

PERSISTÊNCIA TEMPORAL DO PADRÃO DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM SOLO ARGILOSO CULTIVADO COM FEIJÃO

DANIELA D'ORAZIO BORTOLUZZI¹; ANDERSON TAKASHI HARA¹; ANTONIO CARLOS ANDRADE GONÇALVES²; ROBERTO REZENDE² E ANA CLAUDIA SOSSAI SOUZA¹

¹Discente do Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Avenida Colombo, 5790, Zona 7, CEP:87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. E-mail: bortoluzzidd@gmail.com; haratakashi1987@gmail.com; ana_sossai87@hotmail.com

²Professor do Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Avenida Colombo, 5790, Zona 7, CEP: 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. E-mail: goncalves.aca@gmail.com; rrezende@uem.br

1 RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o armazenamento de água no perfil do solo, ao longo do tempo, a partir do aporte de água via irrigação e a persistência de um padrão desta variável no domínio espaço-temporal. A área experimental possui dimensões de 6,0 m de largura e 24,0 m de comprimento e está localizada na região Noroeste do estado do Paraná com solo caracterizado como Nitossolo Vermelho distroférrico. Foi semeado feijão em sistema de plantio direto com espaçamento 0,5 m x 0,1 m. A irrigação foi realizada empregando-se um sistema de aspersão convencional fixo com aspersores espaçados à 6 metros. O armazenamento de água foi monitorado por intermédio de 136 sondas de TDR instaladas entre 0 e 0,20 m de profundidade, sendo 88 sondas em malha regular e 48 com amostragem aninhada desbalanceada. A lâmina aplicada foi mensurada por meio de 88 coletores dispostos na superfície do solo ao lado das sondas da malha regular. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e análise geoestatística. Os resultados evidenciaram que a uniformidade de aplicação de água não influenciou no padrão de armazenamento de água no solo. O armazenamento de água no solo apresenta estrutura de dependência espacial moderada.

Palavras-chave: geoestatística, uniformidade de aplicação, TDR.

BORTOLUZZI, D.D.; HARA, A.H.; GONÇALVES, A.C.A.; REZENDE, R.; SOUZA, A.C.S.

TEMPORAL PERSISTENCE OF WATER PATTERN STORAGE IN CLAYEY SOIL CULTIVATED WITH BEAN

2 ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate soil water storage (SWS) in the soil profile, over time, from the supply of water via irrigation and the persistence of a pattern of this variable in the space-time domain. The experimental area is 6.0 m in width and 24.0 m in length and is located in the Northwest region of the state of Paraná. Its soil is characterized as Dystroferic Red Nitosol. Beans were sown in a no-tillage system with 0.5 m x 0.1 m spacing. Irrigation was performed using a conventional fixed sprinkler system with sprinklers spaced 6 meters apart.

Soil water storage was monitored using 136 TDR probes installed from 0 to 0.20 m deep, with 88 probes in regular mesh and 48 in an unbalanced nested sampling. The applied water depth, applied by sprinkler irrigation, was measured using 88 collectors arranged on the soil surface next to the regular mesh probes. The data were submitted for descriptive statistical analyses and geostatistical analysis. The results showed that the uniformity of water application did not influence the pattern of water storage in the soil. Soil water storage shows a moderate spatial dependence structure.

Keywords: geostatistics, uniformity of application, TDR.

3 INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável à vida animal e vegetal. Diante das restrições à disponibilidade de água, dos altos custos de energia (LÓPEZ-MATA *et al.*, 2010), bem como a concorrência e as exigências do mercado, a agricultura objetiva cada vez mais a adoção de estratégias para a produção de bens de consumo com maior eficiência técnica e econômica, levando em consideração a preocupação mundial com a proteção ambiental, principalmente no que diz respeito ao uso e à conservação dos recursos hídricos (PRADO; COLOMBO, 2013; MANTOVANI *et al.*, 2013).

Um dos parâmetros mais importantes para a avaliação de um sistema de irrigação e para a implementação de práticas de manejo, é a uniformidade de aplicação de água que é quantificada por meio de coeficientes de uniformidade (TOLEDO; SOUZA; ALBUQUERQUE, 2017). Porém, muitas vezes a uniformidade é avaliada apenas na superfície do solo utilizando pluviômetros, assumindo-se que esta representa a uniformidade de distribuição de água no perfil do solo.

Diversos trabalhos (GONÇALVES *et al.*, 2010; HARA *et al.*, 2019; HARA *et al.*, 2020; LEMOS FILHO; BASSOI; FARIA, 2016; TORRES *et al.*, 2016) têm evidenciado que o armazenamento de água no solo é variável no espaço e sua capacidade de armazenamento e disponibilidade de água para as plantas dependem, de certa forma, de fatores

intrínsecos do solo. Dessa forma, torna-se necessário abordar a uniformidade de aplicação de água no solo e, simultaneamente, a uniformidade de armazenamento de água, para que seja feito um manejo de irrigação visando maior eficiência e menor custo (GUIMARÃES *et al.*, 2010).

A descrição do padrão de distribuição espacial do armazenamento é dependente de dados de umidade do solo, obtidos no espaço e repetidos ao longo do tempo. A técnica da TDR (*Time Domain Reflectometry*) torna possível a obtenção desses dados de umidade, proporcionando o acompanhamento, compreensão e descrição da dinâmica da água no solo. As ferramentas geoestatísticas são necessárias para a compreensão desse processo, visto que, a partir dela, é possível descrever a variabilidade espacial dos valores de armazenamento de água no solo com base na modelagem da continuidade espacial, permitindo caracterizar, dentro do domínio estudado, as subáreas a serem tratadas individualmente. Assim como salientado por Ferreira *et al.* (2016) o mapeamento da variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo é fundamental para que haja um manejo racional, preciso e sustentável das áreas irrigadas.

Nesse contexto, foi formulada a hipótese de que a uniformidade com que a água é aplicada sobre a superfície de um solo argiloso cultivado pouco interfere na uniformidade de distribuição da lâmina de água armazenada no perfil do solo explorado

pelo sistema radicular da cultura. Portanto, objetivou-se avaliar a distribuição espacial do armazenamento de água no perfil de um solo argiloso, na região explorada pelo sistema radicular da cultura do feijão, ao longo do tempo, durante o processo de secagem, a partir do aporte de água via irrigação com diferentes uniformidades de aplicação, e avaliar a persistência de um padrão no domínio espaço-temporal.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Maringá – Paraná, com altitude de 540 m e coordenadas geográficas 23°25' latitude Sul e 51°57' longitude Oeste. O solo da área experimental é caracterizado como Nitossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa. A composição granulométrica do solo apresenta 122,6 g kg⁻¹ de areia, 120,6 g kg⁻¹ de silte e 756,8 g kg⁻¹ de argila (HARA *et al.*, 2019).

A área experimental foi delimitada com dimensões de 6,0 m de largura e 24,0 m de comprimento, considerando os eixos x e y, respectivamente, onde havia, em toda a extensão da área, uma cobertura morta originária da dessecação da cultura de *brachiaria ruziziensis*. O solo não recebeu adubação, o que foi feito com o propósito de que a cultura pudesse expressar, no seu desenvolvimento e produção, as características inerentes ao solo. A semeadura da cultura do feijão carioca comum, cultivar Flor Diniz, ocorreu manualmente em sistema de plantio direto adotando um espaçamento de 0,5 m x 0,1 m. A semeadura foi realizada em julho e a colheita em outubro, sendo a duração do ciclo de 90 dias com consumo hídrico de 328,27 mm.

Com o intuito de monitorar o padrão de armazenamento de água no solo na profundidade do sistema radicular da cultura, foram instaladas sondas de TDR dentro da área experimental na camada de

0,0 a 0,20 m, dispostas a delimitação de 3,0 m x 24,0 m, sendo espaçadas com 2,0 m de distância, conforme Figura 1. Como critério de instalação das sondas, foram adotados dois sistemas de amostragem, nos quais 88 sondas foram instaladas seguindo sistema de amostragem com malha regular e 48 sondas seguindo sistema de amostragem aninhada desbalanceada (BADR; DURRANI, 1993; WEBSTER; OLIVER, 1990). No total, foram instaladas 136 sondas de TDR para monitorar o armazenamento de água no solo.

O sistema de irrigação utilizado foi aspersão convencional fixo, composto por uma linha principal e duas linhas laterais adjacentes, espaçadas em 6,0 m e comprimento total de 24,0 m, onde foram alocados cinco tubos de elevação para a instalação dos aspersores espaçados em 6,0 m. Os aspersores utilizados foram da marca Fabrimar, modelo Eco A232, com combinações de bocais de 4,2 x 3,0 mm instalados a um metro de altura e submetidos à pressão de serviço de 250 kPa no momento da irrigação, aferida com o auxílio de um manômetro no tubo de elevação.

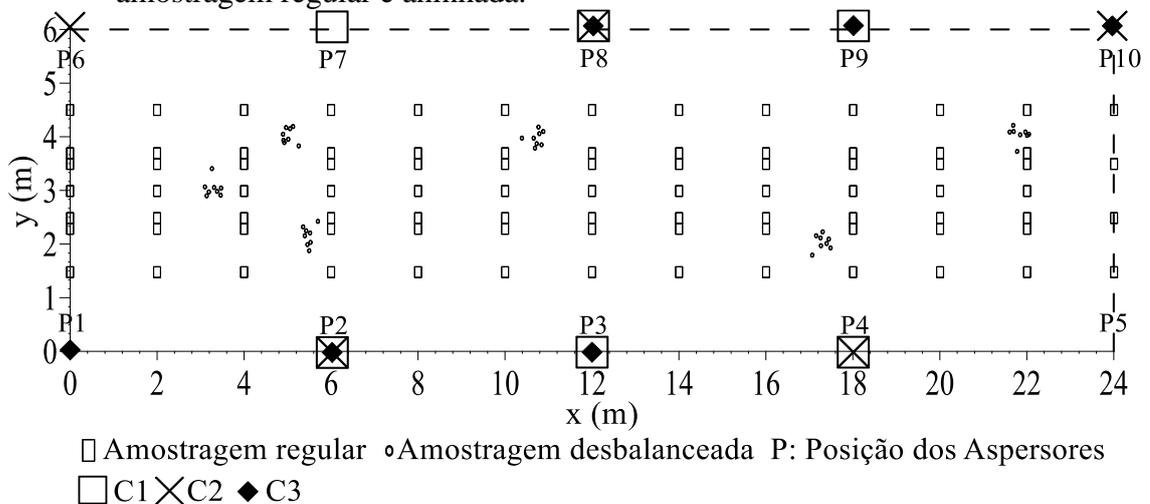
Acima da superfície do solo, ao lado de cada sonda do sistema de amostragem regular, foi instalado um coletor de água com diâmetro de bocal igual a 0,08 m, apoiado a uma haste metálica, para a coleta da lâmina aplicada na superfície da área. O momento para irrigar foi definido a partir das leituras da constante dielétrica do meio (Ka) pela técnica da TDR. Para converter as leituras de Ka para umidade a base de volume (θ), foi utilizada a equação de calibração ($\theta = 0,0137 * Ka + 0,1341$) para o mesmo solo, empregado por HARA *et al.* (2020).

O ciclo de umedecimento consistiu na medida de lâmina armazenada no solo (H) em todas as posições de amostragens antes da ocorrência da lâmina de água de irrigação (lirr), referido como momento antes da aplicação (A₀) e posteriormente a coleta de dados de H em diversos momentos após a ocorrência de lirr citado como A_i, sendo i o

i-ésimo momento avaliado. Dessa forma, quando a umidade do solo retornasse a níveis próximos ao anterior da lâmina aplicada, foi realizada uma nova aplicação, possibilitando a avaliação de vários ciclos de umedecimento do solo. Em todos os cenários, procurou-se aplicar uma lirr com o intuito de elevar a umidade do solo a capacidade de campo.

Os dados em estudo são originados da avaliação de três cenários distintos de armazenamento de água no solo durante o período de desenvolvimento da cultura. Esses cenários foram criados utilizando diferentes espaçamentos, assim, os aspersores foram dispostos na área de forma a se obter aplicação de água com diferentes níveis de uniformidade, conforme Figura 1.

Figura 1. Croqui da área experimental com a posição dos aspersores dispostos em espaçamentos de 6,0 x 6,0 m e posições das sondas de TDR para o sistema de amostragem regular e aninhada.



O primeiro cenário (C1) consiste em uma lâmina média aplicada de 22,30 mm, com os aspersores alocados nas posições P2,3,4,7,8 e 9, conforme Figura 1, proporcionando uma aplicação de baixa uniformidade. Visando avaliar cenários com alta uniformidade de aplicação, foram realizadas mais duas irrigações, uma com os aspersores operando nas posições P2,4,6,8 e 10, com lâmina média de 30,08 mm caracterizando o segundo cenário (C2) e um com lâmina média de 30,07 mm e posições iguais a P1,2,3,8,9 e 10, caracterizando o terceiro cenário (C3).

Para todos os cenários foi mensurado o armazenamento de água no solo antes da irrigação e repetidas quatro vezes durante o secamento do solo, até que o armazenamento médio retornasse a níveis próximos do armazenamento antes da irrigação.

Os conjuntos de dados foram submetidos à análise de estatística descritiva e exploratória, como proposto por Gonçalves, Folegatti e Da Mata (2001), afim de verificar a aderência da distribuição de frequência à normalidade ou a simetria da distribuição dos conjuntos de dados, bem como a presença de pontos discrepantes. Para este último, foi adotado o critério de limite inferior e superior, conforme Libardi *et al.* (1996).

Após análise estatística e sendo confirmado que o processo estocástico da variável aleatória em estudo atende a hipótese de estacionaridade no mínimo intrínseca, buscou-se descrever a estrutura de dependência espacial por meio de análises variográficas que tiveram por base a estimativa da função de semivariância dada pela Equação 1:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(s_i) - Z(s_i + h)]^2 \quad (1)$$

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância estimada; $N(h)$ o número de pares de valores da variável Z , medidos em pontos separados pela distância h ; $Z(s_i)$ o valor da variável Z na localização s_i no espaço.

Uma vez que os diferentes semivariogramas obtidos nos diversos momentos avaliados foram semelhantes, foi possível a adoção de um semivariograma escalonado médio, conforme metodologia proposta por Hara *et al.* (2019). De acordo com os autores, a obtenção de um semivariograma escalonado médio permite a detecção de uma tendência central e facilita a interpretação da continuidade espacial. Para tanto, o semivariograma escalonado médio foi calculado utilizando as equações 2 e 3:

$$\overline{\gamma(h)} = \sum_{i=1}^{N(\Delta h)} \gamma^*(h) N(\Delta h)^{-1} \quad (2)$$

$$\bar{h} = \sum_{i=1}^{N(\Delta h)} h N(\Delta h)^{-1} \quad (3)$$

Em que: $\overline{\gamma(h)}$ é a semivariância escalonada média; $\gamma^*(h)$ semivariância escalonada; Δh intervalo de distância fixado do agrupamento (0,2 m); $N(\Delta h)$ número de valores da variável Z , existentes no Δh ; \bar{h} é a distância média.

Os semivariogramas experimentais foram obtidos empregando-se o software VARIOWIN. O ajuste dos coeficientes do modelo teórico foi realizado utilizando o programa estatístico R, sendo estes validados pelo teste t a 95% de probabilidade. Para analisar o grau da dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella *et al.* (1994). O modelo ajustado ao semivariograma médio foi utilizado para proceder à interpolação por krigagem dos valores de armazenamento em locais não amostrados. Para tanto, foi utilizando o software Surfer 10.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes às lirr estão apresentados na Tabela 1. O alto coeficiente de variação apresentado em C1 indica maior dispersão dos valores em torno da média, proporcionando, conseqüentemente, um menor valor de CUC (68,30%), representando, portanto, uma irrigação com baixa uniformidade de aplicação (MERRIAN; KELLER, 1978). Para os demais cenários, os diferentes espaçamentos entre aspersores utilizados proporcionaram aplicação uniforme da lirr dentro dos limites avaliados, apresentando baixo valor de CV e alto CUC (> 85%).

Tabela 1. Estatística descritiva dos valores de lirr, em mm, para os três cenários em estudo.

Lâmina de água aplicada via irrigação (mm)							
Cenários	Obs.	Média	Mediana	CV (%)	Assimetria	Curtose	CUC (%)
C1	87	22,38	24,89	38,06	-0,71	-0,60	68,30
C2	86	30,08	30,19	15,94	-0,11	0,04	86,76
C3	80	30,07	30,60	14,48	-0,59	0,18	88,05

Os valores de armazenamento de água no solo, na camada de 0,20 m, avaliados nos três cenários e nos diferentes momentos ao longo do processo de secagem do solo estão apresentados na Tabela 2.

Nota-se que para todos os cenários em estudo, as séries referentes ao armazenamento de água no solo refletiram distribuições simétricas, ajustando-se à normalidade, fato que pode ser comprovado

pelos valores muito próximos da média e da mediana, bem como os valores dos coeficientes de assimetria e curtose próximos a zero.

Tabela 2. Valores de armazenamento de água no solo, expressos em mm, mensurados antes da irrigação (A_0) e após a irrigação (A_i) ao longo do tempo.

Armazenamento (mm)								
Cenários	Obs.	Média	Mediana	CV (%)	Assimetria	Curtose	CUC (%)	
C1	A_0	123	88,79	87,37	19,02	0,14	-0,19	84,83
	A_1	113	115,00	115,05	10,11	-0,52	-0,26	92,11
	A_2	114	107,84	108,88	11,72	-0,36	-0,41	90,47
	A_3	114	102,88	102,58	13,01	-0,19	-0,10	89,38
	A_4	119	86,28	86,55	14,74	-0,03	-0,03	88,42
C2	A_0	118	75,68	76,69	15,18	-0,45	0,17	88,15
	A_1	119	109,59	110,66	8,71	-0,27	-0,17	93,02
	A_2	119	94,80	92,85	10,73	-0,09	-0,18	90,74
	A_3	119	87,58	87,37	12,71	-0,18	0,37	90,10
	A_4	116	75,27	77,10	14,83	-0,46	0,29	88,41
C3	A_0	116	70,46	71,76	15,96	-0,37	-0,16	87,45
	A_1	119	105,90	105,46	10,38	-0,11	-0,35	91,67
	A_2	120	94,89	94,77	10,73	-0,12	0,32	91,45
	A_3	114	87,73	87,92	11,89	-0,22	0,15	90,57
	A_4	111	72,02	73,13	15,21	-0,39	-0,29	88,00

Com relação ao armazenamento ao longo do tempo, nota-se que o valor de CV diminui consideravelmente após a irrigação em todos os cenários e se mantém em níveis mais baixos mesmo depois que o solo estava em média mais seco (A_4) que o momento anterior a irrigação (A_0). Para C1, observa-se que mesmo a lâmina de irrigação sendo considerada de baixa uniformidade, ela promoveu uma maior uniformidade no interior do solo devido à dinâmica de água no perfil do solo, a qual foi persistente no tempo. Essa maior uniformidade pode ser comprovada pelo aumento gradativo dos valores de CUC nos momentos após a irrigação e que persistiram durante o processo de secagem do solo.

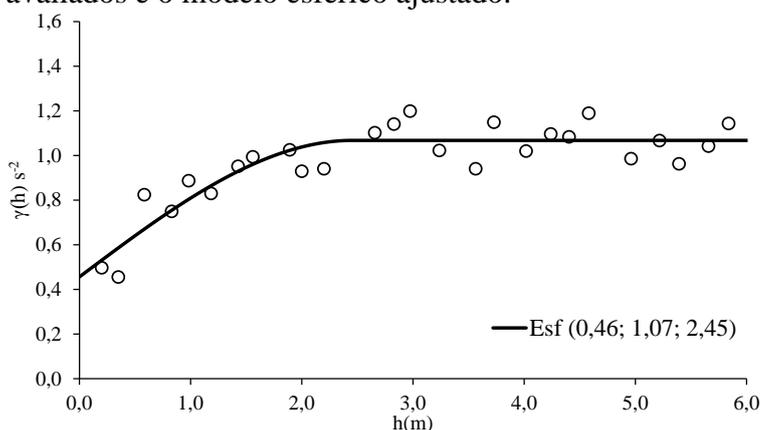
No momento A_4 , para todos os cenários, o solo voltou à condição de umidade anterior à irrigação (A_0), nesse momento o valor de CV, assim como o valor de CUC, retornaram a valores próximos ao

momento A_0 . Embora diferentes pesquisas têm mostrado a importância da redistribuição da água no solo em relação a uniformidade de água aplicada (REZENDE *et al.*, 1988; ROCHA *et al.*, 1999; RODRIGUES *et al.*, 2001; ZOCOLER *et al.*, 2013), elas consideram o armazenamento de água no solo como sendo constante, entretanto, estudos como os realizados por Gonçalves, Folegatti e Vieira (1999b) e Torres *et al.* (2016) descrevem o armazenamento de água no solo como sendo variável no espaço. Neste estudo, além de descrever a variabilidade espacial do armazenamento de água no solo, foi possível demonstrar a persistência de um padrão de armazenamento que não foi influenciado pela ação da cultura e nem pela uniformidade de aplicação de água dos aspersores, corroborando com os resultados encontrados por Hara *et al.* (2019) e Guimarães *et al.* (2010).

O semivariograma experimental escalonado médio referente ao armazenamento de água (Figura 2) revela a existência de uma estrutura de dependência

espacial, a qual pode ser descrita por meio de um modelo esférico para os três cenários avaliados.

Figura 2. Semivariograma experimental escalonado médio para todos os valores de armazenamento de água no solo antes e após a aplicação de água nos diferentes cenários avaliados e o modelo esférico ajustado.



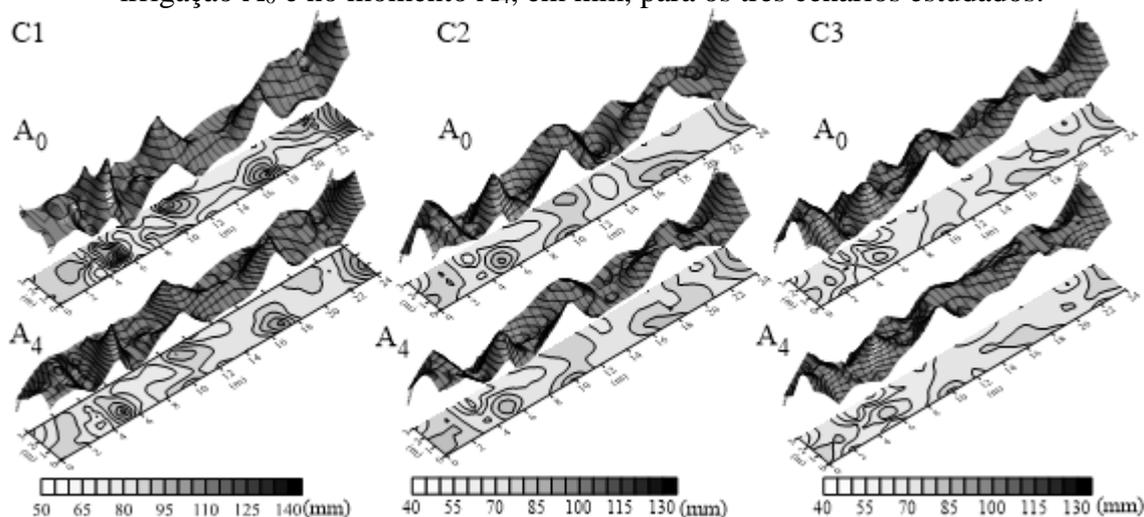
O modelo apresenta efeito pepita de 0,46; patamar em 1,07 e alcance de 2,45 m, que corresponde, segundo Cambardella *et al.* (1994) a uma moderada estrutura de dependência espacial. O valor do efeito pepita corresponde a 42% do patamar, dessa forma, 58% da variação total se deve a estrutura de dependência espacial. Segundo Gonçalves, Folegatti e Silva (1999a), um alto valor do efeito pepita se deve a imperfeições do processo de medida, além da variação estruturada em distâncias menores que o espaçamento adotado no estudo.

A identificação de padrões semelhantes de continuidade espacial que foram descritos por meio de um único semivariograma escalonado pela variância amostral, para todos os cenários mesmo quando receberam aplicação de água com níveis de uniformidades distintos, corrobora a ideia de que o padrão de aplicação de água pouco interfere no padrão espacial de armazenamento de água no solo, o qual depende, fundamentalmente, das características intrínsecas deste

(GONÇALVES *et al.*, 2010; GUIMARÃES *et al.*, 2010; HARA *et al.*, 2019).

A distribuição espacial do armazenamento de água no solo nos momentos A_0 e A_4 para os diferentes cenários em estudo está apresentada na Figura 3. Nota-se que, para todos os cenários, mesmo com diferentes CUC e padrões de aplicação de água, tanto no momento antes da irrigação quanto no momento A_4 , em que a umidade do solo se encontra com níveis próximos ao que se tem em A_0 as superfícies de valores se assemelham. A comparação dessas superfícies de valores revela que a distribuição espacial que havia antes da irrigação foi mantida após o processo de secagem. Essa persistência temporal do padrão de armazenamento de água no solo está em conformidade com os resultados encontrados por Gonçalves *et al.* (2010) para um Nitossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa e Salvador *et al.* (2012) para um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com textura média a arenosa.

Figura 3. Distribuição espacial dos valores de armazenamento de água no solo antes da irrigação A₀ e no momento A₄, em mm, para os três cenários estudados.



6 CONCLUSÃO

O armazenamento de água no solo, para todos os cenários, apresentou estrutura de dependência espacial moderada, podendo essa ser ajustada por um único modelo médio, permitindo seu mapeamento por técnicas geoestatísticas. O aporte de água via irrigação com diferentes espaçamentos e uniformidades não interferiram no padrão de armazenamento de água no solo, o qual mostrou ser uma característica que expressa fatores intrínsecos a este.

8 REFERÊNCIAS

BADR, I.; DURRANI, S. A. Combining nested and linear sampling for determining the scale and form of the spatial variation of soil radon in the midlands area of England. **Nuclear Tracks and Radiation Measurements**, Birmingham, v. 22, p. 267-272, 1993. DOI: doi.org/10.1016/0969-8078(93)90064-B. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096980789390064B?via%3Dihub>. Acesso em: 9 jun. 2021.

7 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

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**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. DOI: doi.org/10.2136/sssaj1994.0361599500580050033x. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/ab/10.2136/sssaj1994.0361599500580050036x>. Acesso em: 9 jun. 2021.

FERREIRA, L. L. N.; LEMOS FILHO, L. C. A.; TORRES, M. M.; OLIVEIRA JUNIOR, F.; VALE, C. N. C.; FRANCO,

M. S. B. P. Spatial variability of available water and micro-sprinkler irrigation in cambisol. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 6, p. 782-788, 2016. DOI: doi.org/10.1590/0034-737x201663060006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/GFLzMWBGFLzMWBt9qJ8SQNP/?lang=en>. Acesso em: 9 jun. 2021.

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**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 485-495, 1999a. DOI: doi.org/10.1590/S0100-06831999000100019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/jGYb63HwHwWJ9bJMyt5qWVw/?lang=pt>. Acesso em: 9 jun. 2021.

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**, Viçosa, v. 23, n. 3, p. 155-164, 1999b. DOI: doi.org/10.1590/S0100-06831999000300001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/4zC56wTY6QQ8VMjzWTxYLV/?lang=pt>. Acesso em: 9 jun. 2021.

GONÇALVES, A. C. A.; TRINTINALHA, M. A.; FOLEGATTI, M. V.; REZENDE, R.; TORMENA, C. T. Spatial variability and temporal stability of water storage in a cultivated tropical soil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. Supl., p. 153-162, 2010. DOI: doi.org/10.1590/S0006-87052010000500016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/pKMSb9zMzMyrCQ8nzSKTf8G/?lang=en>. Acesso em: 9 jun. 2021.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; DA MATA, J. D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 23, p. 1149-1157, 2001. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v23i0.2570>. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2570>. Acesso em: 9 jun. 2021.

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**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 657-669, 2010. DOI: doi.org/10.1590/S0100-69162010000400010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/69CtMsQrpC9by7cPyWWZhmD/?lang=pt>. Acesso em: 9 jun. 2021.

HARA, A. T.; GONÇALVES, A. C. A.; DOMINGUES, J. V. S.; HASHIGUTI, H. T.; REZENDE, R.; BORTOLUZZI, D. D. Estrutura espacial do armazenamento de água no solo na presença de cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 13, n. 2, p. 3358-3368, 2019. DOI: doi.org/10.7127/rbai.v13n2001056. Disponível em: <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/1056>. Acesso em: 9 jun. 2021.

HARA, A. T.; GONÇALVES, A. C. A.; SANTOS, F. A. S.; REZENDE, R.; DOMINGUES, J. V. S. Temporal persistence of soil water storage to identify local sites for adequated monitoring of soil water. **Revista Engenharia na Agricultura-Reveng**, Viçosa, v. 28, p. 165-175, 2020. DOI:

doi.org/10.13083/reveng.v28i.6257.

Disponível em:

<https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/6257>. Acesso em: 9 jun. 2021.

LEMOS FILHO, L. C. A.; BASSOI, L. H.; FARIA, M. A. Variabilidade espacial e estabilidade temporal do armazenamento de água em solo arenoso cultivado com videiras irrigadas. **Irriga**, Botucatu, Edição especial, p. 319-340, 2016. DOI:

doi.org/10.15809/irriga.2016v1n1p319-340.

Disponível em:

<https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2133>. Acesso em: 9 jun. 2021.

LIBARDI, P. L.; MAFRON, P. A.;

MORAES, S. O.; TUON, R. L.

Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 1-12, 1996.

LÓPEZ-MATA, E.; TARJUELO, J. M.;

JUAN, J. A.; BALLESTEROS, R.;

DOMINGUEZ, A. Effect of irrigation uniformity on the profitability of crops.

Agricultural Water Management,

Amsterdam, v. 98, n. 1, p. 190-198, 2010.

DOI: doi.org/10.1016/j.agwat.2010.08.006.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377410002738?via%3Dihub>.

Acesso em: 9 jun. 2021.

MANTOVANI, E. C.; DELAZARI, F. T.;

DIAS, L. E.; ASSIS, I. R.; VIEIRA, G. H.

S.; LANDIM, F. M. Eficiência no uso da água de duas cultivares de batata-doce em resposta a diferentes lâminas de irrigação.

Horticultura Brasileira, Brasília, DF, v.

31, n. 4, p. 602-606, 2013. DOI:

doi.org/10.1590/S0102-

05362013000400015. Disponível em:

[https://www.scielo.br/j/hb/a/8vhwTxHYXq](https://www.scielo.br/j/hb/a/8vhwTxHYXqvhwTxHYXqjhpL/?lang=pt)

[vhwTxHYXqjhpL/?lang=pt](https://www.scielo.br/j/hb/a/8vhwTxHYXqvhwTxHYXqjhpL/?lang=pt). Acesso em: 9

jun. 2021.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm**

Irrigation System Evaluation: A Guide

for Management. Logan: Utah State

University, 1978.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Interpolação de perfis radiais de distribuição de água de aspersores.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,

Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 355-361,

2013. DOI: doi.org/10.1590/S1415-

43662013000400001. Disponível em:

[https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wRxqskdsL](https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wRxqskdsLwRx7F4NTtqzPBB/?lang=pt)

[wRx7F4NTtqzPBB/?lang=pt](https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wRxqskdsLwRx7F4NTtqzPBB/?lang=pt). Acesso em: 9 jun. 2021.

REZENDE, R.; FRIZZONE, J. A.;

GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S.

L. Influência do espaçamento entre

aspersores na uniformidade de distribuição

de água acima e abaixo da superfície do

solo. **Revista Brasileira de Engenharia**

Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.

2, n. 3, p. 257-261, 1998. DOI:

doi.org/10.1590/1807-

1929/agriambi.v2n3p257-261. Disponível

em:

[https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/QVKydQxf](https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/QVKydQxfQ7HxXDkQ9Yx4sQg/?lang=pt)

[Q7HxXDkQ9Yx4sQg/?lang=pt](https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/QVKydQxfQ7HxXDkQ9Yx4sQg/?lang=pt). Acesso

em: 9 jun. 2021.

ROCHA, E. M. M.; COSTA, R. N. T.;

MAPURUNGA, S. M. S.; CASTRO, P. T.

Uniformidade de distribuição de água por

aspersão convencional na superfície e no

perfil do solo. **Revista Brasileira de**

Engenharia Agrícola e Ambiental,

Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 154-160,

1999. DOI: doi.org/10.1590/1807-

1929/agriambi.v3n2p154-160. Disponível

em:

[https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/3bdRndJscb](https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/3bdRndJscbdRn78jwHhsvHK/?lang=pt)

[dRn78jwHhsvHK/?lang=pt](https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/3bdRndJscbdRn78jwHhsvHK/?lang=pt). Acesso em: 9

jun. 2021.

RODRIGUES, T. R. I.; BATISTA, H. S.;

CARVALHO, J. M.; GONÇALVES, A. O.;

MATSURA, E. E. Uniformidade de

distribuição de água em pivô central, com a utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 187-191, 2001. DOI: doi.org/10.1590/S1415-43662001000200002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/KPmzfMMKPmz5qjfvNZW7HwB/?lang=pt>. Acesso em: 9 jun. 2021.

SALVADOR, M. M. S.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; MOREIRA, N. B. Estabilidade temporal e variabilidade espacial da distribuição da armazenagem de água no solo numa sucessão feijão/aveia-preta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 1434-1447, 2012. DOI: doi.org/10.1590/S0100-06832012000500007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/pH9Pg4VpDDPzztnF4Hh69x/?lang=pt>. Acesso em: 9 jun. 2021.

TOLEDO, C. E.; SOUZA, C. M. P.; ALBUQUERQUE, P. E. P. Eficiência da aplicação da água por pivô central em diferentes regiões de Minas Gerais. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 4, p. 821-831, 2017. DOI: doi.org/10.15809/irriga.2017v22n4p821-831. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2334>. Acesso em: 9 jun. 2021.

TORRES, M. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; FERREIRA, L. L. N.; VALE, C. N. C.; FRANCO, M. S. B. P.; OLIVEIRA JUNIOR, R. F. Análise espacial e estabilidade temporal da armazenagem de água em Cambissolo da região do Vale do Açu, RN. **Water Resources and Irrigation Management**, Salvador, v. 5, n. 2, p. 41-49, 2016. Disponível em: <https://www3.ufrb.edu.br/seer/index.php/wrim/article/view/1582>. Acesso em: 9 jun. 2021.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 1990.

ZOCOLER, J. L.; ORSI, M. E. R.; LIMA, R. C.; RODRIGUES, R. A. F. Variação entre a lâmina de irrigação aplicada e armazenada no solo sob condições de irrigação com baixa uniformidade de distribuição de água. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 171-183, 2013. DOI: doi.org/10.15809/irriga.2013v18n1p171. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/884>. Acesso em: 9 jun. 2021.