

VARIABILIDADE ESPACIAL DE VARIÁVEIS FÍSICO-HÍDRICAS DE DOIS LATOSSOLOS DA REGIÃO NOROESTE DO ESTADO DO PARANÁ

JEFFERSON VIEIRA JOSÉ¹; ROBERTO REZENDE²; PATRICIA ANGÉLICA ALVES MARQUES¹; ANTÔNIO CARLOS ANDRADE GONÇALVES² e RENAN SOARES DE SOUZA²

¹LEB/ INCT-EI/ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. Fone:(19) 3447-8553. E-mail(s):jfvieira@usp.br; paamarques@usp.br

²PGA/UEM. Av. Colombo, 5790 - Bloco J45 - Segundo Piso CEP - 87020-900 - Maringá, PR. Fone:(44) 3261-8940. E-mail(s): rrezende@uem.br; acagoncalves@uem.br; nansoares86@hotmail.com

1 RESUMO

A água e o solo são fatores de suma importância para a adequada exploração de uma área agrícola. O conhecimento da variabilidade das variáveis físico-hídricas do solo é o princípio básico para o manejo preciso de irrigação. O objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas dos solos de duas áreas amostrais, utilizando métodos geoestatísticos. Cada área de amostragem foi dividida em 36 subparcelas de 2 x 2 m, sendo que no ponto central de cada subparcela realizou-se um teste de infiltração de água no solo, para determinação da velocidade de infiltração básica. Posteriormente, determinou-se a densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo. A caracterização da variabilidade dos resultados foi realizada segundo o resumo estatístico, com a determinação das medidas de posição, dispersão e verificação da normalidade da distribuição, complementada com a verificação da presença de dados discrepantes. Para analisar a variabilidade espacial, foram utilizadas técnicas geoestatísticas, por meio da análise de semivariogramas, interpolação dos dados por krigagem e construção de mapas. Foram identificadas estruturas de dependência espacial, com alcance da ordem de 5 a 8 metros, para densidade do solo e velocidade de infiltração básica.

PALAVRAS-CHAVE: física do solo, amostragem, água no solo.

**JOSÉ, J. V.; REZENDE, R.; MARQUES, P. A. A.; GONÇALVES, A. C. A.;
SOUZA, R. S. de**

**PHYSICAL ATTRIBUTES SPATIAL VARIABILITY OF TWO SOILS IN
NORTHERN REGION OF PARANA**

2 ABSTRACT

For an agricultural area be proper explored, the soil and water are extremely important factors. Knowledge in soil physical-hydrous attributes variability is the basic principle for irrigation management. The objective of this study was to evaluate two sample areas' physical-hydrous soil spatial variability utilizing geo statistical methods. The sample areas were divided into 36 plots of 2 x 2 m, and at the midpoint of each subplot there was a test of water infiltration into the soil to determine the steady state infiltration rate. Subsequently, bulk density, macroporosity, microporosity and soil total porosity were determined. The

results variability's characterization was performed according to statistical summary with the determination of position measurement, dispersion, distribution normality, and complemented by verification for the presence of inconsistent data. To analyze the spatial variability geo technical statistics were used through semi-variograms analysis, data interpolation by kriging, and construction of maps. Spatial dependence structures ranging from 5 to 8 meters of soil bulk density and basic infiltration speed were identified.

KEYWORDS: physical soil, sampling, soil water.

3 INTRODUÇÃO

O estado do Paraná tem apresentado avanços importantes na prática da irrigação. Este foi o estado da região Sul que apresentou a maior expansão relativa de área irrigada (122%), quando se compara os dois últimos censos agropecuários, de 1996 a 2006. As regiões Noroeste e Norte concentram 70,5% da área irrigada do Estado, sendo que cerca de 60 a 65% destas regiões é abrangida por Latossolos (PAULINO et al. 2011; EMBRAPA, 1984; IBGE, 2009).

O conhecimento da variabilidade das variáveis físico-hídricas do solo, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas. Contudo, ao considerar áreas uniformes quanto às suas variáveis, mesmo em pequenas áreas, pode-se interpretar erroneamente as respostas obtidas às questões existentes, pois a hipótese de ocorrência de dependência espacial estará sendo ignorada (GREGO & VIEIRA, 2005).

Desta forma, torna-se necessário a utilização das ferramentas de geoestatística, pois a estatística clássica não permite observar a presença de dependência espacial, uma vez que ela não leva em consideração a distância na qual as amostras foram coletadas no campo (SILVA NETO et al. 2011). A geoestatística pode ser aplicada em mapeamentos, orientação de futuras amostragens e modelagens, permitindo, assim, estimar o valor do atributo em locais não amostrados, facilitando a gestão dos recursos naturais (GOMES et al. 2007) e especialmente o manejo de irrigação.

O estudo da variabilidade espacial pode ser realizado em grandes áreas (IQBAL et al. 2005; DUFFERA et al. 2007; ZIMMERMANN et al. 2008) e em áreas menores (MALLANTS et al. 1996; MACHADO et al. 2007; GREGO & VIEIRA, 2005), abrangendo variáveis físico-hídricas do solo.

Souza et al. (2006) verificaram a otimização amostral de atributos de Latossolos, considerando aspectos de solo e relevo, concluindo que a utilização do alcance do semivariograma diminuiu o número de amostras a serem coletadas para avaliação de variáveis químicas.

As contribuições e incrementos significativos nas informações físicas do solo, a partir da abordagem geoestatística para solos da região noroeste do Estado do Paraná, são pouco estudados. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial das variáveis velocidade de infiltração básica de água no solo, densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo, em dois Latossolos Vermelhos típicos, de diferentes classes texturais e manejo de solo, em que se pratica agricultura irrigada.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização das áreas amostradas

Duas áreas amostrais da região Noroeste do estado do Paraná foram escolhidas. A área de amostragem um (A1) pertence à Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá, localizada do Distrito de Iguatemi, município de Maringá, na latitude 23°21' S e na longitude 52°04' W, com altitude de 561 m, em um Latossolo Vermelho distrófico de textura arenosa (EMBRAPA, 2006), com desnível médio de 7%. Os valores para areia, silte e argila são, respectivamente, 710; 80 e 210 g kg⁻¹. A área de amostragem foi cultivada sob plantio convencional por aproximadamente dois anos, com culturas de milho no verão e aveia no inverno.

A área de amostragem dois (A2) encontra-se no município de Paranavaí, localizada na latitude 23°05' S e na longitude 52°26' W. O solo da área de amostragem dois foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico de textura média arenosa (EMBRAPA, 2006). Os valores para areia, silte e argila são, respectivamente, 892; 10 e 98 g kg⁻¹, sendo que a área de amostragem vem sendo pastejada por bovinos com lotação contínua e carga animal variável com novilhas cruzadas (Zebu x Europeu), sob pastejo de gramínea coastcross (*Cynodon dactylon* Pers.), e por aproximadamente 14 anos.

4.2 Determinação das variáveis físicas do solo

Cada área amostrada foi dividida em 36 subparcelas de 2 x 2 m (Figura 1), sendo que no ponto central de cada subparcela realizou-se o teste de infiltração de água no solo. Ao final do teste de infiltração, foram retiradas as amostras não deformadas de solo na camada de 0,0–0,25 m de profundidade, para análise física no Laboratório de Solos da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

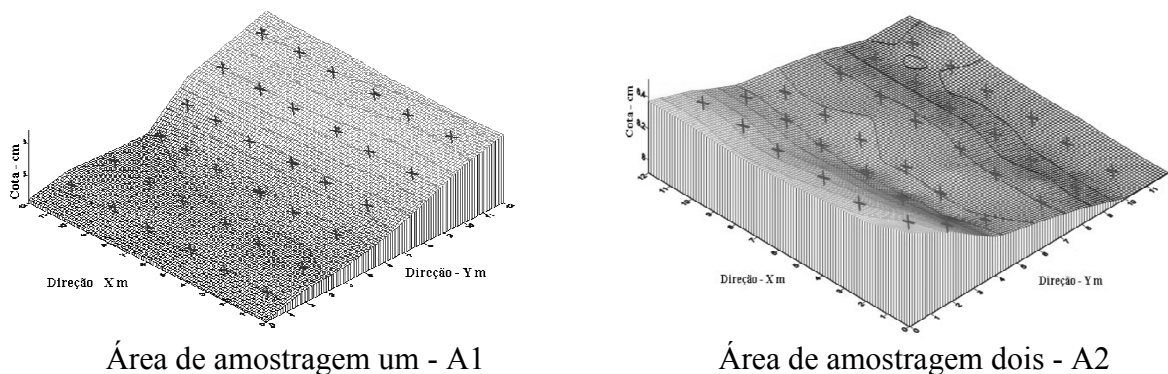


Figura 1. Croqui do grid de amostragem, (sinais + indicam os locais amostrados).

O teste de infiltração utilizado foi o método do infiltrômetro de anéis concêntricos de carga constante, conforme metodologia de Coelho et al., (2000). Com os resultados obtidos no decorrer dos ensaios, por meio da lâmina de água acumulada no solo (I) em função do tempo de ensaio (t), obtive-se, por regressão linear, os parâmetros (k e n) da equação de Kostiakov ($I = k t^n$). Para tanto, Utilizou-se o software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010). A velocidade de infiltração de água no solo foi obtida derivando-se a equação da lâmina acumulada em relação ao tempo ($VI = dI dt^{-1}$). Para se obter o valor da VIB, atribui-se o valor de $-0,01 \text{ cm h}^{-1} \text{ min}^{-1}$ correspondente à tangente de \square a primeira equação:

$$VIB = k.\alpha \left[\frac{-0,01}{k.\alpha.(\alpha - 1)} \right]^{\frac{\alpha-1}{\alpha-2}} \quad (1)$$

A densidade do solo (D_s) foi determinada pelo método da proveta. Para densidade de partículas (D_p) utilizou-se o método do balão volumétrico. A porosidade total do solo foi estimada pela expressão $P_{total} = [1 - (D_p/D_s)]$. A macroporosidade (M_a) e a microporosidade (M_i) foram determinadas pelo método da mesa de tensão. A tensão de -60 kPa foi adotada como referente á microporosidade do solo. As amostras foram realizadas de acordo com a metodologia da EMBRAPA, (1997).

4.3 Análises estatísticas

O conjunto de dados velocidade de infiltração básica, densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, obtido nas áreas de amostragem, foi submetido à análise estatística descritiva e geoestatística. Na análise descritiva, foram determinados os valores mínimos e máximos, média, mediana, desvio-padrão, e coeficientes de variação, assimetria e curtose, utilizando o software Statistica (STATSOFT INC., 2007). A hipótese da normalidade dos dados foi testada pelo teste W, Shapiro & Wilk (1965).

Conforme o teste de normalidade, verificou-se também a necessidade de transformar os dados e de avaliar as hipóteses de homogeneidade da média e independência da variância. Para tanto, utilizou-se a proposição de Libardi et al. (1996), considerados como prováveis dados discrepantes os valores menores que a diferença do quartil inferior e 1,5 vezes a amplitude interquartilica ou valores maiores que a soma do quartil superior com 1,5 vezes a amplitude interquartilica.

A dependência espacial foi analisada por meio de ajuste de semivariograma, com o uso do software GS+ 5.0.3 Beta (Gamma Design Software, 2000), com base nas pressuposições de estacionaridade, ou seja, com base na hipótese intrínseca (VIEIRA, 2000), estimada por:

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

em que $\gamma^*(h)$ é a estimativa da semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$, h é a distância entre pontos amostrais e $N(h)$ é o número total de pares de pontos possíveis, dentro da área de amostragem e com a distância h . Os modelos de ajuste considerados para os semivariogramas foram estabelecidos por meio do melhor coeficiente de determinação (R^2) e pela soma de quadrados do resíduo (SQR). Segundo Robertson (1998), a SQR é um parâmetro mais robusto do que o R^2 e propicia uma medida exata, segundo a qual o modelo se ajusta melhor aos dados.

O efeito pepita refere-se ao valor do semivariograma na interceptação do eixo Y e representa a variação aleatória. Dividindo-se o efeito pepita pelo valor do patamar, o grau de dependência espacial das variáveis pode ser avaliado. Portanto, a classificação do grau da dependência espacial (GDE) foi feita com base na razão entre o efeito pepita e o patamar $[C_0/(C_0 + C_1)]$, sendo considerada forte se a razão for $\leq 0,25$, moderada quando está entre 0,26 e 0,74 e fraca se $\geq 0,75$ (CAMBARDELLA et al. 1994). A predição espacial foi realizada por interpolação dos valores pelo método da krigagem, de modo a definir o padrão

espacial das variáveis estudadas, que permitiu a elaboração dos mapas de distribuição espacial utilizando-se o software Surfer 8.0 (GOLDEN SOFTWARE, 2002).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela estatística descritiva dos dados apresentados na Tabela 1, observou-se que os valores de média e mediana são relativamente semelhantes para as variáveis densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo. Foram verificadas distribuições simétricas pelos valores de assimetria próximos de zero, para todas as variáveis, mostrando uma distribuição normal, observada também pelo teste de Shapiro-Wilk (S-W).

Com base no critério de Warrick & Nielsen (1980), para classificar o coeficiente de variação – CV (baixo – $CV < 12\%$, médio – $12\% < CV < 60\%$, alto – $CV \geq 60\%$), verificou-se valores baixos para as variáveis, com exceção da macroporosidade e VIB, que apresentaram coeficiente de variação classificado como médio, em ambas as áreas amostrais.

Verificou-se que os valores de densidade do solo foram diferentes nas duas áreas de amostragem estudadas. Na A1, o valor médio foi de $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$, com valor mínimo de $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$ e máximo de $1,96 \text{ Mg m}^{-3}$. Em relação a A1, a densidade média do solo na A2 foi maior, da ordem de $1,78 \text{ Mg m}^{-3}$, tendo variado de $1,70 \text{ Mg m}^{-3}$ a $1,87 \text{ Mg m}^{-3}$. Este fato pode ter ocorrido pelo motivo da A2 ser utilizada para pastoreio, e segundo Fiorin (2008), o pastoreio efetuado por bovinos, em determinadas situações, pode ser o principal agente compactador do solo, tendo inclusive maior efeito do que o maquinário utilizado nas operações agrícolas. Fidalski et al. (2008) estudaram um Latossolo Vermelho distrófico e associaram à alta densidade do solo ao fluxo de animais, causando compactação da camada mais profunda (0,20 a 0,40 m).

Observa-se, na Tabela 1, que os valores das medidas de tendência central média e mediana para VIB da A2 não são semelhantes, que identifica uma distribuição assimétrica, conforme constatado por Calheiros et al. (2009). Optando-se pela transformação logarítmica, nova análise descritiva foi efetuada, sendo observado pelo teste de S-W que há evidências de que os dados seguem uma distribuição de probabilidade normal. Os resultados obtidos são não concordantes com aqueles obtidos por Eguchi et al. (2003) e Amaro Filho et al. (2007), que estudaram o tamanho da variabilidade por meio dos coeficientes de variação (CV), e notaram que as características que se correlacionam com o movimento de água no solo são as que apresentam maior variabilidade, principalmente na camada de 0-0,20 m.

Tabela 1. Estatística descritiva para densidade (Ds), porosidade total (Ptotal), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e velocidade de infiltração básica do solo (VIB) para os dados da A1 e A2.

	A1					A2					
	Ds Mg m ⁻³	Ptotal	Ma* m ³ m ⁻³	Mi* m ³ m ⁻³	VIB* mm h ⁻¹	Ds* Mg m ⁻³	Ptotal*	Ma* m ³ m ⁻³	Mi* m ³ m ⁻³	VIB* mm h ⁻¹	VIB** mm h ⁻¹
Média	1,75	0,30	0,07	0,24	15,38	1,78	0,32	0,04	0,27	26,13	1,32
Mediana	1,75	0,30	0,07	0,24	14,90	1,78	0,32	0,04	0,26	21,47	1,26
Mínimo	1,61	0,22	0,03	0,15	4,25	1,70	0,29	0,01	0,24	5,47	0,73
Máximo	1,96	0,36	0,14	0,33	26,25	1,87	0,35	0,09	0,29	69,20	1,84
Qinferior	1,70	0,28	0,05	0,23	11,64	1,76	0,31	0,03	0,26	12,47	1,09
Qsuperior	1,80	0,32	0,09	0,25	18,78	1,80	0,32	0,09	0,27	36,86	1,56
Despad	0,07	0,02	0,03	0,03	5,58	0,04	0,01	0,02	0,01	16,56	0,29
Assimetria	0,48	-0,48	-0,46	0,13	0,17	-0,06	0,06	0,63	0,34	1,03	-0,25
Curtose	0,645	0,645	0,64	4,89	-0,20	0,39	0,39	0,91	0,13	0,75	-0,57
Cv (%)	4,025	9,104	35,37	11,76	30,30	2,13	4,53	38,77	4,18	64,09	21,90
Teste S-W											
W	0,98	0,98	0,96	0,91	0,973	0,972	0,972	0,97	0,98	0,902	0,97
Pr	<0,71	<0,71	<0,30	<0,01	<0,61	<0,57	<0,57	<0,63	<0,86	<0,04	<0,43

* dados dos valores após a remoção dos outliers; ** dados dos valores transformados em Log; S-W: valores experimentais do teste de Shapiro e Wilk; Pr: probabilidade; Despad: desvio padrão; Ds: densidade do solo; Ptotal: porosidade total do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; VIB: velocidade de infiltração básica.

Os valores das medidas de tendência central da VIB para A1 são semelhantes, demonstrando que não há necessidade de uma transformação (log normal) dos dados, que indica que os dados seguem uma distribuição de probabilidade normal, comprovado pelo teste S -W ($p = 0,61$). Isto mostra que a maioria dos dados tende a apresentar distribuição normal Conforme Machado et al. (2007), a normalidade dos dados facilita o ajuste dos semivariogramas.

Mesquita et al. (2002) relataram que a variabilidade encontrada nas medidas de macroporosidade, condiciona alta variabilidade da VIB, que também pode ser confirmado pelo coeficiente de variação elevado e, que vai ao encontro dos resultados obtidos (Tabela 1).

Partindo da pressuposição de estacionaridade, que é, de certa forma, corroborado pela semelhança entre os valores de média e mediana dos dados amostrais, foram ajustados modelos para os semivariogramas, com os respectivos parâmetros: efeito pepita, patamar, alcance efetivo, relação do efeito pepita/patamar, coeficiente de determinação e soma de quadrados dos resíduos das variáveis das duas áreas amostrais(Tabela 2).

Para as variáveis densidade e microporosidade do solo, nas duas áreas estudadas, ajustou-se o modelo esférico, enquanto que a porosidade total e macroporosidade do solo apresentaram melhor ajuste com o modelo exponencial na A1. A variável VIB para A1 foi ajustada ao modelo esférico, com alcance de dependência espacial de 4,55 metros. Os dados de VIB para A2 permitiram ajuste ao modelo exponencial, com alcance de dependência espacial de 8,37 metros. Pela variabilidade espacial, sugerem-se as distâncias entre amostras da variável VIB de 4,55 e 8,37 metros, respectivamente, para A1 e A2.

Estes resultados concordam com os observados em várias pesquisas, que indicam que o modelo esférico e exponencial podem ser empregados mais frequentemente, em relação aos outros modelos. Amaro Filho et al. (2007), estudaram os atributos físicos de um Latossolo Vermelho, obtendo resultado semelhante, já que a densidade do solo apresentou um ajuste

esférico. Gomes et al. (2007) estudaram a variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo e sugeriram o modelo esférico para os atributos porosidade total e microporosidade do solo.

De acordo com Machado et al., (2007), o alcance de um atributo garante que todos os pontos dentro de um círculo com este raio sejam similares o bastante para poderem ser utilizados para estimar valores de qualquer ponto entre eles. Souza et al. (2006) relataram ainda que, para garantir a dependência espacial, os pontos amostrais devem ser coletados a uma distância equivalente à metade do alcance.

A respeito dos alcances, pela Tabela 2, observa-se que as variáveis podem ser divididas em dois conjuntos com alcance próximos. As variáveis da A1, densidade, microporosidade e VIB do solo apresentaram alcance em torno de 5 m. Para densidade e VIB do solo, o alcance foi de 8,37 m. Os alcances da variável porosidade do solo em ambas as áreas apresentaram valores semelhantes de 6,44 m.

As variáveis VIB, microporosidade e densidade do solo, para A1, apresentaram parâmetros dos semivariogramas semelhantes, com valores de alcance muito próximos, indicando que a VIB da A1 pode estar associada ao espaço poroso oriundo do arranjo, da distribuição e da orientação das partículas (FIORIN, 2008; MICHELON, 2010). Ainda na Tabela 2, observa-se na A2 que os parâmetros dos semivariogramas para as variáveis VIB e densidade do solo são também semelhantes, indicando uma relação entre essas duas variáveis do solo.

Outra observação importante, referente aos parâmetros dos semivariogramas ajustados para as variáveis macroporosidade e microporosidade do solo da A2, é que o modelo ajustado produziu um efeito pepita puro. Este fato mostra a alta variabilidade apresentada por estas características, inferindo-se que amostras devem ser realizadas a distâncias menores que as utilizadas na amostragem, ou seja, dois metros.

De acordo com o critério de Cambardella et al. (1994), somente a variável macroporosidade da A1 apresentou moderada dependência espacial, enquanto as demais apresentaram forte dependência espacial (Tabela 2). Segundo Silva et al., (2003) e Machado et al., (2007), isto demonstra que os semivariogramas explicaram a maior parte da variância dos dados amostrais.

Miguel et al. (2009) avaliaram a variabilidade de infiltração de água no solo em duas profundidades e encontraram dependência espacial de moderada a forte, caracterizando assim a necessidade do uso de ferramenta da krigagem ordinária, a fim de se delimitar possíveis zonas de manejo diferenciado.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas isotrópicos das variáveis estudadas nas áreas amostrais.

Variável	Modelo	Efeito pepita (C0)	Patamar (C0+C)	Alcance (Ao)	R ²	GDE	SQR	
A1	Ds	Esf.	0,00090	0,00550	5,07	0,75	0,16	7x 10 ⁻⁰⁷
	Ptotal	Exp.	0,00005	0,00075	8,37	0,52	0,06	1x 10 ⁻⁰⁷
	Ma	Exp.	0,00025	0,00094	8,37	0,81	0,26	9x 10 ⁻⁰⁸
	Mi	Esf.	0,00090	0,00540	4,95	0,73	0,16	1x 10 ⁻⁰⁹
	VIB	Esf.	0,00014	0,00085	4,55	0,74	0,16	2x 10 ⁻⁰⁸
A2	Ds	Esf.	0,00001	0,00070	8,37	0,96	0,14	3x 10 ⁻⁰⁸
	Ptotal	Esf.	0,00014	0,00062	6,44	0,99	0,22	2x 10 ⁻¹⁰
	Ma	-	0,00012	0,00012	-	-	-	-
	Mi	-	0,00011	0,00011	-	-	-	-
	VIB	Exp.	0,00021	0,00091	8,37	0,78	0,23	2x 10 ⁻⁰⁸

Esf.: esférico; Exp.: exponencial; R²: coeficiente de determinação; GDE: grau de dependência espacial; SQR: Soma do quadrado dos resíduos

A magnitude do efeito pepita (C0) é importante na krigagem, pois, quanto maior for a diferença do C0 em relação ao patamar (C0+C) do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa, ou maior a confiança que se pode ter na estimativa (ISAACKS; SRIVASTAVA, 1989). Para estimativa de valores em locais não amostrados, foram gerados mapas de distribuição espacial (Figura 1), por meio da krigagem, a partir dos parâmetros dos modelos ajustados aos semivariogramas.

Na A1, a densidade e a porosidade total do solo apresentaram valores diferenciados na direção X (Figura 2), mostrando áreas com valores maiores na direção do declive (Figura 1). A uma distância de aproximadamente 6 m do marco inicial, os valores de densidade do solo são elevados e distribuídos de modo uniforme. Valores mais baixos e distribuídos uniformemente foram observados desde os 6 até os 11 m. A porosidade total do solo teve uma variação inversamente proporcional à densidade do solo.

A porosidade total e densidade do solo na A2 apresentaram também uma relação inversamente proporcional, com valores diferenciados distribuídos em uma faixa diagonal nas direções X e Y (Figura 2) e uma relação proporcional das variáveis na direção do declive da área (Figura 1).

Amaro Filho et al. (2007) encontraram uma relação inversamente proporcional da porosidade total do solo com a densidade do solo em um Latossolo Vermelho. Esta variação deve ser considerada, uma vez que uma amostragem realizada na A1 e A2, feita aleatoriamente, não representaria as verdadeiras variações.

Portanto, para uma amostragem eficiente, a divisão da área em duas poderá ser considerada, contribuindo para um manejo do solo diferenciado e um eficiente manejo de irrigação.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram semelhança com aqueles obtidos por Grego & Vieira (2005), os quais encontraram dependência espacial nas variáveis e permitiram inferir que amostragem ao acaso seria falha, pois uma estrutura de dependência espacial não seria identificada, interferindo nas respostas dos tratamentos, caso fosse instalado um experimento que exigisse independência entre amostras.

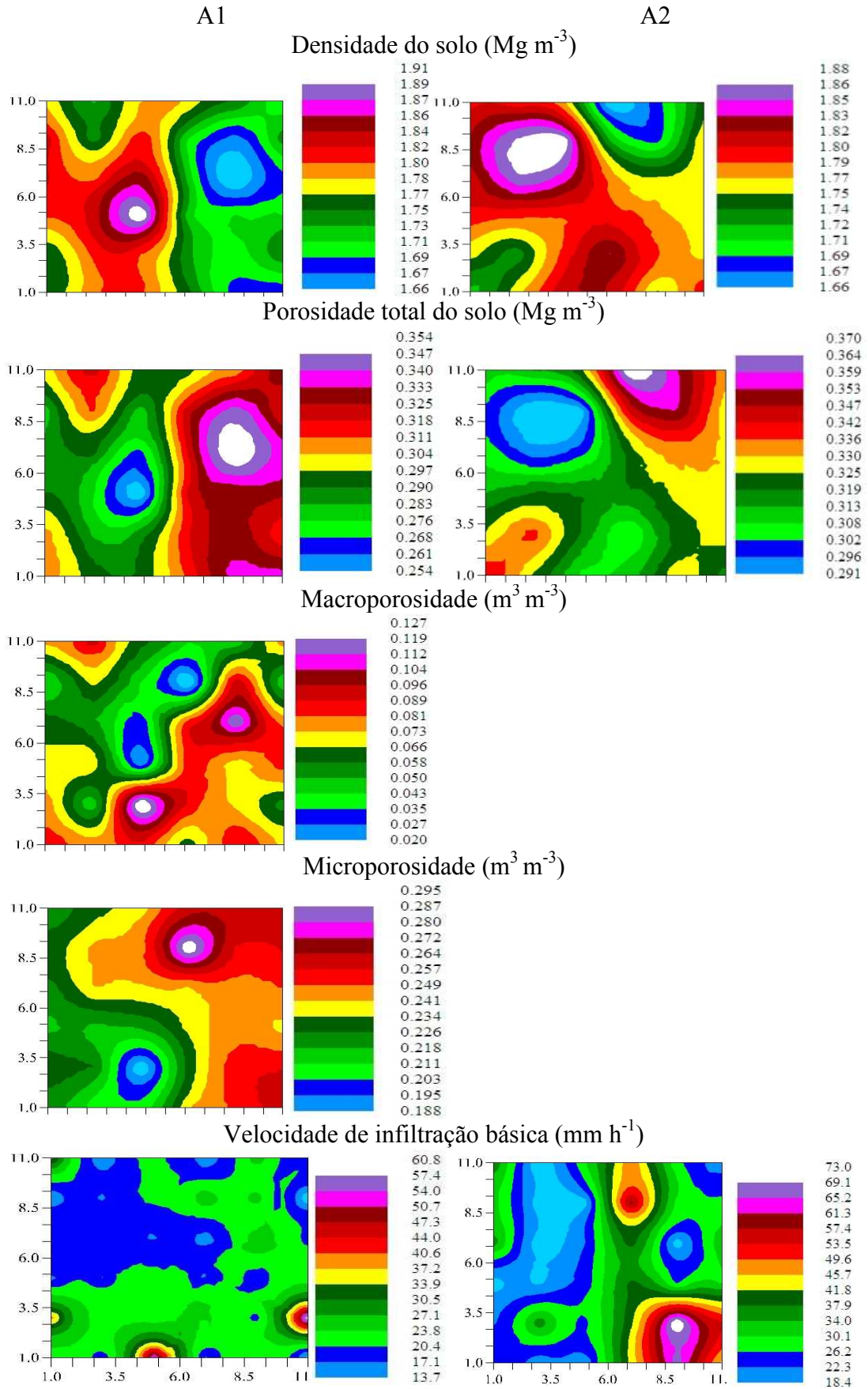


Figura 2. Distribuição espacial das variáveis estudadas nas duas áreas de amostragem.

6 CONCLUSÕES

A variabilidade do solo nas duas áreas amostrais, expressa pelo coeficiente de variação, é baixa para densidade, porosidade total e microporosidade do solo. As distribuições dos valores obtidos para estas propriedades aproximam-se da distribuição normal.

Verifica-se estrutura de dependência espacial para as variáveis densidade, porosidade e VIB do solo. Densidade e VIB do solo apresentam alcance da ordem de 5 a 8 metros.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J.C.A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.3, p. 415-422, 2007.
- BORGELT, S. C.; SEARCY, S.W.; STOUT, B. A.; MULLA, D. J. Spatially variable liming rates: a method for determination. **American Society of Agricultural Engineers**. vol. 35 n.5, p.1499-1507, 1994.
- CALHEIROS, C. B. M. et al. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 665-670, 2009.
- 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.
- DUFFERA, M.; J. G. WHITE; R. WEISZ. Spatial variability of southeastern U.S. coastal plain soil physical properties: Implications for site-specific management, **Geoderma**, v. 137, p. 327–339, 2007.
- EGUCHI, E. S.; SILVA, E. L.; OLIVEIRA, M. S. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado e da taxa de infiltração básica determinadas “in situ”. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, Edição especial p.1607-1613, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo (Rio de Janeiro). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba: EMBRAPA-SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984. Boletim Técnico, 57.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FIDALSKI, J. et al. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 43, n. 11, p. 1583-1590, 2008.

FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. 97 f. 2008. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa, 2008.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **Geostatistics for the environmental sciences** (Version 5.0.3 Beta for Windows).Michigan, 2000.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for Windows version 8.0**. Colorado: Golden, 2002.

GOMES, N. M.; FARIA, M. A. de; SILVA, A. M. da; MELLO, C. R. de; VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, vol.11, n.4, p. 427-435. 2007.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas de solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol.29, n.2, p. 169-177, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário – 2006**. Rio de Janeiro, 2009.

IQBAL, J; THOMASSON, J. A; JENKINS, J. N; OWENS, P. R; WHISLER, F. D. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. **Soil Science Society of American Journal**, vol. 69 n. 4, p. 1338-1350, 2005.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.

LIBARDI, P. L.; MANFRON, 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, p.1-12, 1996.

MACHADO, L. O; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 591-599, 2007.

MESQUITA, M. G. B. F; MORAES, S. O.; CORRENTE, J. E. More adequate probability distributions to represent the saturated soil hydraulic conductivity, **Ciência Rural**, Santa Maria, n, v.59, n.4, p. 789-793, out/dez, 2002.

MICHELON, C. J. Pedofunções para retenção de água de solos do Rio Grande do Sul irrigados por aspersão. Tese (doutorado em Ciência do Solo), Programa de Pós-graduação em Ciência dos solos, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S.R.; GREGO, C.R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 44, n. 11, Nov. 2009.

PAULINO, J.; FOLEGATTI M. V.; ZOLIN, C. A.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; JOSÉ, J. V. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 163-176, abril-junho, 2011.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. (2010) R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

ROBERTSON, G.P. GS+: geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's guide. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.

SHAPIRO, S. S; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n.2, 1965.

SILVA NETO, S. P. da; SANTOS, A. C. dos; LEITE, R. L. de L.; DIM, V. P.; CRUZ, R. S. da; PEDRICO, A; NETO, D. N. das N.; Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 2, p. 541-552, abr/jun. 2011.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PERREIRA, G. T.; MONTANARI, R. Otimização amostral de atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, Santa Maria v.36 p.829-836, 2006.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS R. F.; ALVAREZ, V., V. H.; SCHAEFER, G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. **Application of soil physics**. New York, Academic Press, p.319-344. 1980.

ZIMMERMANN, B., E; ZEHE, N. K. HARTMANN; H. ELSENBEER. Analyzing spatial data: An assessment of assumptions, new methods, and uncertainty using soil hydraulic data, **Water Resources Research**, 44, 2007.