

Análise espacial e estabilidade temporal da armazenagem de água em Cambissolo da região do Vale do Açu, RN

Marcílio Macêdo Torres¹, Luis César de Aquino Lemos Filho², Larissa Luana Nicodemos Ferreira³, Clara Nívea Costa do Vale³, Mariuchy Sammara de Brito Paiva Franco⁴, Raimundo Fernando de Oliveira Júnior⁵

¹ Mestre em Irrigação e Drenagem pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido, DCAI/UFERSA. Engenheiro Agrônomo da EMATER-RN, Angicos, RN. E-mail: marciliotorres@m.gov.br

² Doutor em Engenharia de Água e Solo pela Universidade Federal de Lavras, DEG/UFLA. Professor Adjunto da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, Campus Mossoró. Fone: (84) 3317-8330 (ramal: 1484). E-mail: lcalfilho@ufersa.edu.br

³ Mestranda em Manejo de Solo e Água pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido, DCAI/UFERSA. E-mail: larissa.nic@hotmail.com; claranivea@hotmail.com

⁴ Graduada em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido, DCAI/UFERSA. E-mail: mariuchy_sammara@hotmail.com

⁵ Doutorando em Manejo de Solo e Água pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido, DCAI/UFERSA. E-mail: junior182@outlook.com

Resumo: A fruticultura irrigada no Vale do Açu é importante componente do agronegócio potiguar. O conhecimento do comportamento espacial e temporal da água no solo é fundamental para um manejo preciso da irrigação. Em função disso, o objetivo desse trabalho foi analisar, por meio da geoestatística, a variabilidade espaço-temporal da armazenagem de água no solo e a estabilidade temporal dessas variações. Os estudos foram realizados numa área cultivada com mangueiras (*Mangifera indica* L.), irrigada por microaspersão, em Alto do Rodrigues, RN. O monitoramento da água no solo foi por tensiometria. Na avaliação da estabilidade temporal, utilizaram-se as técnicas sugeridas por Vachaud et al. (1985) e Kachanoski e Jong (1988). Os resultados indicaram a geoestatística adequada para descrever a estrutura de dependência espacial, sendo que a armazenagem de água do solo apresentou variabilidade espacial na área, mostrando a necessidade de se manejar a irrigação de forma diferenciada e não considerando a área homogênea, como é feito atualmente na prática. A água no solo apresentou estabilidade temporal em todos os pontos amostrados. E, essa condição, proporciona a identificação de pontos na área que apresentem valores representativos da média espacial.

Palavras-chave: semivariogramas, krigagem, teste de Spearman, teste de Pearson.

Analysis of spatial and temporal stability of water storage in the Cambisol Valley region of Açu, RN

Abstract: Irrigated fruit growing in the Açu Valley is an important component of the Potiguar agribusiness. Knowledge of the spatial and temporal behavior of water in the soil is essential for precise irrigation management. This study was conducted aiming to analyze, by means of geostatistics, the spatio-temporal variability of water storage in the soil and the temporal stability of these variations. The studies were conducted in an area cultivated with hoses (*Mangifera indica* L.), irrigated by micro in Alto do Rodrigues, RN. Monitoring soil water was by tensiometers. In the evaluation of temporal stability, we used the techniques suggested by Vachaud et al. (1985) and Kachanoski and Jong (1988). The results indicated adequate geostatistics to describe the spatial dependence structure, and soil water storage present spatial variability in the area, showing the need to manage irrigation differently and not considering the homogeneous area, as is currently done in practice. The water in the soil showed temporal stability in all sampled points. And, this condition provides the identification points in the area that have values representative of the spatial average.

Keywords: variogram, kriging, Spearman test, Pearson test.

Introdução

A fruticultura irrigada no Vale do Rio Açu é um importante componente do agronegócio potiguar, sendo a mangueira uma das espécies frutícolas de maior destaque nesse contexto; seu sistema de produção é caracterizado pelo uso da irrigação ao longo de todo o ciclo de produção, porém, o manejo da água no solo tem sido feito, basicamente, em função de dados climáticos, não se levando em consideração o solo e sua variabilidade espaço-temporal.

A análise da variabilidade do solo por meio de técnicas da geoestatística é considerada um princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas (Grego & Vieira, 2005) e pode indicar alternativas de manejo para reduzir os efeitos da variabilidade sobre a produção das culturas.

A água armazenada no solo é uma das propriedades de maior importância para fins de irrigação, motivo pelo qual, sua variabilidade espaço-temporal contribui para a variação na eficiência de aplicação de água na irrigação (Gonçalves et al., 2001).

O mapeamento da variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo pode ser útil para a aplicação de água por zonas de manejo, de forma diferenciada, favorecendo a otimização da produtividade, aumentando a eficiência do insumo, maximizando os benefícios e reduzindo custos. Alguns trabalhos têm sido publicados sobre a variabilidade espacial desses atributos do solo (Siqueira et al., 2008; Ávila et al., 2010; Sampaio et al., 2010; Mion et al., 2012; Lemos Filho et al., 2015), porém menor atenção tem sido dada à variabilidade temporal dos mesmos. Apesar disto, nos últimos anos o interesse pela análise da dinâmica temporal, tem aumentado, principalmente da umidade do solo, de forma especial após a publicação do artigo de Vachaud et al. (1985).

A estabilidade temporal é descrita como a persistência temporal de um padrão espacial e é avaliado usando-se as análises de correlação dos dados medidos de forma sucessiva (Kaschanoski & De Jong, 1988). O conhecimento da interação entre os processos e as escalas espacial e temporal, é fundamental no entendimento do comportamento do sistema solo; portanto, a escala de dependência da estabilidade temporal foi utilizada para avaliar as alterações espaciais e temporais da armazenagem de água no solo.

Com a constatação da persistência no tempo das distribuições de umidade, é possível identificar pontos de amostragem cujos valores permitem estimar a média geral da umidade na área, a qualquer momento, conforme trabalho de Gonçalves et al. (1999).

Muitos estudos têm demonstrado que o conteúdo de água no solo varia com o tempo e com a localização espacial e que os padrões de variabilidade espacial não mudam com o tempo quando as observações são ranqueadas, ou seja, são estáveis no tempo (Van Pelt & Wierenga, 2001; Martínez-Fernandez & Cebalhos, 2003; Rocha et al., 2005; Moreti et al., 2007).

Uma das metas elaboradas por Vachaud et al. (1985), com o propósito de analisar a estabilidade temporal, era oferecer um método que pudesse reduzir o número de locais de medidas necessários para analisar o comportamento de um solo. Em função disto, este trabalho, que foi realizado em uma área cultivada com mangueira, no município de Alto do Rodrigues-RN, teve como objetivo analisar a variação espacial e a estabilidade temporal da armazenagem de água no solo, para determinar pontos da área que possam representar um valor médio espacial de umidade do solo e contribuir para uma orientação melhor na tomada de decisão quanto ao manejo de irrigação localizada.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em uma área, sob as coordenadas geográficas em UTM (Sistema Universal Transverso de Mercator) com Datum de projeção SAD 69, na latitude 9404004 e longitude 745308 e altitude média de 48 metros, cultivada com mangueira (*Manguifera indica* L.), em espaçamento 8 x 5 m e irrigada por microaspersão, em Alto do Rodrigues, RN, região semiárida do Nordeste brasileiro. O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo, conforme Embrapa (2006).

Foram distribuídos na área, num grid equidistante, 40 tensiômetros, onde cada um monitorava o potencial matricial do solo na profundidade de 0,3 m. Os tensiômetros foram ranqueados de 1 a 40, conforme a localização na área. As leituras dos potenciais matriciais foram realizadas semanalmente, resultando em 25 leituras de tensão de água no solo, para todos os pontos amostrais, durante o ano de 2012, utilizando tensímetro digital de punção, cujo funcionamento foi descrito por Marthaler et al. (1983). A facilidade de operação do aparelho e a rapidez na tomada das leituras agilizaram o processo, evitando intervalos de tempo longos entre a primeira e a última leitura. As leituras foram iniciadas sempre no mesmo horário e seu ordenamento sempre foi o mesmo.

Através dos potenciais matriciais, os valores de umidade do solo foram determinados utilizando-se as curvas características de retenção de água do solo, determinadas pela metodologia de Arya & Paris (1981).

Para determinação do valor de armazenamento de água, em determinado instante, utilizaram-se os valores de umidade do solo, expressos com base em volume, conforme metodologia descrita por Reichardt & Timm (2004).

As análises estatística e geoestatística foram realizadas pelos programas Statistica Development Environment, GS+ (Gamma Design Software, 2004) e R, utilizando o pacote GeoR (Ribeiro Júnior & Diggle, 2001). Foram construídos os semivariogramas experimental e teórico, com seus parâmetros de ajustes (efeito pepita, C_0 ; patamar, C_0+C ; e alcance, A) para os modelos exponencial, esférico e gaussiano, pelo método de ajuste da máxima verossimilhança (MV). A estrutura de dependência espacial foi avaliada pelo grau dessa dependência (Cambardella et al., 1994), que considera o grau de dependência espacial forte, quando a relação $C_0/(C_0+C)$ for menor que 25%, moderado quando a relação estiver entre 25 e 75% e fraco quando a relação for maior que 75%. A escolha do melhor modelo de ajuste do semivariograma teórico se deu pelo grau de dependência espacial e pelo maior valor do coeficiente de determinação do modelo (R^2).

Uma vez detectada a estrutura de dependência espacial, os mapas de contorno foram construídos por meio do interpolador geoestatístico de Krigagem (Vieira, 2000) para, a partir daí, fazer a análise da correlação espacial existente entre elas visando fornecer subsídios para identificar as diferentes zonas homogêneas na área. Em seguida utilizou-se das técnicas sugeridas por Vachaud et al. (1985) e Kachanoski & De Jong (1988) para avaliar a estabilidade temporal da variação espacial da armazenagem de água no solo, ao longo do tempo.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 podem-se visualizar os valores das medidas de tendência central: média (μ), mediana (η), valor máximo (V_{\max}) e valor mínimo (V_{\min}); e medidas de dispersão: desvio padrão (σ), coeficientes

de variação (CV), assimetria (CS) e curtose (CK) para 0,3 m de profundidade do solo.

A armazenagem de água média foi de 133,05 mm (variando de 71,12 a 189,36 mm), ocorrendo simetria nas distribuições dos dados, em virtude da semelhança entre as medidas de posição (média e mediana), constando que as distribuições se aproximam da distribuição normal, uma vez que na distribuição normal a média e a mediana são iguais. Um fundamento comum da modelagem estocástica é que os dados tenham distribuição normal, a partir da qual toda inferência geoestatística pode ser realizada. A geoestatística não exige normalidade dos dados para ser aplicada; contudo, se existir, as inferências realizadas receberão propriedades estatísticas ótimas, tal como a máxima verossimilhança.

O coeficiente de variação foi de 20,22 %, classificados, conforme Warrick & Nielsen (1980), como variável de média magnitude de variação. Os dados de desvio padrão e coeficiente de variação dão ideia da magnitude de variabilidade das propriedades analisadas; porém nada informa quanto à estrutura de dependência espacial, o que só é possível através de técnicas de geoestatística.

A hipótese de normalidade dos dados só pode ser confirmada de forma precisa com os resultados obtidos com os testes de aderência à normalidade de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk (Tabela 2). Porém, será levada em consideração a análise realizada pelo teste de aderência de Shapiro-Wilk, pois, de acordo com Lawles (1982) e Maroco (2007), para amostras com até 50 observações é o mais recomendado. Por meio desses resultados (Tabela 2), observa-se que, para o período analisado, o *p-value* indicou que os dados se adequaram à Distribuição Normal a 5% de significância, pois *p-value* foi menor que 0,05, não rejeitando a hipótese de nulidade (H_0), conforme descreve Oliveira et al. (2009). Esses resultados contribuirão de forma positiva para que as análises geoestatísticas sejam feitas de forma mais precisa e com expressão de melhores resultados.

Tabela 1. Estatística descritiva para os dados de armazenagem médio (mm) no período monitorado.

Profundidade (m)	μ	η	σ	CV (%)	V_{\max}	V_{\min}	Cur	Ass	n
	(mm)				(mm)				
0,3	133,05	127,72	26,91	20,22	189,36	71,12	-0,21	0,13	40,00

Tabela 2. Testes de normalidade, Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, para o armazenagem médio no período estudado.

Profundidade (m)	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk	
	p-value	p-lilliefors	K-S	p-value	W
0,3	0,20	0,20	0,0955*	0,8483	0,9845*

* Significativo a 5% ($\alpha=0,05$).

Empregando-se a escala de dependência espacial determinada por Cambardella et al. (1994), verifica-se, na Tabela 3, que, para os semivariogramas obtidos na profundidade do solo de 0,3 m, os três modelos testados apresentaram forte dependência espacial, visto que os valores do efeito pepita (C_0) foram inferiores a 25% do valor do patamar ($GD < 25\%$), sendo o modelo exponencial o de maior dependência. Entretanto, observando-se os coeficientes de determinação dos modelos (R^2), o esférico sobressaiu-se diante dos demais. Vieira et al. (2010), estudando a variabilidade espacial e temporal do teor de água no solo, verificou que o modelo esférico sobressaiu-se tanto para o grau de dependência quanto para o coeficiente de determinação.

O efeito pepita (C_0) reflete o erro analítico, indicando uma variabilidade não explicada (ao acaso) de um ponto para o outro. O valor de 0% indica que o erro experimental é praticamente nulo e não existe variação significativa a distâncias menores que a amostrada (Trangmar et al., 1985) e, quanto menor a proporção do efeito pepita para o patamar, maior será a semelhança entre os valores vizinhos e a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa; portanto, maior é a confiança que se pode ter nas estimativas (Vieira, 1997). Pode-se observar, na Tabela 3, que alguns modelos testados apresentaram C_0 baixo, indicando que em pequenas distâncias de separação entre os pontos, a variabilidade é pequena, significando que para este parâmetro a distância de estudo foi adequada.

O alcance é de fundamental importância para a interpretação de semivariogramas, pois indica a distância máxima em que os pontos amostrais são relacionados (Vieira et al., 1983), sendo uma das principais utilizações dos semivariogramas a determinação do número ideal de amostras. Amostras separadas por distâncias menores que o alcance são espacialmente dependentes; e aquelas separadas por distâncias maiores não são, ou seja, um semivariograma igual à variância dos dados implica em variação aleatória. O alcance também é utilizado para definir o raio de ação máximo de interpolação por krigagem.

Os resultados dos semivariogramas (Tabela 3) mostraram que os alcances foram variados,

Tabela 3. Efeito pepita (C_0), Patamar ($C_0 + C$), Alcance (A), Coeficiente de determinação (R^2) e Grau de dependência espacial (GD) para os modelos de semivariogramas testados (exponencial, esférico e gaussiano) pelo método da máxima verossimilhança (MV).

Profundidade (m)	Modelo	C_0	$C_0 + C$	A (m)	R^2	$GD = (C_0 / C_0 + C) \times 100$ (%)
0,3	Exponencial	1	740,90	15,0	0,86	0,13
	Esférico	16	733,20	11,9	0,92	2,1
	Gaussiano	87	733,50	9,7	0,91	11,9

apresentando valores da ordem de 9,7 a 15,0 metros; e efeito pepita correspondendo a uma variação de 0,13% a 11,9% do patamar. Não foi avaliada a anisotropia dos dados, realizando-se todas as análises geoestatísticas utilizando-se semivariogramas omnidirecionais, nos quais apenas a distância de separação entre as amostras é importante no cálculo da função semivariância e não o vetor entre as mesmas.

Os resultados deste trabalho em relação à dependência espacial da armazenagem de água no solo, corroboram com os de Rocha et al. (2005) e Moreti et al. (2007), pois em todos esses trabalhos foram encontrados valores de forte dependência espacial para os estudos da água no solo.

Para realização do mapeamento por krigagem (Figura 1) foi considerado o modelo de melhor ajuste para a profundidade do solo analisada (0,3 m). No manejo prático da irrigação, a determinação da lâmina de água a ser aplicada numa área leva em consideração, geralmente, o valor médio como sendo representativo de toda área. Procedimento que fatalmente ocasionará um erro nessa prática, visto que a água no solo se apresenta bem variável no espaço (Figura 1). O conhecimento dessa variabilidade espacial é fundamental para um manejo preciso, racional e sustentável das áreas irrigadas.

A Figura 2 apresentam os valores da armazenagem média (mm) para cada ponto amostral. Nela, percebe-se a não tendenciosidade temporal da armazenagem em função da sua localização na área, visto que os valores

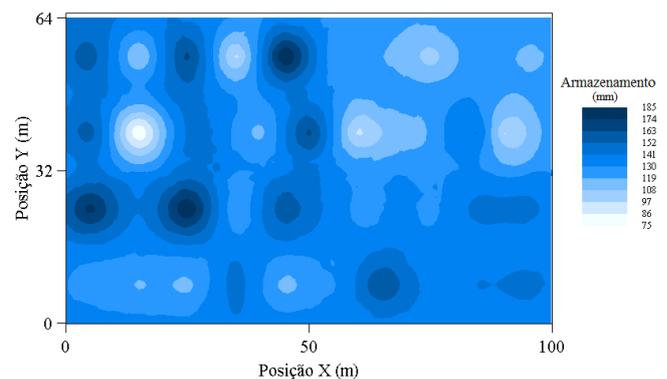


Figura 1. Mapa de krigagem para a armazenagem média na profundidade do solo de 0,3 m.

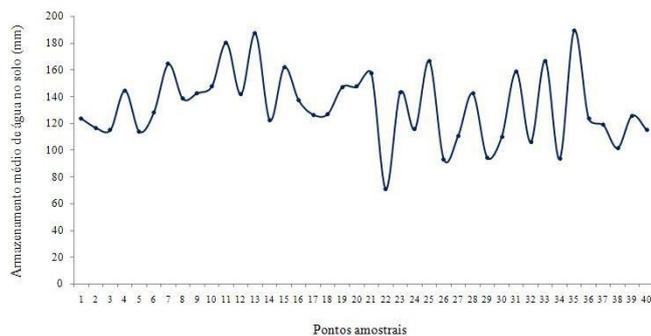


Figura 2. Armazenamento médio da água no solo (mm) para a profundidade de 0,3 m para o período de monitoramento.

médios do armazenamento variaram entre os pontos amostrais.

Na Figura 3 visualiza-se o comportamento da média espacial da armazenagem de água no solo ao longo do tempo no período estudado. Essa variação no comportamento ocorre, principalmente, em função do manejo da irrigação na área. Inicialmente, a armazenagem foi alta (solo úmido), decaindo apenas no final do período estudado, onde a armazenagem foi bem menor (solo seco). A redução da armazenagem de água no solo está ligada a uma redução ocorrida na irrigação da área no final do período estudado, pois tratava-se da época de aplicar estresse hídrico a cultura para ocasionar indução floral, prática comum em regiões semiáridas.

Além da simples análise dos dados ao longo do tempo, como proposto por Gonçalves et al. (1999), foi verificado e quantificado a estabilidade temporal, utilizando as técnicas propostas por Vachaud et al. (1985) e por Kachanoski & De Jong (1988). Também foi analisado o comportamento espacial ao longo do tempo pela técnica da diferença relativa média, proposta por Vachaud et al. (1985). O método tradicional é o coeficiente de correlação paramétrico de Pearson, que tem como pressuposto que os valores das duas variáveis apresentem distribuição normal e

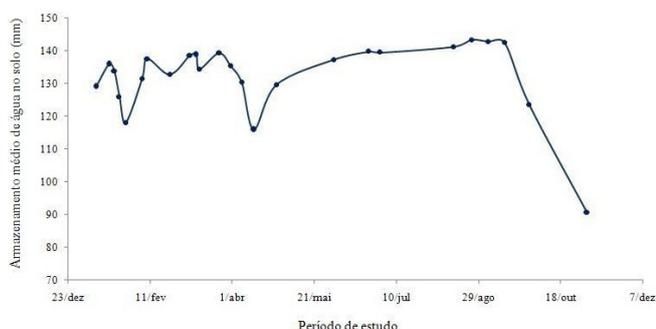


Figura 3. Variação da média espacial da armazenagem da água no solo (mm) ao longo do período monitorado na profundidade do solo de 0,3 m.

levem em conta parâmetros como média e variância dos dados. Como o número de unidades de amostras e/ou a natureza dos dados frequentemente não permite o cumprimento dessa premissa, uma alternativa é a utilização do método não-paramétrico correspondente, o coeficiente de correlação de Spearman. Para a aplicação do coeficiente de correlação de Spearman, atribuem-se posições. Para estudos de variabilidade temporal, a própria sequência de datas já é o posicionamento necessário para a aplicação do método.

Os coeficientes de correlação de Spearman (Vachaud et al., 1985) e os coeficientes de correlação de Pearson (Kachanoski & De Jong, 1988) foram diferentes para os períodos estudados (Tabelas 4 e 5). Quando o coeficiente de correlação de Spearman r_s for igual a 1 ($r_s=1$) corresponderá à identidade de posição para qualquer área, ou estabilidade perfeita entre duas datas; portanto, quanto mais próximo o r_s for de um, mais estável será o processo (Vachaud et al., 1985). Para os coeficientes de correlação de Pearson, se as variáveis apresentam uma relação linear perfeita e com declividade positiva da reta, então o coeficiente de correlação (Pearson) é igual a 1, positivo; e se apresentam uma relação linear perfeita e com declividade negativa da reta, então o valor do coeficiente também será 1, porém negativo. Se não há qualquer relação entre as variáveis, o coeficiente de Pearson é nulo. É importante considerar que correlação linear não implica causa-efeito, mas apenas expressa o grau de semelhança entre as distribuições dos conjuntos de dados de duas variáveis.

Na Tabela 4 são apresentados os valores dos coeficientes de correlação de Pearson para a armazenagem da água no solo durante o período estudado para a profundidade do solo de 0,3 m de profundidade. As correlações com r igual ou maior que 0,30, são consideradas significativas em nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) e com r igual ou maior que 0,40, são consideradas significativas em nível de 1% de probabilidade ($P \leq 0,01$). Com este critério, 92,3 % de todos os dados obtidos na Tabela 4 são significativo a 1% de probabilidade. Portanto, pode assumir uma estabilidade temporal dos locais de observação para os vários períodos analisados.

Na Tabela 5 tem-se os coeficientes de correlação de Spearman para a armazenagem da água no solo durante o período estudado, para a profundidade de 0,3 m. Vachaud et al. (1985) consideraram, em seu trabalho, os valores de correlação de Spearman de $r_s = 0,66$ e $r_s = 0,78$ como sendo relativamente altos. Segundo os autores, os menores valores de r_s obtidos no experimento podem ser o resultado de um artefato na amostragem. De outra forma, aplicando-se

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson entre armazenagens e entre estas, durante o período estudado, para a profundidade do solo de 0,3 m.

	9/1	17/1	20/1	23/1	27/1	6/2	9/2	23/2	6/3	10/3	12/3	24/3	31/3	7/4	14/4	28/4	2/6	23/6	30/6	14/8	25/8	4/9	14/9	29/9	3/11
9/1	1,00	0,93	0,96	0,97	0,85	0,95	0,95	0,90	0,93	0,83	0,92	0,92	0,94	0,96	0,87	0,66	0,66	0,91	0,91	0,88	0,76	0,88	0,90	0,77	0,15
17/1	-	1,00	0,97	0,92	0,80	0,93	0,98	0,87	0,96	0,81	0,91	0,92	0,92	0,90	0,83	0,67	0,64	0,89	0,91	0,90	0,81	0,92	0,95	0,75	0,12
20/1	-	-	1,00	0,95	0,81	0,96	0,99	0,91	0,98	0,85	0,96	0,96	0,97	0,95	0,83	0,66	0,64	0,95	0,96	0,89	0,80	0,92	0,95	0,77	0,10
23/1	-	-	-	1,00	0,91	0,97	0,93	0,91	0,92	0,80	0,92	0,91	0,93	0,95	0,90	0,63	0,61	0,91	0,91	0,85	0,73	0,86	0,88	0,78	0,18
27/1	-	-	-	-	1,00	0,89	0,80	0,78	0,76	0,70	0,79	0,77	0,79	0,81	0,93	0,59	0,53	0,74	0,74	0,73	0,58	0,71	0,73	0,80	0,27
6/2	-	-	-	-	-	1,00	0,96	0,93	0,93	0,80	0,96	0,96	0,97	0,97	0,89	0,70	0,66	0,94	0,95	0,90	0,80	0,91	0,93	0,80	0,17
9/2	-	-	-	-	-	-	1,00	0,92	0,98	0,84	0,96	0,97	0,97	0,95	0,83	0,69	0,67	0,95	0,96	0,92	0,83	0,94	0,97	0,77	0,13
23/2	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,90	0,72	0,94	0,94	0,95	0,94	0,79	0,63	0,58	0,93	0,93	0,85	0,77	0,88	0,89	0,67	0,25
6/3	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,86	0,95	0,95	0,95	0,94	0,78	0,66	0,68	0,94	0,95	0,89	0,82	0,92	0,96	0,76	0,09
10/3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,80	0,81	0,81	0,81	0,69	0,48	0,79	0,81	0,82	0,72	0,65	0,76	0,80	0,77	0,08
12/3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,99	0,99	0,97	0,80	0,63	0,65	0,98	0,98	0,88	0,82	0,93	0,95	0,72	0,11
24/3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,99	0,97	0,80	0,66	0,69	0,99	0,99	0,90	0,83	0,95	0,95	0,74	0,10
31/3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,98	0,81	0,67	0,66	0,98	0,99	0,91	0,81	0,94	0,95	0,75	0,11
7/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,84	0,66	0,68	0,96	0,96	0,89	0,80	0,91	0,92	0,76	0,15
14/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,64	0,54	0,77	0,77	0,65	0,76	0,77	0,80	0,25	
28/4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,57	0,64	0,64	0,73	0,77	0,72	0,69	0,67	0,10
2/6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,69	0,69	0,69	0,78	0,70	0,67	0,63	0,01
23/6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,99	0,88	0,82	0,93	0,94	0,72	0,09
30/6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,90	0,84	0,95	0,96	0,73	0,08
14/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,80	0,94	0,92	0,78	0,05
25/8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,86	0,88	0,59	0,04
4/9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,97	0,76	0,08
14/9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,74	0,08
29/9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,09
3/11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00

Tabela 5. Coeficientes de correlação de Spearman entre armazenagens e entre estas, durante o período estudado, para a profundidade do solo de 0,3 m.

	9/1	17/1	20/1	23/1	27/1	6/2	9/2	23/2	6/3	10/3	12/3	24/3	31/3	7/4	14/4	28/4	2/6	23/6	30/6	14/8	25/8	4/9	14/9	29/9	3/11
9/1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17/1	0,93	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20/1	0,96	0,95	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23/1	0,97	0,91	0,94	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27/1	0,85	0,79	0,79	0,90	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6/2	0,95	0,92	0,94	0,95	0,88	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9/2	0,95	0,97	0,98	0,91	0,77	0,95	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23/2	0,88	0,83	0,88	0,89	0,78	0,91	0,89	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6/3	0,94	0,96	0,98	0,91	0,75	0,92	0,98	0,87	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10/3	0,84	0,84	0,87	0,81	0,67	0,81	0,86	0,76	0,87	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12/3	0,92	0,89	0,96	0,90	0,76	0,96	0,95	0,92	0,95	0,83	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24/3	0,93	0,90	0,96	0,90	0,76	0,96	0,96	0,92	0,95	0,83	0,99	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31/3	0,94	0,91	0,97	0,92	0,78	0,97	0,96	0,93	0,95	0,84	0,99	0,99	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7/4	0,96	0,89	0,95	0,94	0,80	0,96	0,94	0,92	0,92	0,81	0,96	0,97	0,98	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14/4	0,87	0,84	0,82	0,90	0,94	0,89	0,81	0,76	0,78	0,70	0,80	0,81	0,82	0,83	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28/4	0,60	0,63	0,61	0,58	0,57	0,67	0,64	0,54	0,62	0,50	0,61	0,61	0,65	0,61	0,59	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2/6	0,68	0,68	0,69	0,64	0,54	0,70	0,71	0,63	0,71	0,80	0,71	0,74	0,72	0,70	0,56	0,61	1	-	-	-	-	-	-	-	-
23/6	0,91	0,87	0,95	0,89	0,73	0,93	0,93	0,90	0,93	0,83	0,98	0,98	0,98	0,96	0,78	0,58	0,72	1	-	-	-	-	-	-	-
30/6	0,92	0,89	0,96	0,89	0,74	0,95	0,95	0,91	0,95	0,84	0,99	0,99	0,99	0,97	0,79	0,61	0,73	0,98	1	-	-	-	-	-	-
14/8	0,86	0,88	0,87	0,82	0,72	0,89	0,90	0,79	0,89	0,75	0,88	0,90	0,89	0,86	0,76	0,69	0,76	0,85	0,89	1	-	-	-	-	-
25/8	0,78	0,81	0,83	0,73	0,60	0,82	0,85	0,77	0,84	0,71	0,86	0,86	0,85	0,82	0,66	0,73	0,82	0,82	0,86	0,81	1	-	-	-	-
4/9	0,87	0,90	0,91	0,83	0,70	0,91	0,93	0,85	0,91	0,79	0,94	0,94	0,94	0,91	0,77	0,69	0,74	0,91	0,95	0,94	0,87	1	-	-	-
14/9	0,91	0,94	0,96	0,86	0,73	0,93	0,97	0,87	0,96	0,84	0,96	0,96	0,95	0,92	0,79	0,66	0,71	0,92	0,96	0,91	0,89	0,97	1	-	-
29/9	0,75	0,74	0,76	0,73	0,75	0,77	0,75	0,64	0,74	0,77	0,72	0,72	0,75	0,74	0,79	0,70	0,66	0,71	0,72	0,78	0,60	0,76	0,75	1	-
3/11	0,09	0,07	0,04	0,14	0,21	0,12	0,05	0,23	0,04	0,02	0,07	0,06	0,07	0,13	0,18	-0,10	-0,14	0,07	0,08	-0,01	-0,08	0,05	0,05	-0,01	1

limites unilaterais de rs para o teste de correlação de Spearman (Campos, 1983), a interpretação seria mais seletiva, tendo em vista o limite crítico de 0,61 para a significância de 0,01. Com este critério, 91,4 % de todos os dados obtidos na Tabela 5 são significativo a 1% de probabilidade. Portanto, pode assumir uma estabilidade temporal dos locais de observação para os vários períodos analisados. Porém, o número de valores significativos aumenta substancialmente se os valores a serem considerados críticos forem de 0,412 e 0,49 para os níveis de probabilidades de 0,5% e 0,1%, respectivamente, conforme descrito por Conover (1980). A correlação entre dias muito distantes pode apresentar menor valor e não ser significativa.

Os coeficientes de correlação de Pearson e de Spearman possibilitam verificar a existência da estabilidade temporal, mas não permite identificar

os locais em que as medidas possam ser feitas para representar a média da variável em estudo para qualquer tempo e valor; para tanto, Vachaud et al. (1985) sugerem o cálculo das diferenças relativas (Sij) e seus respectivos desvios padrão. As diferenças relativas, quando ordenadas e plotadas em um gráfico, possibilitam identificar os pontos cujos valores estejam próximos da média real e possam ser utilizados como referência amostral.

A Tabela 6 apresenta os valores das diferenças relativas média (DRM) e seus respectivos desvios padrão (δ) para os 40 pontos de observação, na profundidade do solo de 0,3 m, durante o período estudado. Para vários pontos, na camada e período analisado, o desvio padrão pode ser considerado pequeno. Vachaud et al. (1985) encontraram valores máximos de desvio padrão de 4,4 para água no solo.

Tabela 6. Valores da diferença relativa média (DRM) em ordem crescente e desvio padrão (σ) da armazenagem de água no solo durante o período de observação para a profundidade do solo de 0,3 m.

Ordem/ "Rank"	Período total		
	Ponto amostral	DRM	σ
1	22	-0,470	0,056
2	34	-0,301	0,060
3	26	-0,300	0,019
4	29	-0,293	0,033
5	38	-0,241	0,034
6	32	-0,206	0,040
7	30	-0,179	0,033
8	27	-0,171	0,031
9	5	-0,144	0,082
10	24	-0,131	0,121
11	40	-0,123	0,039
12	3	-0,122	0,103
13	2	-0,118	0,059
14	37	-0,114	0,092
15	14	-0,083	0,097
16	1	-0,078	0,127
17	36	-0,078	0,052
18	39	-0,050	0,106
19	17	-0,048	0,099
20	18	-0,037	0,048
21	6	-0,029	0,042
22	16	0,018	0,088
23	8	0,048	0,048
24	12	0,061	0,030
25	28	0,064	0,037
26	9	0,082	0,061
27	23	0,082	0,066
28	4	0,087	0,116
29	19	0,111	0,066
30	20	0,117	0,052
31	10	0,118	0,052
32	31	0,187	0,054
33	21	0,190	0,074
34	15	0,203	0,140
35	25	0,244	0,055
36	33	0,246	0,068
37	7	0,251	0,115
38	11	0,366	0,061
39	13	0,398	0,100
40	35	0,411	0,071

Ao analisar os dados para o período total observado, tem-se que a diferença relativa média para o ponto amostral 35 representou a maior diferença positiva em relação à média, ou seja, representa a maior diferença relativa acima da média. Verifica-se também, que o ponto amostral 22 apresentou a maior diferença relativa negativa para a profundidade de 0,3 m, ou seja, maior

diferença abaixo da média. Logo, o ponto 35 foi o principal responsável pela superestimativa da média e o ponto 22 subestimou a média para a profundidade do solo analisada (0,3 m).

Levando em consideração o período total analisado, os pontos amostrais 6, 16 e 18 foram os que apresentaram os valores mais próximos da média dos pontos amostrais para cada data, com diferenças relativas médias e desvios padrões de 0,029, 0,042; 0,018, 0,088 e 0,37, 0,048, respectivamente. Logo, os pontos amostrais 6, 16 e 18 são os melhores representantes reais para a realização de uma amostragem na profundidade do solo estudada (0,3 m). Portanto, esses pontos citados poderiam ser utilizados para o monitoramento da umidade no solo, visto que, de acordo com Vachaud et al. (1985), uma pequena variação temporal de DRM é uma indicação de estabilidade temporal dos dados no tempo, independente da umidade no solo.

Na Figura 4 encontram-se as representações gráficas das diferenças relativas média da armazenagem de água no solo e os pontos que mais se aproximaram da média, ou seja, os pontos que apresentaram estabilidade temporal pela técnica da estabilidade de Vachaud et al. (1985). Essa representação possibilita melhor visualização do comportamento dos pontos em relação à média, confirmando a escolha dos pontos amostrais, cuja diferença relativa foi mais próximo de zero e com menor desvio padrão. Essa metodologia de escolha do ponto amostral tem uma aplicação bastante prática, visto que, com ela, pode-se realizar a amostragem, com segurança, da representatividade da área e reduzindo o número de amostragem, mesmo para parâmetros de grande variabilidade, diminuindo o custo e o tempo despendido. Os pontos amostrais escolhidos (6, 16 e 18) mostraram estabilidade temporal e poderiam ser escolhidos para representar a área, portanto, poderiam ser pontos de amostragem representativos da área no monitoramento de água no solo para fins de irrigação.

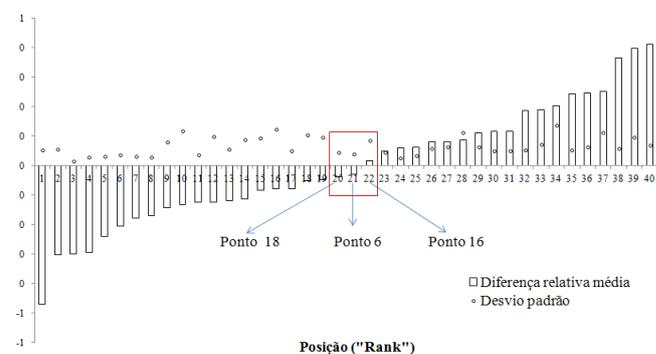


Figura 4. Diferença relativa média intertemporal e desvio padrão para o período estudado na profundidade do solo de 0,3 m.

Conclusões

A armazenagem de água no solo apresentou dependência espacial, facilitando a realização do manejo diferenciado da área; e estabilidade temporal, sendo possível identificar, no campo, pontos que melhor representaram a média espacial para a área.

Os resultados mostraram que o número de amostras necessárias para estimar uma média representativa com elevada precisão pode ser reduzido. Além disso, determina pontos da área representativos que podem ser utilizados para o monitoramento da água no solo para fins de manejo de irrigação. E, ainda, ressalta a necessidade de se manejar a irrigação de forma diferenciada e não considerando a área como homogênea, como é feito atualmente.

Agradecimentos

Ao CNPq, pelo auxílio à Pesquisa concedido para a realização deste trabalho (Processo nº 481399/2010-0).

Literatura Citada

- Arya, L. M.; Paris, J. F. A physicoempirical model to predict soil moisture characteristics from particle-size distribution and bulk density data. *Soil Science Society of America Journal*, v.45, p. 1023-1030, 1981.
- Ávila, L. F.; Mello, C. R.; Silva, A. M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.12, p.1257-1266, 2010.
- Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, n.5, p. 1501-1511, 1994.
- Campos, H. Estatística experimental não paramétrica. 4ª ed. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Matemática e Estatística, 1983. 349 p.
- Carvalho, L. A. Distribuição espacial dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica em função da umidade do solo. Piracicaba: ESALQ/USP. 2006. 180p. Tese Doutorado.
- Conover, W. J. *Practical Nonparametric Statistics*. 2ª ed., New York: John Wiley & Sons, Inc, 1980.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed., Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.
- Faulin, G. C. Variabilidade espacial do teor de água e sua influência na condutividade elétrica do solo. Piracicaba: ESALQ/USP. 2005. 53p. Dissertação de Mestrado.
- Folegatti, M. V. Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso. Piracicaba: ESALQ/USP. 1996. 84p. Tese de Livre Docência.
- Gamma Design Software. GS+: Geostatistics for the Environmental Sciences. Plainwell: Gamma Design Software, 2004.
- Gonçalves, A. C. A.; Folegatti, M. V.; Vieira, S. R. Padrões de amostragem e intensidade de krigagem na caracterização do armazenamento de água no solo, em área irrigada por pivô central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p. 485-495, 1999.
- Gonçalves, A. C. A.; Folegatti, M. V.; Viana, J. D. Análises exploratórias e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. *Acta Scientiarum: Agronomy*, v.23, n.5, p. 1149-1157, 2001.
- Grego, C. R.; Vieira, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.2, p. 169-177, 2005.
- Kachanoski, R. G.; De Jong, E. Scale dependence and the temporal persistence of spacial patterns of soil water storage. *Water Resources Research*, v.24, n.1, p. 85-91, 1988.
- Lawles, J. F. *Statistical models and methods for lifetime data*. New York: J. Wiley, 1982. 580p.
- Lemos Filho, L. C. A. Estabilidade temporal e análise espacial do armazenamento de água em solo arenoso da região de Petrolina-PE. Lavras: UFLA. 2010. 151 p. Tese de Doutorado.
- Lemos Filho, L. C. A.; Bassoi, L. H.; Faria, M. A. Modelagem espacial da água em solo arenoso com cultivo irrigado no semiárido. *Water Resources and Irrigation Management*, v.4, n.1-3, p.15-24, 2015.
- Maroco, J. *Análise Estatística com utilização do SPSS*. 3ª ed., Lisboa: Edições Silabo Ltda, 2007. 824p.
- Marthaler, H. P.; Vogelsanger, W.; Richard, F.; Wierenga, P. J. A pressure transducer for field tensiometers. *Soil Science Society America Journal*, v.47, p. 624-627, 1983.
- Martínez-Fernández, J.; Cebalhos, A. Temporal stability of soil in a large-field experiment in Sapin. *Soil Science Society America Journal*, v.67, p. 1647-1656, 2003.
- Mion, R. L.; Nascimento, E. M. S.; Sales, F. A. L.; Silva, S. F.; Duarte, J. M. L.; Sousa, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo amarelo. *Semina: Ciências Agrárias*, v.33, n.6, p.2057-2066, 2012.
- Moreti, D.; Libardi, P. L.; Rocha, G. C.; Lovatti, M. J.; Aguiar, L. I. G. Avaliação espaço-temporal das armazenagens gravimétrica e volumétrica da água num Latossolo com citros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p. 1281-1290, 2007.

- Oliveira, M. S. de; Bearzoti, E.; Vilas Boas, F. L.; Nogueira, D. A.; Nicolau, L. A. *Introdução a Estatística*. Lavras: Editora UFPA, 2009. 334p.
- Reichardt, K.; Timm, L. C. *Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações*. São Paulo: Manole, 2004. 478 p.
- Ribeiro Júnior, P. J.; Diggle, P. J. *geoR: A package for geostatistical analysis*. *R-News*, v.1, n.2, p.15-18, 2001.
- Rocha, G. C.; Libardi, P. L.; Carvalho, L. A.; 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, p. 42-50, 2005.
- Sampaio, F. M. T.; Ferreira, M. M.; Oliveira, M. S.; Almeida, A. C.; José, M. R. Variabilidade espacial da umidade de um latossolo vermelho amarelo sob plantio direto. *Engenharia Agrícola*, v.30, n.5, p.854-861, 2010.
- Siqueira, G. M.; Vieira, S. R.; Camargo, M. B. P. Variabilidade espacial do armazenamento e perda média diária de água pelo solo no sistema de semeadura direta em Campinas, SP. *Bragantia*, v.67, n.1, p.213-223, 2008.
- Trangmar, B. B.; Yost, R. S.; Uehara, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v. 38, p. 45-94, 1985.
- Vachaud, G.; Passerat, A. S.; Balabanis, P.; Vauclin, M. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. *Soil Science Society of America Journal*, v.49, p. 822-827, 1985.
- van Pelt, R. S.; Wierenga, P. Temporal stability of spatially measured soil matric potential probability density function. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, p. 668-667, 2001.
- Vieira, S. R. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP). *Bragantia*, v.56, n.1, p. 181-190, 1997.
- Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. H.; Schaefer, C. E. G. R. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 54 p.
- Vieira, S. R.; Hatfield, J. L.; Nielsen, D. R.; Biggar, J. W. Geostatistical theory and applications to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, v.51, n.3, p.1-75, 1983.
- Vieira, S. R.; Garcia, M. A. G.; González, A. P.; Siqueira, G. M. Variabilidade espacial e temporal do teor de água do solo sob duas formas de uso. *Bragantia*, v.69, n.1, p.181-190, 2010.
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. 385 p.