

## Variabilidade Espacial do Conteúdo de Água no Solo numa Pequena Bacia Rural: 2. Análise Geoestatística

Joana Darc F. Medeiros

Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN

joana-emparn@rn.gov.br

Joel A. Goldenfum, Robin T. Clarke

Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS

joel@iph.ufrgs.br, clark@iph.ufrgs.br

Recebido: 19/10/04 – revisado: 09/06/05 – aceito:24/01/07

---

### RESUMO

*Este trabalho apresenta um estudo experimental realizado na bacia hidrográfica do arroio Donato (1,1 km<sup>2</sup>), localizada na região central do derrame basáltico sul-riograndense, com o objetivo de avaliar a variabilidade espaço-temporal do conteúdo de água no solo utilizando técnicas geoestatísticas. Para isto foi analisado um conjunto de mais de 2000 medições de conteúdo de água no solo, coletadas numa malha regular em toda a bacia, nas profundidades de 0 cm (superfície), 30 cm, e em dois perfis com comprimento de 280 m (Perfil P1) e 320 m (Perfil P3). As medições do conteúdo de água no solo foram realizadas pelo método gravimétrico, na camada superficial, e com TDR, nas camadas inferiores. A análise geoestatística dos dados mostrou que, na superfície do solo, a estrutura espacial é muito variável temporalmente. Na profundidade de 30 cm a presença de estrutura é mais permanente, indicando que nesta profundidade os processos laterais de distribuição de água são predominantes sobre os processos verticais. Os semivariogramas calculados com os dados do perfil P3 apresentam uma clara estrutura espacial, com o modelo exponencial com pepita apresentando um excelente ajuste.*

*Palavras-chave: variabilidade espacial; conteúdo de água no solo; pequenas bacias; análise geoestatística.*

---

### INTRODUÇÃO

O conteúdo de água no solo exerce um papel de grande influência em diversos processos hidrossedimentológicos, incluindo o escoamento superficial, erosão, transporte de solutos e interação solo-ar. No entanto, o conteúdo de água no solo é fortemente variável no tempo e no espaço, e esta variabilidade acaba por impactar sobremaneira os processos acima citados. Portanto, o conhecimento do padrão espaço-temporal do conteúdo de água no solo torna-se cada vez mais necessário para entender melhor os processos hidrossedimentológicos.

Uma forma de abordar a variabilidade espacial do conteúdo de água no solo lança mão de técnicas geoestatísticas para identificar a estrutura espacial desta variável, medida através de autocorrelação e semivariância. A estrutura de correlação observada pode então ser usada em aplicações práticas, incluindo estimativa de valores da propriedade em estudo em locais não amostrados, na geração de dados sintéticos ou parâmetros de campo, necessá-

rios nos modelos estocásticos; ou na modelagem hidrológica distribuída.

Técnicas de geoestatística têm sido amplamente utilizadas para avaliar a variabilidade espacial do conteúdo de água no solo (Mallants et al., 1981; Libardi et al., 1986; Loague, 1992; Bárdossy e Lehmann, 1998; Nyberg, 1996; Vieira et al., 1997; Western et al., 1998a,b e Wendroth et al., 1999). A maioria dos trabalhos conseguiu captar uma relação entre valores observados em diferentes localidades, ou seja, que existia uma dependência espacial do conteúdo de água no solo. No entanto, alguns autores (Wendroth et al, 1999; Loague, 1992; Hupert e Vanclooster, 2002) encontraram pouca evidência de correlação espacial.

O objetivo principal deste estudo foi avaliar a estrutura espacial do conteúdo de água no solo, na bacia do arroio Donato na região do derrame basáltico sul-riograndense (Brasil). Este trabalho faz parte de uma seqüência de três trabalhos desenvolvidos com base na nesta bacia, sendo que o primeiro deles avaliou a influência dos fatores ambientais na variabilidade espacial do conteúdo de água no solo, neste

segundo se faz uma análise dos dados utilizando técnicas geoestatísticas e no terceiro se aborda a questão da estabilidade temporal no padrão espacial do conteúdo de água no solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O estudo foi realizado na bacia do arroio Donato, com área de 1,10 Km<sup>2</sup>, localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, na região do derrame basáltico. Esta região é um grande pólo de produção agrícola no Brasil, com produção de trigo e aveia no outono/inverno e soja e milho na primavera/verão.

As características climáticas e pedológicas da bacia, assim como a descrição detalhada do experimento de campo são descritas no artigo "Variabilidade Espacial do Conteúdo de Água no Solo numa Pequena Bacia Rural: 1. Análise dos fatores ambientais".

O conteúdo de água no solo foi monitorado numa malha regular de 200 m, com detalhamento em dois perfis (P1 e P3), com medições a cada 10 m. Nos pontos de monitoramento da malha regular foram instaladas sondas de TDR a 30 cm de profundidade. As sondas utilizadas foram do tipo Buriabile modelo 6005L da Soil Moisture Equipment Corp. EUA e foram instaladas na posição horizontal em junho de 2002. Na superfície e nos perfis P1 e P3 o monitoramento do conteúdo de água no solo se deu através do método gravimétrico.

A análise dos dados de conteúdo de água no solo consistiu no cálculo do semivariograma amostral nos pontos D001 ao D033, na superfície e a 30 cm de profundidade, e para os dados nos perfis P1 e P3. Os semivariogramas foram calculados para cada campanha de medição.

O semivariograma experimental,  $\gamma(h)$ , de  $n$  observações da variável  $z(x_i)$ ,  $i=1, \dots, n$ , foi calculado pela expressão (Vieira et al., 1983 e Kitanidis, 1997):

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

em que  $Z$  representa a propriedade do solo analisada, considerada como uma variável aleatória, função da posição da amostragem  $x$ , e  $h$  é a distância entre dois pontos de amostragem e  $N(h)$  é o número de observações separadas pela distância  $h$ .

Em termos práticos, o semivariograma pode ser entendido como o valor médio do quadrado das diferenças entre pontos distanciados de  $h$ . Para que o semivariograma tenha significado estatístico, é necessário que o número de pontos amostrados seja suficiente. Cressie (1993) apud Clarke (1994) aconselha que o semivariograma amostral seja obtido com no mínimo 30 amostras por intervalo de distância ( $h$ ).

Neste artigo trabalhou-se somente com semivariogramas omnidirecionais.

O segundo passo na análise geoestatística foi o ajuste de um modelo teórico ao semivariograma amostral,  $\gamma^*(h)$ . O modelo testado foi o exponencial com e sem pepita:

$$\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-h/a)] \quad (2)$$

onde  $\gamma^*(h)$  é o semivariograma ajustado,  $C_0$  é a pepita,  $C_0 + C_1$  é o patamar e o alcance é  $a \approx 3a_0$ . O comprimento de correlação,  $a_0$ , corresponde à escala do processo, do ponto de vista espacial, ou seja, a distância média sobre a qual a propriedade está correlacionada.

A qualidade do ajuste foi estimada através do erro médio quadrado (RMSE) (Western et al, 1998), calculado pela equação (3). Quanto mais o RMSE se aproxima de zero melhor a qualidade do ajuste.

$$RMSE = \left[ \frac{\sum (\gamma^*(h) - \gamma(h))^2}{n_h} \right]^{1/2} \quad (3)$$

onde  $n_h$  é o número de intervalos de distâncias no semivariograma amostral.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os semivariogramas amostrais dos dados de conteúdo de água no solo na superfície (**Figura 1**) podem ser agrupados em quatro períodos distintos: os período de 21/06/02 a 11/07/02 e de 12/11/02 a 15/12/02 não apresentam nenhuma estrutura espacial; e os períodos de 13/08/02 a 29/10/02 e o de 16/12/02 a 09/06/02 apresentam uma clara estrutura espacial.

Não foi possível associar a forma do semivariograma amostral com o conteúdo médio de água no solo. No entanto, existe uma maior predominância de semivariogramas com estrutura espacial nos

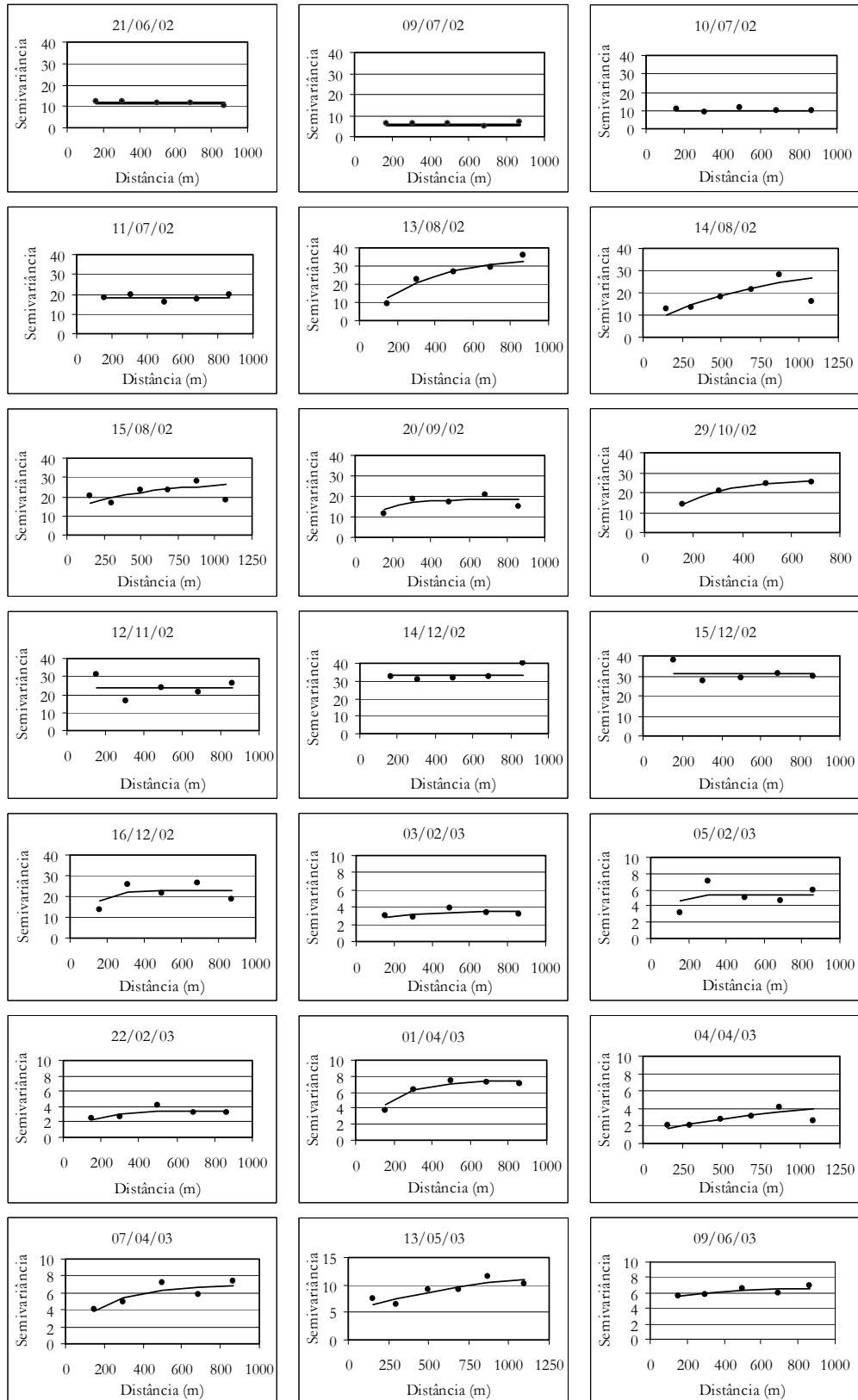


Figura 1 - Semivariogramas amostrais para o conteúdo de água no solo na camada de 0-5 cm no período de 21/06/02 a 16/12/02 e na camada de 0-15 cm no período de 03/02/03 a 09/06/03.

dados quando ao conteúdo médio de água no solo é menor. A fraca estrutura espacial observada no período de inverno pode estar relacionada com o elevado conteúdo de água no solo, que esteve sempre muito próximo da saturação. Nesta situação, as diferenças de granulometria, estrutura do solo e presença de macroporos são determinantes, fazendo com que a estrutura espacial do conteúdo de água no solo mostre um aspecto mais aleatório. Pouca ou nenhuma estrutura espacial nos dados de conteúdo de água no solo foi também observada por Loague (1992) e Hupert e Vanclooster (2002). Wendroth et al. (1999) observaram que a estrutura espacial praticamente desaparece em condições de umidade próximas à saturação.

Outras hipóteses podem ser levantadas para explicar a aparente melhora da estrutura espacial a partir da campanha do dia 03/02/03. Uma delas é que este comportamento pode estar associado com a forma de coleta de dados que no período inicial (do dia 21/06/02 a 16/12/02) era realizada somente na camada de 0-5 cm e no período final (do dia 03/02/03 a 09/06/03) era efetuada na camada de 0-15 cm.

Na camada mais superficial (0-5 cm) a influência dos processos vertical (precipitação e evapotranspiração) é maior, fazendo com que as diferenças de conteúdo de água no solo sejam menos relacionadas com a distância entre pontos e o padrão espacial do conteúdo de água no solo tenha um aspecto mais aleatório. Quando se trabalhou com uma camada de maior espessura (0-15 cm) a influência da redistribuição lateral da água no solo passou a ser mais significativa e a estrutura espacial captada pelo semivariograma mais presente.

Pode-se considerar também a influência da cultura implantada na bacia. No verão, toda a bacia do arroio Donato estava cultivada com soja. Esta cultura foi implantada mais ou menos no mesmo período em toda a bacia e apresentava um aspecto muito uniforme, tendo tido, provavelmente, pouca influência na variabilidade espacial. No inverno, a bacia foi cultivada por aveia e trigo, que apresentavam desenvolvimento vegetativo muito variado. Esta variabilidade espacial no desenvolvimento das culturas pode ter influenciado na variabilidade espacial do conteúdo de água no solo, fazendo com que este apresentasse um padrão mais aleatório. Hupert e Vanclooster (2002) e Schume et al. (2003) observaram influência do desenvolvimento vegetativo das culturas no padrão espacial do conteúdo de água no solo.

O modelo exponencial apresentado na equação (2) foi ajustado aos semivariogramas amo-

trais para as campanhas que mostram uma clara dependência espacial. Os parâmetros dos modelos foram obtidos utilizando-se o programa GENS-TAT®. A Tabela 1 mostra um resumo dos modelos que apresentaram melhor ajuste aos respectivos semivariogramas amostrais. É interessante observar a presença mais freqüente de modelo "pepita" nas campanhas no período de inverno (entre 21/06/02 a 16/12/02), que podem ser conseqüência da junção dos fatores acima citados: maior conteúdo médio de água no solo; modo de amostragem e tipo de cultura implantada. A partir do dia 03/02/03, a presença de estrutura espacial nos dados de conteúdo de água no solo na camada 0-15cm é mais permanente, com o modelo exponencial apresentando um bom ajuste ( $RMSE < 0,75$ ) na maioria dos casos.

Para a profundidade de 30 cm (**Figura 2**), os semivariogramas amostrais apresentam uma estrutura espacial bem mais estável. Somente as campanhas de medição entre o dia 04/04/03 e 09/06/03 se comportaram de modo totalmente aleatório, sem nenhuma estrutura espacial.

O modelo que melhor se ajustou aos semivariogramas amostrais na profundidade de 30 cm foi o exponencial sem pepita (Tabela 2). O ajuste foi bom na maioria das campanhas, apresentando um RMSE inferior a 1,0, com exceção das campanhas dos dias 03/02/03, 01/04/03, 07/04/03 e 13/05/03 com RMSE de 1,58, 1,12, 1,18 e 1,43, respectivamente. O patamar variou entre 3,63 e 7,94, e o comprimento de correlação entre 56,2 e 218,5m

O valor do comprimento de correlação deve ser considerado somente como indicativo, pois a grande maioria das amostras utilizadas nesta análise tinha espaçamento de 200 m, apenas algumas amostras entre os pontos D001 e D010 e os pontos D028 e D030 foram coletadas em espaçamentos inferiores a 200 m.

Analisando a **Figura 1** e a **Figura 2** conjuntamente, observa-se que a hipótese de aumento da estrutura espacial com a diminuição do conteúdo de água médio na área pode ser questionada, uma vez que, na profundidade de 30 cm, a coleta de dados não sofreu nenhuma modificação e o conteúdo médio de água no solo foi superior ao da superfície na maioria das campanhas de medição.

Os semivariogramas amostrais do conteúdo de água no solo no perfil P1 (**Figura 3**) mostraram total falta de estrutura espacial, com efeito pepita puro em todas as campanhas de medição. A aparente falta de estrutura espacial observada neste conjunto de dados pode estar associada ao pequeno tamanho da amostra (23 valores), resultando numa baixa

Tabela 1 - Resumo dos modelos de semivariograma para a superfície: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C$ ), comprimento de correlação ( $a_0$ ), variância amostral ( $s^2$ ) e erro médio quadrado (RMSE).

Data	Modelo	$C_0$	C	a	$C_0+C$	$s^2$	RMSE	Precipitação antecedente* (mm)
21/06/02	Pepita					11,34		32,3
09/07/02	Pepita					5,80		45,8
10/07/02	Pepita					10,31		24,8
11/07/02	Pepita					17,01		24,8
13/08/02	Exponencial		35,08	331,10			2,42	32,3
14/08/02	Exponencial	5,50	29,70	872,00	35,20		4,68	32,0
15/08/02	Exponencial	12,90	15,10	525,00	28,00		3,85	49,4
20/09/02	Exponencial		18,48	119,3			2,32	186,4
29/10/02	Exponencial		26,75	208,6			0,23	92,1
12/11/02	Pepita					22,33		68,3
14/12/02	Pepita					32,33		76,4
15/12/02	Pepita					29,71		36,3
16/12/02	Exponencial		23,22	109,5			3,62	30,3
03/02/03	Exponencial	1,74	1,74	172,00	3,48		0,33	2,3
05/02/03	Exponencial		5,38	81,00			1,09	8,4
22/02/03	Exponencial		3,49	138,80			0,43	83,0
01/04/03	Exponencial		7,51	171,70			0,37	2,4
04/04/03	Exponencial	1,16	4,67	1181,00	5,83		0,29	24,3
07/04/03	Exponencial		6,85	191,10			0,68	23,0
13/05/03	Exponencial	4,87	8,34	813,00	13,21		0,88	0,0
09/06/03	Exponencial	4,81	1,87	333,00	6,68		0,29	-

\* precipitação nos dez dias que antecedem as medições.

significância do semivariograma amostral (Cressie, 1993 apud Clarke, 1994).

No perfil P3, os semivariogramas amostrais do conteúdo de água no solo mostram uma clara estrutura espacial em praticamente todas as campanhas de medições (Figura 4), com exceção dos dias 04/04/03 e 07/04/03. O modelo exponencial com pepita apresenta um bom ajuste aos semivariogramas amostrais, com RMSE inferior a 0,5 (Tabela 3).

Todos os semivariogramas apresentaram um claro efeito pepita, que variou entre 1,13 e 1,90 (%). Estes valores são superiores aos observados por Libardi et al. (1986) (0,5 %) e Gonçalves et al. (1999) (0,48 %). Western et al. (1998) encontraram efeito pepita da ordem de 2,5 a 6 (%  $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ ). A presença de efeito pepita nos semivariogramas pode ser advinda de erros de medição aleatórios e de variabilidade em escalas inferiores ao espaçamento entre

amostras. No primeiro caso, mesmo se as amostras são muito próximas a descontinuidade no semivariograma continuará a existir. No segundo caso, espaçamentos pequenos na amostragem podem revelar o aspecto contínuo do fenômeno. Infelizmente, o menor intervalo entre amostras neste trabalho foi de 10 m, não sendo possível investigar a influência individual dos dois fenômenos acima citados.

O alcance do semivariograma, ou seja, a distância na qual duas amostras se tornam praticamente não correlacionadas, variou de 28 a 58 m, com exceção do dia 05/02/03 que apresenta um alcance de 120 m. Valores de alcance nesta mesma ordem de grandeza foram encontrados por Western, et al. (1998), Gonçalves et al. (1999) e Libardi et al. (1986).

Analisando conjuntamente os semivariogramas amostrais de todos os conjuntos de dados

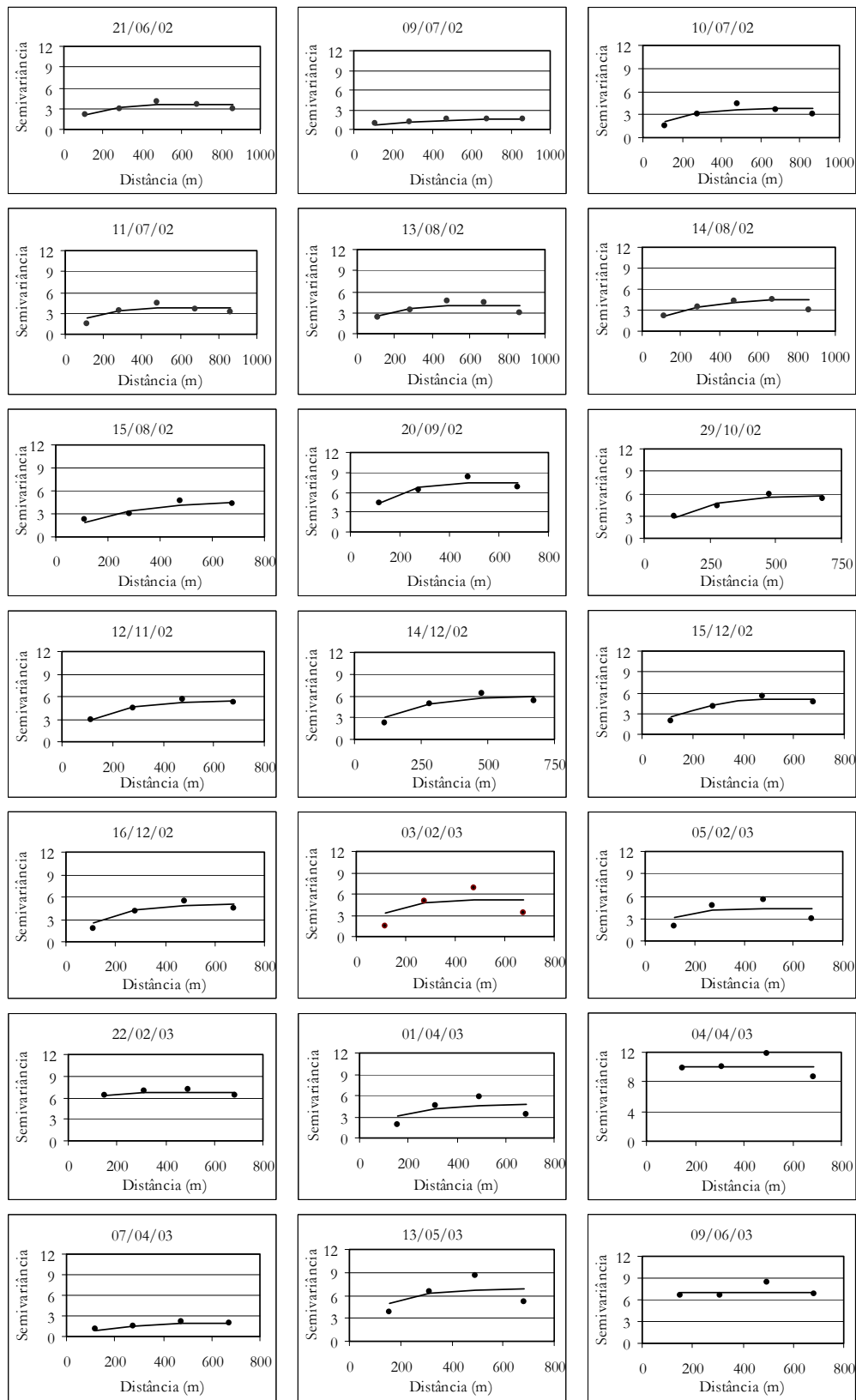


Figura 2 - Semivariogramas amostrais para o conteúdo de água no solo - 30 cm.

Tabela 2 - Resumo dos modelos de semivariograma para a profundidade de 30 cm: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C$ ), comprimento de correlação ( $a_0$ ), variância amostral ( $s^2$ ) e erro médio quadrado (RMSE).

Data	Modelo	$C_0$	C	a	$C_0+C$	$s^2$	RMSE	Precipitação antecedente * (mm)
21/06/02	Exponencial		3,63	128,8	3,63		0,39	32,3
09/07/02	Exponencial		3,77	142,2	3,77		0,39	45,8
10/07/02	Exponencial		3,74	130,4	3,74		0,51	24,8
11/07/02	Exponencial		3,78	124,6	3,78		0,54	24,8
13/08/02	Exponencial		4,07	120,0	4,07		0,61	32,3
14/08/02	Exponencial	0,25	4,38	213,2	4,63		0,70	32,0
15/08/02	Exponencial		4,75	218,5	4,75		0,35	49,4
20/09/02	Exponencial		7,52	127,8	7,52		0,64	186,4
16/10/02	Exponencial		5,18	171,5	5,18		0,30	85,9
29/10/02	Exponencial		5,76	168,2	5,76		0,28	92,1
12/11/02	Exponencial		5,59	161,5	5,59		0,21	68,3
14/12/02	Exponencial		5,94	155,7	5,94		0,62	76,4
15/12/02	Exponencial		5,24	164,9	5,24		0,52	36,3
16/12/02	Exponencial		5,06	162,0	5,06		0,60	30,3
03/02/03	Exponencial		5,22	109,0	5,22		1,58	2,3
05/02/03	Exponencial		4,40	90,0	4,40		0,89	8,4
22/02/03	Exponencial		6,76	56,2	6,76		0,32	83,0
01/04/03	Exponencial		4,72	143,0	4,72		1,12	2,4
04/04/03	Pepita					10,13		24,3
07/04/03	Exponencial		7,94	86,0	7,94		1,18	23,0
13/05/03	Exponencial		6,89	128,0	6,89	6,22	1,43	0,0
09/06/03	Pepita					7,07		-

\* precipitação nos dez dias que antecedem as medições.

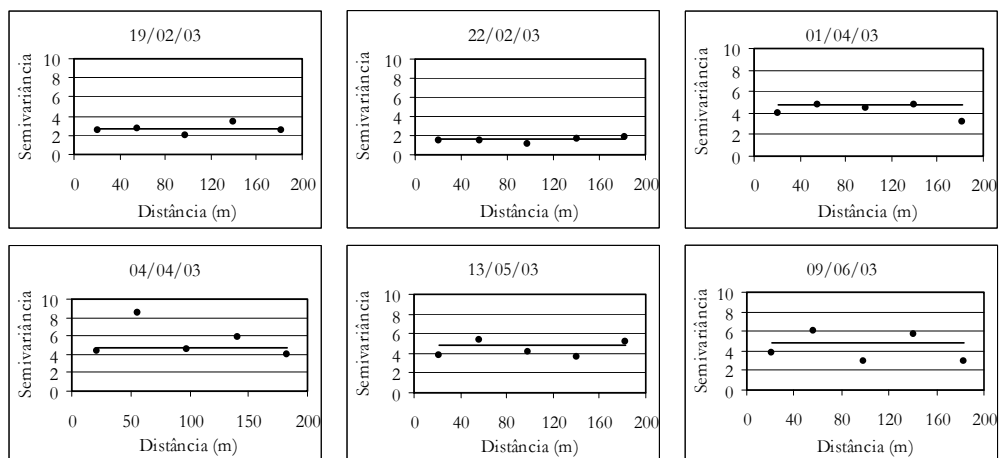


Figura 3 - Semivariograma amostral para conteúdo de água no solo no perfil P1.

Tabela 3 - Resumo dos modelos de semivariograma para o perfil P3: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0+C_1$ ), comprimento de correlação ( $a_0$ ), variância amostral ( $s^2$ ) e erro médio quadrado (RMSE)

Data	Modelo	$C_0$	$C_0 + C_1$	$a_0$	$C_0/(C_0 + C_1)$	$s^2$	RMSE	Precipitação * (mm)
03/02/03	Exponencial	1,13	3,34	58,20	0,34		0,15	2,3
05/02/03	Exponencial	1,18	5,81	120,00	0,20		0,45	8,4
22/02/03	Exponencial	1,58	2,72	35,50	0,58		0,12	83,0
01/04/03	Exponencial	1,90	4,86	28,50	0,39		0,31	2,4
04/04/03	Pepita					3,10		24,3
07/04/03	Pepita					2,48		23,0
13/05/03	Exponencial	1,30	4,30	35,70	0,30		0,44	0,0
09/06/03	Exponencial	1,63	4,68	47,70	0,35		0,31	-

\* precipitação nos dez dias que antecedem as medições.

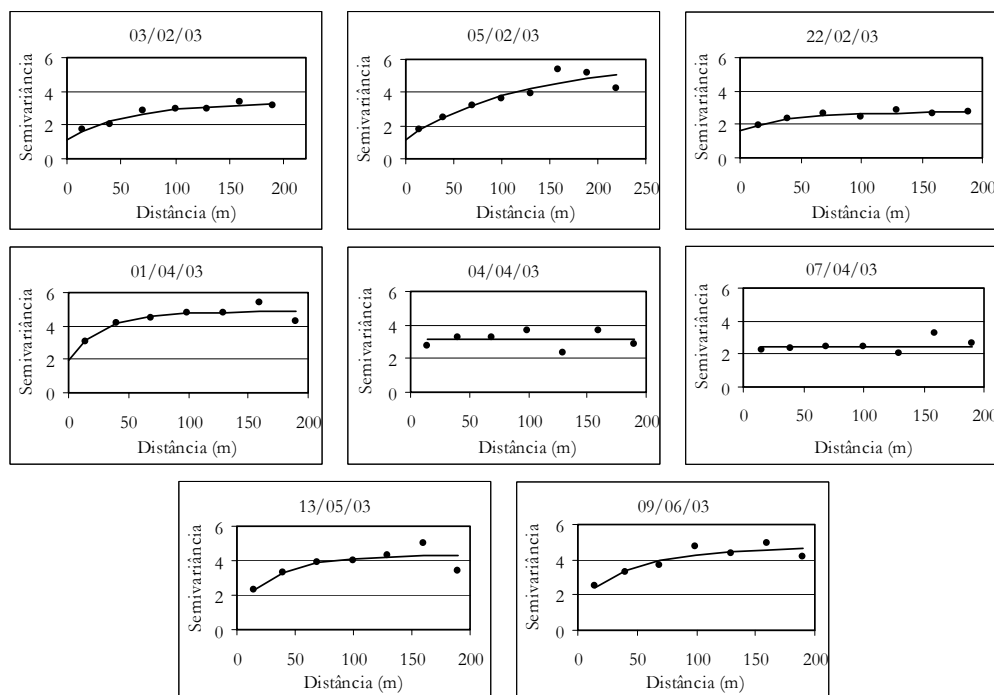


Figura 4 - Semivariograma amostral para conteúdo de água no solo no perfil P3.

utilizados neste trabalho, observa-se que a presença do efeito pepita, que representou entre 20 a 58% do patamar, é uma constante, mesmo quando o modelo teórico ajustado não sinaliza sua presença, indicando que na bacia do arroio Donato ocorre variabi-

lidade no conteúdo de água no solo em escalas inferiores ao espaçamento entre amostras. É importante lembrar que dentro do efeito pepita encontra-se embutido tanto o erro advindo da precisão da medição (neste caso do TDR e do método gravimétrico)



como a variabilidade existente na pequena escala, como por exemplo a variabilidade ocasionada pela diferença na retirada de água pelas culturas.

O valor do patamar varia com o conjunto de dados analisados, sendo maior para os dados coletados na malha regular na superfície do solo, principalmente no período de 21/06/02 a 16/12/02, quando a espessura da camada de solo amostrada era de 5 cm. Ainda com relação ao patamar, observa-se que o perfil P3 mostra valores mais baixos, devido a menor área amostrada.

O comprimento de correlação variou de 28,5 até mais de 1000 m. Comparando estes valores com os citados na literatura, observa-se que a grande maioria dos trabalhos reporta valores inferiores aos encontrados neste trabalho (Nyberg, 1996; Loague, 1992; Western et al., 1998; Vieira et al., 1997; Libardi, et al., 1986), enquanto que somente poucos trabalhos se referem a alcances semelhantes (Lehmann, 1995 e Warrick et al., 1990 apud Western et al., 1998 e Wendroth et al., 1999). Entende-se que as diferenças entre os valores reportados na literatura e os observados neste trabalho se devem às diferenças entre espaçamento das amostras, diferenças na topografia, tipo de solo e clima. É interessante observar que, de modo geral, os alcances obtidos com os dados do perfil P3 são inferiores àqueles obtidos com os dados da malha regular. Esta tendência de dados coletados com maiores espaçamentos apresentarem maiores alcances foi também observada por Western, et al. (1998).

## CONCLUSÕES

O conteúdo de água no solo na superfície e a 30 cm de profundidade em 33 pontos espaçados de 200 m e em dois perfis com amostragens a cada 10 m foi medido durante um ano agrícola na bacia hidrográfica do arroio Donato.

A presença de estrutura espacial nos dados de conteúdo de água no solo foi investigada através de técnicas geoestatísticas. Os semivariogramas amostrais mostraram que, na superfície do solo, a estrutura espacial é muito variável temporalmente, enquanto que a 30 cm de profundidade, a presença de estrutura é mais permanente, indicando que nesta profundidade os processos laterais de distribuição de água são predominantes sobre os processos verticais.

A fraca estrutura espacial na distribuição espacial do conteúdo de água no solo observada na camada superficial pode estar relacionada com o

método de amostragem adotado (gravimétrico) e com os processos de precipitação e evapotranspiração.

Os semivariogramas calculados com os dados do perfil P3 apresentam uma clara estrutura espacial, com o modelo exponencial com pepita apresentando um excelente ajuste (RMSE<0,5). O efeito pepita representou entre 2 e 58% do patamar e o alcance variou de 28,5 a 120 m. De modo geral, foi observada uma tendência de dados coletados com maiores espaçamentos apresentarem maiores alcances.

## REFERÊNCIAS

- Bárdossy, A. e Lehmann, W. Spatial distribution of soil moisture in a small catchment. Part 1: geostatistical analysis. *Journal of Hydrology*, v. 206, pg. 1-15, 1998.
- Clarke, T.R., *Statistical modelling in hydrology*. John Wiley & Sons. 412 p., 1994.
- Gonçalves, A.C.A.; Folegatti, M.V. e Silva, A.P. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central. *R. Bras. Ci. Solo*, v.23, pg. 155-164, 1999.
- Hupert, F. e Vanclooster, M. Interseasonal dynamics of soil moisture variability within a small agricultural maize cropped field. *Journal of Hydrology*, v. 261, p. 86-101, 2002.
- Kitanidis, P.K., *Introduction to geostatistics: application in hydrogeology*. Cambridge University Press. 249p.
- Libardi, P.L.; Prevedello, C.L.; Pauletto, E.A. e Moraes, S.O. Variabilidade espacial da umidade, textura e densidade de partículas ao longo de uma transeção. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 10, pg.85-90, 1986.
- Loague, K. Soil water content at R-5. Part 1. Spatial and temporal variability. *Journal of Hydrology*, v. 139, pg. 233-251, 1992.
- Mallants, D.; Mohanty, B.P.; Jacques, D. E Feyen, J. Spatial variability of hydraulic properties in a multi-layered soil profile. *Soil Science*, v. 161, n. 3, 167-181, 1981.
- Nyberg, L. Spatial variability of soil water content in the covered catchment at Gardsjön, Sweden. *Hydrological Processes*, v.10, pg.89-103, 1996.
- Schume, H.; Joot, G. e Katzensteiner, K. Spatio-temporal analysis of soil water content in a mixed Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) – European beech (*Fagus sylvatica* h.) stand. *Geoderma*, V.112, p.273-287, 2003.
- Vieira, S.R.; Hatfield, J.L.; Nielsen, D.R. e Biggar, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some

- agronomical properties. *Hilgardia*, v. 51, n. 3, pg. 1-75, 1983.
- Vieira, S.R.; Tillotson, P.M.; Bigar, J.W. e Nielsen, D.R. Scaling of semivariograms and the kriging estimation of field-measured properties. *Rev. Bras. Ci. Solo*, v. 21: pg. 525-533, 1997.
- Western, A.W.; Blöschl, G.; Grayson, R.B. Geostatistical characterization of soil moisture patterns in a Tarrawarra catchment. *Journal of Hydrology*, v. 205, pg. 20-37, 1998a.
- Western, A.W.; Blöschl, G.; Grayson, R.B. How well do indicator variograms capture the spatial connectivity of soil moisture? *Hydrological processes*, v. 12, pg. 1851-1868, 1998b.
- Wendroth, O.; Pohl, W.; Koszinzki, S.; Rogasik, H.; Ritsema, C.J. e Nielsen, D.R. Spatio-temporal patterns and covariance of soil water status in two Northeast-German field sites. *Journal of Hydrology*, v.215, pg.38-58, 1999.

### ***Spatial Variability of Soil Water Content in a Small Rural Basin: 2. Geostatistical Analysis***

#### **ABSTRACT**

*This paper presents an experimental study, performed in the Donato stream basin (1,1 km<sup>2</sup>), for the main purpose of evaluating space and time variability of soil water content using geostatistical techniques. A data set of over 2000 measurements of soil water content, collected from a regular grid all over the catchment, at 0 cm (soil surface), 30 cm and 60 cm depth, and from two profiles, 280 m (Profile P1) and 320 m (Profile P3) long was analysed. The soil water content measurements were performed by gravimetric procedure at the soil surface and with the TDR technique at deeper levels. The geostatistical data analysis showed that the spatial structure is very variable in time, at the soil surface. At 30 cm depth, the presence of structure is more stable, suggesting that lateral water distribution processes are predominant at this depth. The semivariograms computed using profile P3 data showed a clear spatial structure, where the exponential model presented excellent fit.*

*Key-words: spatial variability; soil water content; small basins; geostatistical analysis*