresentava quatro aspersores distanciados 12x24 m. Em todas os cenários foram utilizados aspersores com bocais 5,6 x 3,2 mm instalados a uma altura de 1 m e submetidos no momento da irrigação, uma pressão de serviço de 250 KPa. Os espaçamentos adotados foram escolhidos pela frequência da utilização em projetos de irrigação. Os valores de  $K_a$  provenientes das leituras das sondas de TDR foram convertidas em valores de umidade do solo em base volumétrica de acordo com a curva de calibração específica para o solo da área experimental. De posse os valores de umidade do solo, estes foram transformados em lâmina armazenada considerando a profundidade do solo de 0,2m obtendo para cada cenário a lâmina armazenada após uma hora de irrigação (arm1h), lâmina armazenada após 8 horas de irrigação (arm8h), lâmina armazenada após 96 horas de irrigação (arm96h) e lâmina armazenada após 144 horas de irrigação (arm144h). No momento da irrigação, ao lado de cada sonda de TDR, foi determinado a lâmina de irrigação aplicada (Lam) utilizando um pluviômetro com uma área de seção de coleta de 0,00785m<sup>2</sup>, e com os valores de lâmina aplicada foi determinado o cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen. Para cada cenário, foi construído superfície de valores de lamina de irrigação aplicada por meio do software Surfer utilizando como método de interpolação o inverso do quadrado da distância. Foi realizada a análise estatística descritiva dos valores de da lâmina de irrigação e lâmina armazenada para os quatro cenários. Para os cenários C1, C2, C3 e C4 foram empregados a técnica das diferenças relativas proposta por Vachaud et al. (1985), utilizando os valores de lamina armazenada após a irrigação. A diferença relativa é dada por:

$$\delta_{ij} = \frac{(arm_{ij} - \overline{arm}_i)}{\overline{arm}_i} \quad (1)$$

em que  $\delta_{ij}$  é a diferença relativa da posição  $i$  no momento  $j$ ,  $arm_{ij}$  é o armazenamento de água no solo da posição  $i$  no momento  $j$  e  $\overline{arm}_i$  é a média do armazenamento de água no solo de todas as posições no espaço  $i$  no momento  $j$ . Para cada posição  $i$ , foi calculada a média do desvio relativo ( $\overline{\delta}_i$ ) da posição  $i$  considerando os diversos momentos  $j$ . Se a posição  $i$  apresenta um valor de  $\overline{\delta}_i$  igual à zero, esta posição permite inferir o valor médio de todas as posições  $i$  do domínio experimental. Portanto,  $\overline{\delta}_i$  fornece um indicio de exatidão ao adotar a posição  $i$  como referência no processo de inferência estatística. O desvio padrão dos desvios relativos a todos os momentos  $j$  da posição  $i$  foi calculada, como apresentado pela proposta por Gonçalves et al. (1999). O desvio padrão é dado por:

$$\sigma_i = \left( \frac{\sum_{j=1}^n (\delta_{ij} - \overline{\delta}_i)^2}{n} \right)^{0,5} \quad (2)$$

em que  $\sigma_i$  é o desvio padrão da posição  $i$  e  $\overline{\delta}_i$  é a média do desvio relativo da posição  $i$  considerando diversos momentos  $j$ . Quanto menor o  $\sigma$  da posição  $i$ , maior a confiança desta para estimar a média geral (Gonçalves et al., 1999), indicando a precisão desta posição. A precisão refere a dispersão dos valores em torno da média, e a exatidão refere à aproximação dos dados estimados em torno ao verdadeiro. (CAMARGO e CAMARGO, 2000). Com o objetivo de determinar a posição  $i$  que poderia informar com precisão e exatidão a condição média do



domínio, foi realizada de modo um processo análogo na obtenção de um índice, conforme a metodologia proposta por (CAMARGO e CAMARGO, 2000), o produto do  $\bar{\delta}_i$  com  $\sigma_i$  resultando no índice G apresentando a dimensão em mm. O índice G é dado por:

$$G_i = \bar{\delta}_i \times \sigma_i \tag{3}$$

em que  $G_i$  é o índice de consistência temporal (mm) da posição i. A posição i que apresenta um valor de índice G próximo ou igual à zero, esta posição apresenta uma elevada precisão e exatidão para qualquer momento j, ao utilizarmos como referência ao associar o valor medido desta posição, ao valor médio de um domínio.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os momentos estatísticos das variáveis lâmina armazenada e lâmina de irrigação são apresentadas na tabela 1. Os valores de média de arm1h para os quatro cenários apresentaram valores semelhantes, assim como os valores de CV. Esses valores são esperados uma vez que a umidade foi elevada acima da capacidade de campo. Em dada cenário observa-se que a medida que ocorre a redução da lâmina de água armazenada, os valores de CV aumentam, indicando um aumentando da variabilidade espacial dessa variável. Para todas variáveis de arm e Lam, apresentam uma distribuição simétrica dos valores corroborados pelos baixos valores de coeficiente de assimetria. De acordo com a tabela 2, constata-se que a correlação dos valores de arm1h com as demais leituras ao longo do processo de secagem do solo, ocorrem uma redução de valores independentemente do cenário avaliado. Esse resultado evidencia que o padrão de arm muda ao longo do tempo devido à variabilidade espacial existente da capacidade de armazenamento. No entanto, quando observamos a correlação entre arm96h e arm144h ocorre uma maior relação entre esta duas condições, confirmados por um coeficiente de correlação maior que 0,90 para qualquer cenário avaliado, evidenciando a estabilização de perda de água no solo, assegurando uma maior confiabilidade da aplicação da técnica de Vachoud.

**Tabela1. Momentos estatísticos e CUC das variáveis arm e Lam para os cenários C1, C2, C3 e C4.**

Cenário	Variável	Média	Mediana	Variância	CV	Assimetria	Curtose	CUC
C1	arm1h	74.30	73.06	57.30	10.19	-0.67	1.65	92%
C1	arm8h	66.05	66.30	96.13	14.84	-1.17	2.00	88%
C1	arm96h	52.94	56.42	117.65	20.49	-0.17	-1.31	69%
C1	arm144h	49.84	52.52	115.55	21.57	-0.31	-0.95	81%
C2	arm1h	75.78	75.14	52.81	9.59	-0.81	2.04	93%
C2	arm8h	71.74	71.24	76.74	12.21	-1.13	2.08	90%
C2	arm96h	63.28	65.52	104.19	16.13	-0.99	0.62	88%
C2	arm144h	59.23	62.14	118.26	18.36	-0.67	-0.29	85%
C3	arm1h	75.54	75.40	58.43	10.12	-0.95	2.54	92%
C3	arm8h	69.41	69.68	81.14	12.98	-1.05	1.59	91%
C3	arm96h	57.49	62.40	149.54	21.27	-0.29	-1.19	80%
C3	arm144h	54.81	58.50	144.80	21.96	-0.14	-1.31	80%
C4	arm1h	73.51	73.84	77.34	11.96	-1.24	3.24	91%
C4	arm8h	67.62	68.12	105.36	15.18	-0.99	1.35	89%
C4	arm96h	57.08	60.84	140.23	20.75	-0.47	-0.99	70%
C4	arm144h	54.84	58.50	119.69	19.95	-0.50	-0.87	83%
C1	Lam	41.73	41.10	49.84	16.92	0.31	-0.53	87%
C2	Lam	41.80	41.90	40.02	15.13	-0.19	-0.91	87%
C3	Lam	28.17	27.80	31.93	20.06	0.72	1.23	85%
C4	Lam	23.39	20.55	115.20	45.89	0.79	-0.30	62%



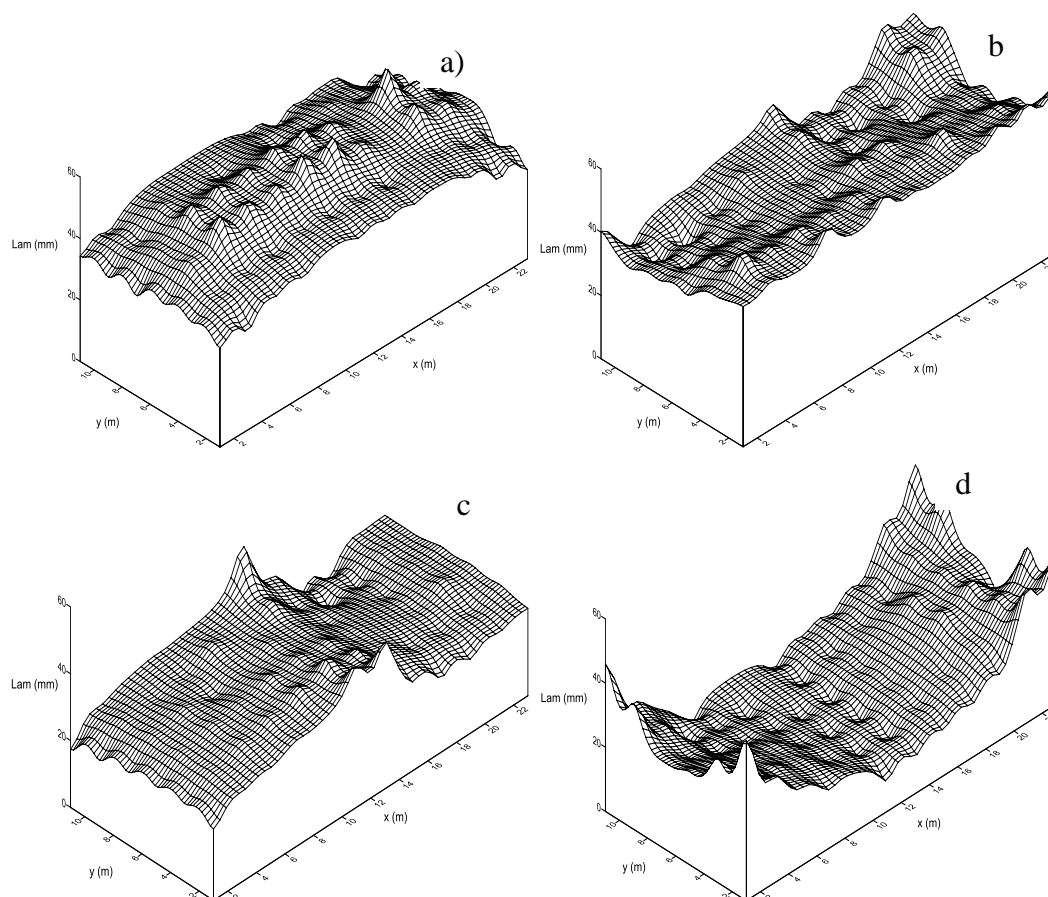
Na figura 1, são apresentadas a superfície de valores de Lam de todos os cenários. Observa-se que para os cenários C1, C2 e C3 o padrão de aplicação da lâmina de irrigação não apresentaram grandes variações, sendo corroborado pelo elevado CUC no qual foi acima de 80%. O cenário C4 apresentou o pior desempenho na questão no padrão de aplicação de água no solo apresentando um CUC na ordem de 60%.

**Tabela 2. Coeficiente de correlação entre as diferentes tempos de leitura de armazenamento para cada cenário.**

	C1				C2			
	arm1h	arm8h	arm96h	arm144h	arm1h	arm8h	arm96h	arm144h
arm1h	1,00	0,88	0,61	0,60	1,00	0,93	0,80	0,76
arm8h		1,00	0,57	0,57		1,00	0,85	0,81
arm96h			1,00	0,98			1,00	0,92
arm144h				1,00				1,00

	C3				C4			
	arm1h	arm8h	arm96h	arm144h	arm1h	arm8h	arm96h	arm144h
arm1h	1,00	0,90	0,63	0,62	1,00	0,87	0,70	0,69
arm8h		1,00	0,67	0,65		1,00	0,80	0,78
arm96h			1,00	0,96			1,00	0,97
arm144h				1,00				1,00



**Figura1. Superfície de valores para Lam dos cenários C1 (a), C2 (b), C3 (c) e C4 (d).**



As posições que apresentaram valores de  $\bar{\delta}$  menor que 5 e maior que 5 em todos os cenários foram selecionados e apresentados na tabela 3 os valores de  $\sigma$ ,  $\bar{\delta}$  e G. Observa-se na tabela 3, que somente para os cenários C1 e C3 o menor valor de  $\sigma$  foi acompanhado por um menor valor de  $\bar{\delta}$ , correspondendo à posição 68. No entanto, a posição 27 do C2 foi o que apresentou o menor  $\bar{\delta}$ , contudo o menor valor de  $\sigma$  foi para a posição 68. Para o cenário C4, a posição 32 foi a posição que apresentou o menor valor de  $\bar{\delta}$ , e para o valor de  $\sigma$  foi para a posição 68. Considerando o índice G proposto neste trabalho, pode-se observar que com exceção do cenário C2, para os demais cenários, a posição 68 apresentou o valor mais próximo de zero. Este resultado corrobora que esta posição é a mais apropriada para realizar o monitoramento do armazenamento de água no solo para se realizar o processo de inferência da condição média de armazenamento de água no solo com precisão e exatidão. Na tabela 4, 5, 6 e 7 desvio percentual das posições 27, 32 e 68 associado aos momentos arm1h, arm8h, arm96h, arm144h em relação à média de todas as posições, dos cenários C1, C2, C3 e C4. Ao se optar pela escolha da posição 68, o erro médio ao adotarmos este ponto apresenta o valor de -1,53% independentemente do cenário analisado. No entanto ao avaliarmos o erro associado por meio deste ponto considerando os diferentes momentos e diferentes cenários, podemos observar que a maior magnitude do erro é de 3,57%.

**Tabela 3.** Valores de  $\sigma$ ,  $\bar{\delta}$  e G para os cenários C1, C2, C3 e C4 para as posições 27, 32 e 68.

Posição	C1			C2			C3			C4		
	27	32	68	27	32	68	27	32	68	27	32	68
$\sigma_i$	6,06	6,05	1,65	2,02	3,73	0,85	4,58	6,69	1,94	2,21	5,06	1,24
$\bar{\delta}_i$	1,83	2,04	0,68	-0,48	-0,91	-1,53	1,46	2,93	1,04	2,47	0,50	-0,97
G	11,09	12,38	1,12	-0,97	-3,39	-1,29	6,68	19,60	2,02	5,46	2,53	-1,21

**Tabela 4.** Desvio percentual em relação à média de todas as posições, das posições 27, 32 e 68, considerando os momentos arm1h, arm8h, arm96h, arm144h e média dos mesmos do cenário C1.

Posição	arm1h	arm8h	arm96h	arm144h	média
27	-2,37	-4,35	6,58	7,46	1,83
32	-2,37	-3,95	7,56	6,94	2,04
68	-0,27	3,13	-0,29	0,16	0,68

**Tabela 5.** Desvio percentual em relação à média de todas as posições, das posições 27, 32 e 68, considerando os momentos arm1h, arm8h, arm96h, arm144h e média dos mesmos do cenário C2.

Posição	arm1h	arm8h	arm96h	arm144h	média
27	-2,56	-1,06	-0,58	2,28	-0,48
32	-4,28	-3,23	-0,16	4,03	-0,91
68	-1,87	-0,70	-0,99	-2,55	-1,53

**Tabela 6.** Desvio percentual em relação à média de todas as posições, das posições 27, 32 e 68, considerando os momentos arm1h, arm8h, arm96h, arm144h e média dos mesmos do cenário C3.

Posição	arm1h	arm8h	arm96h	arm144h	média
27	-0,87	-1,49	-29,45	6,74	-6,27
32	-3,28	-2,24	7,19	10,06	2,93
68	-0,19	-0,74	3,57	1,52	1,04



**Tabela 7. Desvio percentual em relação à média de todas as posições, das posições 27, 32 e 68, considerando os momentos arm1h, arm8h, arm96h, arm144h e média dos mesmos do cenário C4.**

Posição	arm1h	arm8h	arm96h	arm144h	média
27	0,10	1,13	3,85	4,79	2,47
32	-5,92	-1,18	4,31	4,79	0,50
68	0,45	-0,41	-1,61	-2,33	-0,97

#### 4 CONCLUSÃO

Para a condição de contorno que foi realizado o experimento, o padrão de aplicação de água no solo não afetou a estabilidade temporal de armazenamento de água. O índice G permitiu identificar a posição com maior precisão e exatidão um ponto de monitoramento da lâmina armazenada, possibilitando inferir a condição média do armazenamento de água no solo da área experimental independente da condição que é realizado a aplicação de água no solo com consistência e magnitude do erro inferior a 3,57 unidades percentuais.

#### REFERÊNCIAS

- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. de.; SILVA, A. M. da. **Estabilidade temporal do conteúdo de água em três condições de uso do solo, em uma bacia hidrográfica da região da serra da Mantiqueira, MG.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, 2010.
- GUIMARÃES, R. M. L.; GONÇALVES, A. C. A.; TORMENA, C. A.; FOLEGATTI, M. V.; BLAINSKI, E. **Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Nitossolo sob a cultura do feijoeiro irrigado.** Engenharia Agrícola, v.30, n.4, 2010.
- GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, A. P. **Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, 1999.
- ROCHA, G. C.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A. de.; CRUZ, A. C. R. **Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citros.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.29, 2005.