



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## ANÁLISE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM UM LATOSSOLO CULTIVADO EM PLANTIO DIRETO<sup>1</sup>

José Marcílio da Silva<sup>2</sup>

---

### RESUMO

Com o objetivo de caracterizar a variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico cultivado em plantio direto com soja, em área de cerrado, através da estatística clássica e da geoestatística na análise dos dados, coletaram-se amostras de solo indeformadas em três profundidades em um talhão de 40 x 55m definidos com malha regular de 44 pontos espaçados 5 m. A densidade do solo e a macroporosidade apresentaram moderada e alta variabilidade espacial, com maiores alcances (20,8 m e 18,5 m), na profundidade de 0,0-0,10 m, respectivamente. A distância mínima de cinco metros adotada, não foi suficiente para a caracterização da variabilidade espacial dos atributos microporosidade e macroporosidade, e porosidade total na profundidade de 0,10-0,20 m, e densidade do solo, microporosidade e macroporosidade entre 0,20-0,40 m. A densidade do solo e a porosidade total apresentaram alta e moderada variabilidade espacial nas profundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente, mostrando que o manejo adotado no solo influencia de forma diferente a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo.

**Palavras-chave:** Geoestatística; variabilidade espacial; porosidade do solo.

### SPATIAL ANALYSIS OF PHYSICAL ATTRIBUTES ON A LATOSOL CULTIVATED IN NO-TILLAGE

### ABSTRACT

Aiming characterize the spatial variability of physical attributes on a Typic Hapludox dystrophic cultivated in no-tillage with soybean, in savannah area, through classical statistics and geostatistics in data analysis, was collected undisturbed soil samples in the three depths in plots of 40 x 55m regular grid with 44 points spaced 5 m. The soil density and macroporosity showed moderate and high spatial variability, with larger ranges (20,8 m and 18.5 m), in depth of 0,0-0,10 m, respectively. The minimum distance of five meters adopted, was not enough for the characterization of spatial variability the attributes microporosity and macroporosity, and total porosity in depth of 0,10-0,20 m, and soil density, microporosity and macroporosity between 0,20-0,40 m. The soil density and porosity total showed moderate and high spatial variability in the depths of 0,10-0,20 m and 0.20-0,40 m, respectively, showing that the management adopted in the soil influences of differently in the spatial variability of soil physical attributes.

**Keywords:** Geostatistic; spatial variability; soil porosity.

---

Trabalho recebido em 21/01/2012 e aceito para publicação em 09/05/2013.

---

<sup>1</sup> Parte dos dados da Dissertação de Mestrado do Autor.

<sup>2</sup> Lic. Ci. Agrícola, M.Sc. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), *Campus* Barreiros, Fazenda Sapé S/N Caixa Postal 21, Zona Rural, CEP 55560-000. e-mail: [marcilio@barreiros.ifpe.edu.br](mailto:marcilio@barreiros.ifpe.edu.br)

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre a variabilidade espacial e as características do solo é de fundamental importância para o planejamento de uma agricultura sustentável e ao mesmo tempo em que não agrida o meio ambiente, para isso, faz-se necessário conhecer melhor o comportamento físico do solo para que se possa adequar as atividades agrícolas à aptidão do solo (MILANI et al., 2005). Os sistemas de manejo do solo apresentam grande influência nas características físicas do solo e estão relacionados com a compactação, na qual há um aumento da resistência do solo, reduzindo sua porosidade, permeabilidade bem como a disponibilidade de nutrientes e água.

O sistema plantio direto (PD) é uma das mais eficientes estratégias para a melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo agrícola (AMADO et al., 2007), pois representa a mais significativa alteração no manejo de solos da história moderna da agricultura. Este sistema envolve o uso de técnicas para produzir, preservando a qualidade ambiental, fundamentando-se na ausência de preparo do solo e na presença de cobertura permanente sobre o terreno, através de rotação de culturas (MACHADO et al., 2004).

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), uma das espécies cultivadas mais

antiga do mundo, tem sido conduzida com alto nível tecnológico em todas suas operações, constituindo-se em uma “commodity” de grande importância comercial para o desenvolvimento da agricultura brasileira, sendo cultivada em todas as regiões.

O Cerrado ocupa quase toda área do Brasil central, com aproximadamente 200 milhões de hectares, em sua maior parte, na região Centro-Oeste. A maioria dos solos sob vegetação de cerrados tem sido diagnosticada como de baixa fertilidade natural, apresentando interferência direta na disponibilidade de nutrientes para as plantas se desenvolverem e atingirem altas produtividades. A baixa fertilidade dos solos pode ser corrigida, não se constituindo em obstáculo para o cultivo da soja nas áreas agrícolas no bioma do cerrado.

A análise geoestatística constitui importante ferramenta para caracterização e descrição da variabilidade espacial das propriedades do solo (GUIMARÃES, 2000; VIEIRA, 2002; CARVALHO et al., 2002), e o uso de métodos geoestatísticos contribui para mostrar que o manejo adotado no solo influencia de forma diferente a variabilidade espacial dos atributos do solo (SILVA et al., 2008; SILVA et al., 2009). O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo

é considerado o princípio básico para o manejo específico das áreas agrícolas.

Neste aspecto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico em plantio direto no cerrado, sob a égide da estatística clássica e da geoestatística na análise dos dados.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Monte Alegre, localizada no município de Rio Verde, Goiás, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico típico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006), cujas coordenadas estão situadas geograficamente entre 17°29'24'' a 17°30'36'' de Latitude Sul (S) e 51°23'24'' a 51°24'36'' de Longitude Oeste (W), com altitude média de 748 m e topografia plana a levemente ondulada com declividade próximo de 3%. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima predominante na região é do tipo tropical de Savana (Aw), com precipitação média anual de 1.500 mm.

Foi selecionado um talhão com 2.200 m<sup>2</sup>, onde se realizou levantamento por amostragem em uma malha regular com as dimensões de 40 x 55m, totalizando 44 pontos, sendo que a menor distância entre amostras foi de cinco (5) metros para se garantir a existência de estacionaridade

intrínseca e gerar um número mínimo de 30 pares para cada distância estudada. A área estava sendo cultivada com soja (*Glycine max* (L.) Merrill) por dez anos em monocultivo, sob plantio direto e nos últimos cinco anos, a soja, foi cultivada no verão e sucedida pelo milho na safrinha.

As amostras de solo indeformadas foram coletadas com auxílio do amostrador de Uhland, após a colheita mecanizada da soja, nas profundidades de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, em cada ponto da malha amostral em locais que não apresentavam as marcas dos rodados da colhedora para a determinação dos atributos físicos densidade do solo (Ds), microporosidade (MiP), macroporosidade (MaP) e porosidade total (Pt), conforme Embrapa (2005).

A estatística clássica foi aplicada às variáveis estudadas, antes da análise geoestatística, para obtenção das medidas de posição (média, mediana, valores máximo e mínimo) e dispersão (variância, desvio padrão e coeficiente de variação, assimetria e curtose). Para análise da hipótese de normalidade dos dados foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov ( $p \leq 0,05$ ). Os valores dos atributos físicos do solo nas três profundidades foram comparados pelo teste t-Student ( $p \leq 0,05$ ).

O grau de dependência espacial (GD) foi realizado utilizando-se o *software* GS<sup>+</sup> (ROBERTSON, 2000) para determinação

dos semivariogramas experimentais (Equação 1).

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

em que:  $\gamma^*(h)$  é a semivariância experimental, obtida pelos valores amostrados  $Z(x_i)$ ,  $Z(x_i + h)$ ;  $N(h)$  é o número de pares de valores medidos;  $h$  é a distância entre pontos amostrais.

No ajuste dos semivariogramas teóricos aos dados testaram-se os seguintes modelos: esférico, exponencial, gaussiano e linear. Os semivariogramas foram escalonados pela variância dos dados no sentido de padronizar a escala, determinando os seguintes parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C_1$ ) e alcance ( $a$ ). Os valores do grau de dependência espacial, são apresentados como porcentagem do patamar para facilitar a comparação do grau de dependência espacial (GD) que foi classificado segundo Cambardella et al. (1994), na qual um atributo pode ser considerado exibindo alta (forte), moderada ou baixa (fraca) dependência espacial, podendo ser verificado em função da relação entre o efeito pepita e o patamar de seu semivariograma ajustado (Equação 2). Valores inferiores a 25% caracterizam alta dependência espacial, entre 25% e 75% moderada e superior a 75%, baixa

dependência espacial.

$$GD = \frac{C_0}{C_0 + C_1} * 100 \quad (2)$$

O coeficiente de variação (CV) foi classificado segundo proposta de Warrick e Nielsen (1998), na qual um atributo apresenta-se com baixa variação para  $CV < 15\%$ , média para o intervalo ( $15\% \leq CV < 50\%$ ) e alta variabilidade quando  $CV \geq 50\%$ .

Verificada a dependência espacial entre as variáveis estudadas, fez-se interpolação pelo método de krigagem ordinária para estimar valores em locais não amostrados, considerando *pixel* de 50 cm x 50 cm. A partir da krigagem foram gerados mapas para os atributos que apresentaram variabilidade espacial para identificar as diferentes zonas homogêneas de manejo.

Para a variável que apresentar efeito pepita puro (EPP), ou seja, ausência de dependência espacial e aquelas com alcance reduzido realizou-se o teste t-Student em nível de 5% de probabilidade, com intuito de comparar as médias de tais variáveis entre as duas profundidades estudadas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise descritiva dos parâmetros: média, mediana, mínimo, máximo, desvio-padrão ( $\delta$ ), coeficientes de variação (CV),

curtose ( $C_k$ ), assimetria ( $C_s$ ) para determinação dos atributos físicos avaliados em três profundidades em plantio direto. Os resultados do teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov foram comparados na mesma profundidade a partir da média obtida de 44 pontos de amostragem, indicando distribuição normal em todos os atributos nas profundidades de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m. Observa-se que os valores da média e mediana estão próximos, mostrando distribuições simétricas, o que pode ser confirmado pelos valores de coeficiente de assimetria ( $C_s$ ) próximo de zero, pela normalidade dos dados pelo teste Kolmogorov-Smirnov ( $p \leq 0,05$ ).

Para Carvalho et al. (2002), valores de assimetria e curtose de zero e três, indicam a normalidade dos dados, respectivamente, embora a normalidade dos dados não seja uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que no gráfico de distribuição normal, os atributos não apresentem extremidades muito alongadas, o que poderia comprometer as análises.

Os resultados obtidos neste trabalho caracterizam uma baixa variação para os atributos Ds, MiP e Pt apresentando  $CV < 15\%$ , e média variação para a MaP nas três profundidades avaliadas, respectivamente. O maior CV foi observado no atributo MaP (37,32%) na

profundidade de 0-0,10 m e o menor na profundidade de 0,20-0,40 m no atributo Pt (2,81%) (Tabela 1), segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1998).

Como a média aritmética dos dados é uma medida de posição que representa o conjunto de dados dos valores de determinado atributo, e é tanto menos representativa quanto maior for a variação em torno dela, que por sua vez é medida pelo coeficiente de variação, pode-se afirmar que há baixa variabilidade dos atributos físicos avaliados.

A Ds apresenta valores médios baixos (Tabela 1), mostrando que a ausência de preparo não difere significativamente sem alterar sua estrutura, nas três profundidades estudadas, indicando influência do maior volume de microporos, o que pode ser beneficiado pelo acúmulo de palhada na superfície do solo, proporcionando maior armazenamento de água. Resultados semelhantes foi encontrado por Silva et al. (2008), em um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no cultivo da soja no cerrado; e por Silva et al. (2009) estudando a Ds, umidade (U) e resistência do solo à penetração em dois sistemas de cultivo.

Os resultados obtidos neste trabalho sobre a Ds, estão de acordo com os encontrados por Souza et al. (2004) em

estudo de atributos físicos em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. Embora, não seja sensível para detectar a condição física do solo, a Ds tem sido um dos atributos usados para avaliação do estado estrutural do solo, em experimentos sobre plantio direto.

A MiP apresentou um decréscimo no seu valor com o aumento da profundidade, em decorrência do aumento da Ds e da ausência de revolvimento do solo (Tabela 1). Porém, Andreola et al. (2000), não verificaram diferença para MiP em estudo sobre as propriedades físicas de uma terra

roxa estruturada. A MaP apresentou valores baixos em todas as condições de estudo, segundo Arshad et al. (1996), valores abaixo de 15% restringem o movimento de água no perfil do solo. A diminuição da Pt e o aumento da relação MiP/MaP, ocorreu da profundidade 0-0,10 m para a profundidade de 0,10-0,20 m, o que caracteriza solo compactado, refletindo no aumento da Ds. Resultados semelhantes foi encontrado por Milani et al. (2005), em estudo sobre a porosidade do solo em um Latossolo sob plantio direto.

**Tabela 1** – Estatística descritiva dos atributos físicos densidade do solo (Ds), microporosidade (MiP), macroporosidade (MaP) e porosidade total (Pt) de amostras coletadas na malha nas profundidades de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m em plantio direto.

Atributo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	$\delta$	CV	Cs	Ck	d
Ds (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>1</sup>	1,05a	1,05	0,95	1,18	0,06	5,71	0,39	-0,74	ns
Ds (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,13a	1,13	1,04	1,21	0,04	3,54	-0,11	0,09	ns
Ds (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3</sup>	1,14a	1,14	1,06	1,27	0,04	3,51	0,55	1,29	ns
MiP (%) <sup>1</sup>	43,86a	44,45	37,92	50,47	3,06	6,98	-0,15	-0,50	ns
MiP (%) <sup>2</sup>	42,46a	42,61	37,35	47,31	2,03	4,78	-0,06	0,35	ns
MiP (%) <sup>3</sup>	40,35a	39,83	36,08	46,30	2,38	5,90	0,42	0,08	ns
MaP (%) <sup>1</sup>	11,79b	11,29	5,03	23,30	4,40	37,32	0,47	-0,23	ns
MaP (%) <sup>2</sup>	9,52b	9,38	4,81	15,48	2,53	26,58	0,64	0,09	ns
MaP (%) <sup>3</sup>	11,52b	11,41	5,96	18,43	2,70	23,44	0,32	0,62	ns
Pt (%) <sup>1</sup>	55,65b	55,65	49,58	61,62	2,60	3,41	-0,36	0,04	ns
Pt (%) <sup>2</sup>	51,98a	52,00	48,51	56,31	1,56	3,00	0,43	0,88	ns
Pt (%) <sup>3</sup>	51,88a	51,94	48,80	54,92	1,46	2,81	0,04	-0,49	ns

<sup>1</sup>: profundidade de 0-0,10 m; <sup>2</sup>: profundidade de 0,10-0,20 m; <sup>3</sup>: profundidade de 0,20-0,40 m;  $\delta$ : desvio-padrão; CV: coeficiente de variação; Cs: coeficiente de assimetria; Ck: coeficiente de curtose; d: distribuição normal; ns: não significativo pelo teste Kolmogorov-Smirnov ( $p \leq 0,05$ ). Para um mesmo atributo, médias seguidas de mesma letra minúscula, em coluna, não diferem significativamente ( $p \leq 0,05$ ).

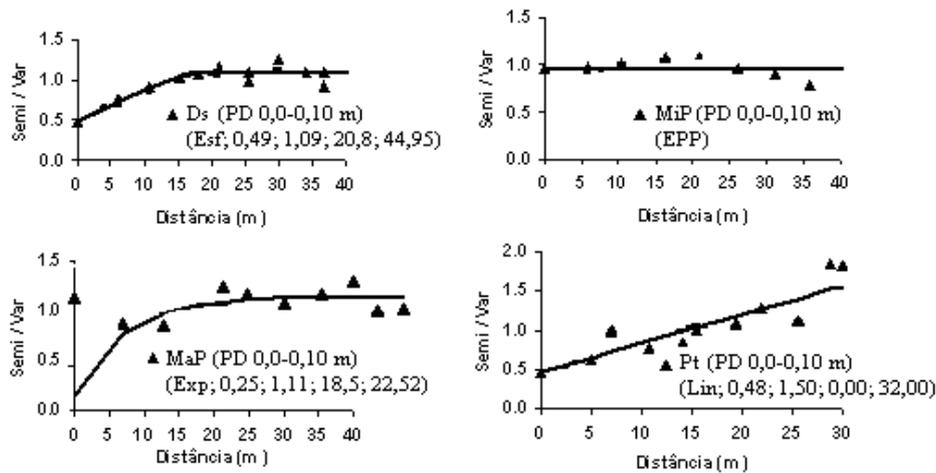
Nas Figuras 1, 2 e 3 observa-se a análise espacial dos modelos e parâmetros de ajustes dos semivariogramas escalonados para os atributos físicos avaliados nas profundidades de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente.

Verifica-se na Figura 1 que a Ds ajusta-se ao modelo esférico (ESF), com alcance de 20,8 m, apresentando uma moderada dependência espacial, estando de acordo com Silva et al. (2009). A MiP, apresenta efeito pepita puro (EPP), indicando ausência de dependência espacial para distâncias maiores que a menor distância adotada na amostragem (5,0 m) (SILVA et al., 2008). A MaP ajusta-se ao modelo exponencial (EXP), com alcance de 18,5 m, apresentando alta variabilidade espacial, corroborando com Milani et al. (2005). A Pt ajusta-se ao modelo linear (LIN) sem patamar, apresentando uma moderada dependência espacial, segundo metodologia adotada por Cambardella et al. (1994). Este comportamento indica que o tamanho da

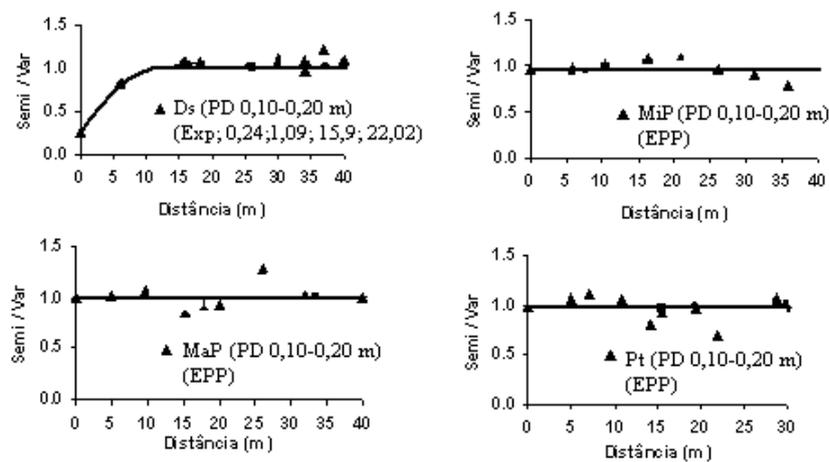
amostra não foi suficiente para exibir a estacionaridade intrínseca dos dados (GUIMARÃES, 2000, VIEIRA, 2002), portanto, não foram construídos os mapas temáticos para esse atributo devido não ter proporcionado uma definição do patamar na escala adotada.

Na Figura 2, a Ds ajusta-se ao modelo exponencial (EXP), com alcance de 15,9 m, apresentando alta variabilidade espacial. Os atributos MiP, MaP e Pt apresentam efeito pepita puro (EPP), com ausência de dependência espacial para distâncias maiores que a menor distância adotada na amostragem (5,0 m) (SILVA et al., 2008). Resultados semelhantes, para a Pt, foi verificado por Milani et al. (2005).

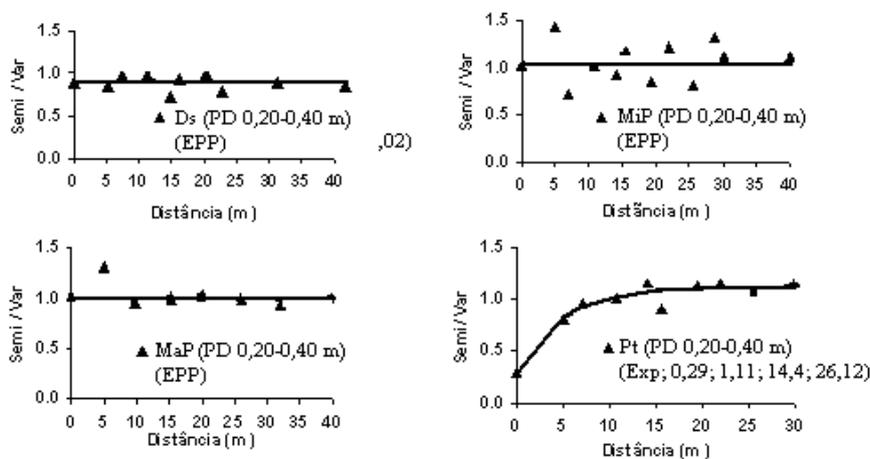
Na Figura 3, a Ds, MiP e MaP apresentam efeito pepita puro (EPP), com ausência de dependência espacial para distâncias maiores que a menor distância adotada na amostragem (5,0 m) (SILVA et al., 2008), e a Pt ajustou-se ao modelo exponencial (EXP), com alcance de 14,4 m, apresentando moderada variabilidade espacial.



**Figura 1** – Modelos e parâmetros ( $C_0$ ;  $C_0+C_1$ ;  $a$ ; GD) dos semivariogramas escalonados dos atributos físicos no sistema plantio direto (PD) na profundidade de 0,0-0,10 m.



**Figura 2** – Modelos e parâmetros ( $C_0$ ;  $C_0+C_1$ ;  $a$ ; GD) dos semivariogramas escalonados dos atributos físicos no sistema plantio direto (PD) na profundidade de 0,10-0,20 m.

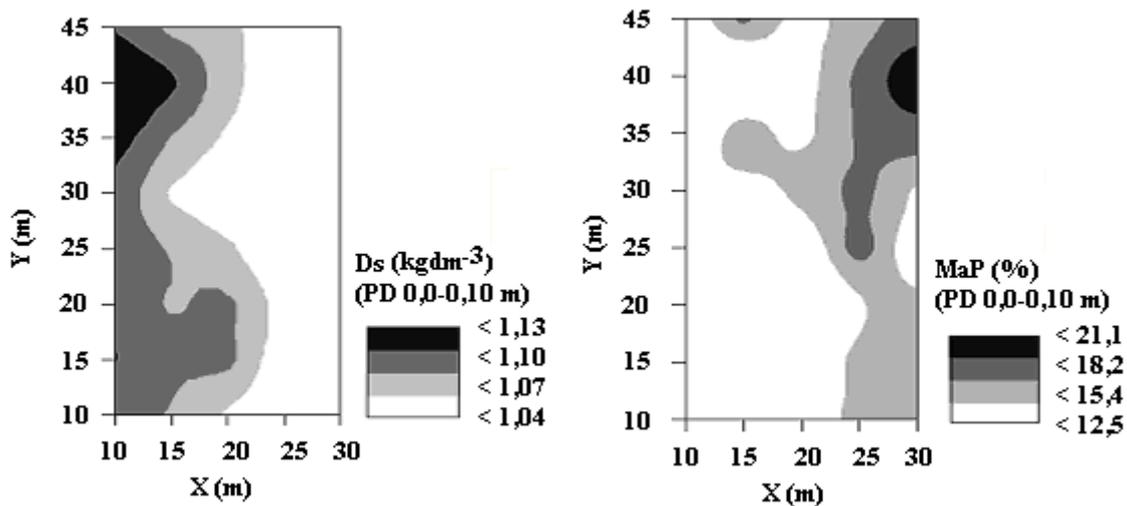


**Figura 3** – Modelos e parâmetros ( $C_0$ ;  $C_0+C_1$ ;  $a$ ; GD) dos semivariogramas escalonados dos atributos físicos no sistema plantio direto (PD) na profundidade de 0,20-0,40 m.

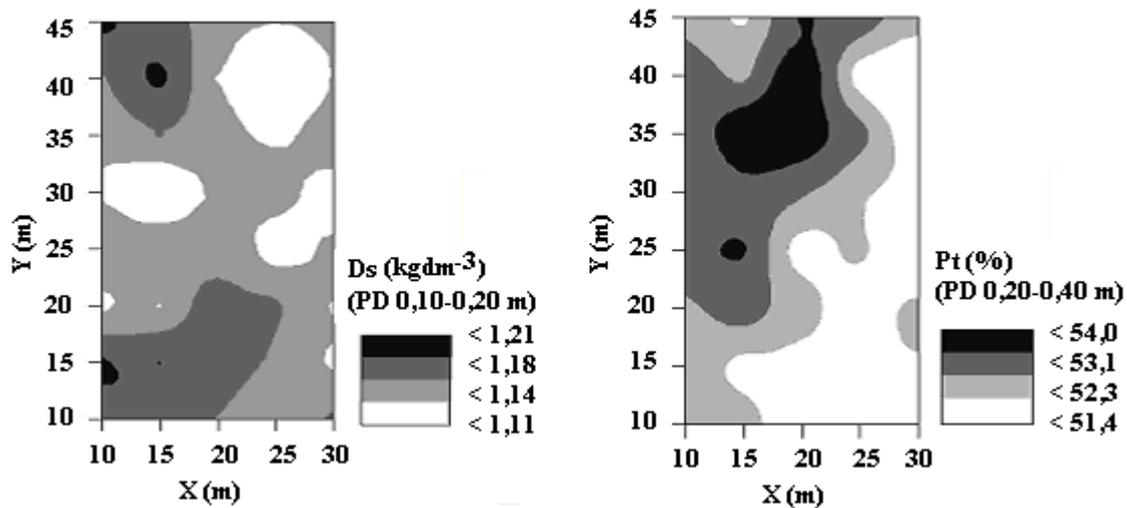
A partir dos modelos aceitos com base na validação cruzada realizou-se a krigagem ordinária para a obtenção dos mapas de cada atributo físico que apresentou dependência espacial. As Figuras 4 e 5 apresenta os mapas interpolados da variabilidade espacial da Ds e MaP na profundidade de 0,0-0,10 m, da Ds e Pt nas profundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente. Observa-se na Figura 4 que a Ds apresenta-se com maior distribuição espacial na área onde há menores valores de MaP, isto se deve, provavelmente, ao não revolvimento do solo na camada superficial (até 20 cm). Segundo Tormena et al. (2004), no plantio direto ocorre uma redução de macroporos,

tendo valores menores que 10%, e porosidade total (Pt), e que pode ser considerado um fator restritivo à erosão do solo.

Na Figura 5, a Ds apresenta maiores concentrações em torno da área de baixo para cima, enquanto que a Pt apresenta uma grande variação de cima para baixo da área em estudo, estando de acordo com Azevedo (2004), que afirma que, em solos argilosos a Pt varia entre 40% a 60%. O aumento da Ds, juntamente com a diminuição da Pt, reduz a taxa de infiltração ocorrendo escoamento superficial podendo aumentar o processo erosivo do solo.



**Figura 4** – Mapa de krigagem da densidade do solo (Ds) e macroporosidade (MaP) no plantio direto (PD) na profundidade de 0,0-0,10 m.



**Figura 5** – Mapa de krigagem da densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt) no plantio direto (PD) nas profundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente.

#### 4. CONCLUSÕES

A densidade do solo e a macroporosidade apresentaram maior continuidade espacial com maiores alcances, com moderada e alta variabilidade espacial na profundidade de 0,0-0,10 m, respectivamente.

A distância mínima de 5 m entre os pontos de amostragens, não foi suficiente para caracterizar a variabilidade espacial dos atributos microporosidade e macroporosidade e porosidade total na profundidade de 0,10-0,20 m, e densidade do solo, microporosidade e macroporosidade entre 0,20-0,40 m.

A densidade do solo e a porosidade total apresentaram alta e moderada variabilidade espacial nas profundidades de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m, respectivamente, mostrando que o manejo

adotado no solo influencia de forma diferente a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo.

#### REFERÊNCIAS

- AMADO, NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A. L.; LOVATO, T. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 857-865, 2000.
- ARSHAD, MA.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In:

- Doran, J. W.; Jones, A. J. Methods for assessing soil quality. Madison, **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 1996. p.123-141. SSSA Special publication, 49.
- AZEVEDO, E.C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso.** Campinas – SP, 2004. 132 f. Tese (Doutorado) - Área de concentração: Água e Solo. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, 2004.
- CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.05, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 2005. 212p.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Serviço de Produção de Informação, Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.
- GUIMARÃES, E.C. **Variabilidade especial de atributos de um latossolo vermelho escuro textura argilosa na região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional.** Campinas – SP, 2000. 92 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Área de concentração: Água e Solo. Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Campinas, 2000.
- MACHADO, P.L.O. de A.; BERNARDI, A.C. de C.; SILVA, C.A.; CARMO, C.A.F. de S. do.; MEIRELLES, M.S.P.; MANZATTO, C.V. Estudo de caso em agricultura de precisão: manejo de lavoura de soja na região de campos gerais, PR. In: MACHADO, P.L.O. de A.; BERNARDI, A.C. de C.; SILVA, C.A. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. (Ed.). Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2004. p. 93-113.
- MILANI, D.I.C.; MILANI, L.; TAVARES, M.H.F.; OPAZO, M.A.U.; VILAS BOAS, M.A. Variabilidade especial da porosidade do solo em um latossolo sob plantio direto. In: 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, ago./2005.
- ROBERTSON, G.P. **GS+ Geostatistics for the environmental sciences: GS+ User's Guide Version 5**. Plainwell: Gamma Design Software, 2000. 200 p.
- SILVA, J.M.; LIMA, J.S.S.; PIRES, F.R.; ASSIS, R.L. Variabilidade

- espacial dos atributos físicos em um latossolo sob plantio direto e preparo convencional no cultivo da soja no cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 50, p. 167-180, jul./dez. 2008.
- SILVA, J.M.; PASSOS, A. da L.R.; BELTRÃO, F.A.S. Análise espacial da densidade, umidade e resistência do solo à penetração sob sistemas de cultivo. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**, v. 6, n. 3, p. 103-118, set/dez. 2009.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 937-944, 2004.
- TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A.; ARAÚJO, M.A.; PINTRO, J.C. Influência de diferentes tipos de preparo do solo nas propriedades físicas de um latossolo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2002, v.1, p.1-54.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic, 1998. p.655-675.