

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS ATRIBUTOS FÍSICOS EM UM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL NO CULTIVO DA SOJA NO CERRADO¹

José Marcílio da SILVA²
Julião Soares de Souza LIMA³
Fábio Ribeiro PIRES⁴
Renato Lara de ASSIS⁵

RESUMO: O objetivo deste trabalho é avaliar a variabilidade espacial dos atributos físicos em um latossolo sob plantio direto e preparo convencional de soja no cerrado, sob a égide da estatística clássica e da geoestatística na análise dos dados. O experimento foi conduzido em dois talhões, em pontos de amostragem definidos, segundo uma malha com dimensão de 40 x 55 m, totalizando 44 pontos. Foi realizada a análise descritiva para a verificação da presença de pontos discrepantes e da normalidade dos dados e, depois, a análise espacial, segundo técnicas de geoestatística para análise de semivariogramas. Todos os atributos físicos apresentam diferença significativa em uma mesma profundidade entre manejos, exceto a densidade do solo e a porosidade total na profundidade de 0,20-0,40 m. No Preparo Convencional, a maioria dos atributos apresentaram estrutura de dependência espacial entre moderada e forte, exceto: a macroporosidade na profundidade de 0-0,10 m, densidade do solo e microporosidade de 0,10-0,20 m, a microporosidade preparo e macroporosidade de 0,20-0,40 m. No Plantio Direto, a porosidade total de 0,10-0,20 m, a densidade do solo e a macroporosidade na profundidade de 0,20-0,40 m, e a microporosidade nas três profundidades apresentam ausência de dependência espacial. O do solo para implantação da soja influenciou os atributos: densidade do solo, microporosidade e porosidade total na profundidade de 0-0,10 m, apresentando o mesmo padrão espacial com ajuste do modelo esférico.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Geoestatística, Dependência Espacial, Porosidade do Solo.

1 Aprovado para publicação em 13/11/08

Parte da dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo. Caixa Postal 16, CEP 29500-000, Alegre (ES).

2 Licenciado em Ciências Agrícolas, M.Sc., Professor da Escola Agrotécnica Federal de Araguatins (TO), CEP 77950-000, Araguatins (TO). E-mail: marciliocilo@yahoo.com.br

3 Engenheiro Agrícola, Dr., Professor Adjunto do Deptº. de Engenharia Rural, CCA – UFES, Caixa Postal 16, CEP 29500-000, Alegre (ES). E-mail: juliaoslima@cca.ufes.br

4 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto do Deptº. de Engenharia e Ciências Exatas, CEUNES – UFES, CEP 29933-415, São Mateus (ES). E-mail: fabiopires@ceunes.ufes.br

5 Engenheiro Agrícola, Dr., Professor Adjunto da Faculdade de Agronomia, FESURV – Universidade de Rio Verde, Caixa Postal 104, CEP 75901-970, Rio Verde (GO). E-mail: assis@fesurv.br

SPATIAL VARIABILITY OF THE PHYSICAL ATTRIBUTES IN THE LATOSOL UNDER NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL-TILLAGE IN SOYBEAN CROP IN SAVANNAH

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the spatial variability of some soil physical attributes under no-tillage and conventional-tillage systems with soybean in savannah. Data analyses were conducted by means of classic statistics and geostatistics. The experiment was performed in two plots in sampling points defined according to a grid with dimension of 40 x 55 m, totaling 44 points. A descriptive analyses was done to verify outliers and normality data presence, then a spatial analyses geostatistics through semivariograms. All studied soil attributes presented significant differences between management systems and at the same depth, except for soil density and total porosity at the depth of 0,20-0,40 m. The differences in density and total porosity at the depth of 0,20-0,40 m were not statistically significant ($p > 0,05$). Most attributes presented a spatial dependence structure ranked between moderate and strong in the conventional-tillage system, except for macroporosity at 0-0,10 m, soil density and microporosity at 0,10-0,20 m, microporosity and macroporosity at 0,20-0,40 m. The microporosity at the three depths, Pt at 0,10-0,20 m, soil density and macroporosity at 0,20-0,40 m did not present spatial dependence in the no-tillage system. The soil tillage for sowing soybean influenced the soil density, microporosity and total porosity at 0-0,10 m presenting the same spatial pattern with adjustment of the spherical model.

INDEX TERMS: Geostatistic, Spatial Dependence, Porosity of the Soil.

1 INTRODUÇÃO

Desde a sua introdução no Brasil, a 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. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2006), com

maior concentração nas regiões Centro-Oeste e Sul, que respondem por 50,2% e 33,2% da produção nacional, respectivamente.

O cerrado ocupa quase toda área do Brasil central, com aproximadamente 200 milhões de hectares, em sua maior parte na região Centro-Oeste (WALTER, 1995). A maioria dos solos sob vegetação de cerrados tem sido diagnosticado 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 (KLINK; MACHADO, 2006).

O solo, quando mantido em seu estado natural, sob vegetação nativa, apresenta características físicas adequadas ao desenvolvimento normal das plantas (ANDREOLA; COSTA; OLSZEWSKI, 2000). Segundo Schlindwein e Gianello (2004), a dinâmica dessas características é alterada quando se passa do plantio convencional (PC) para o plantio direto (PD). Nessas condições, o volume de solo no PD, explorado pelas raízes, é relativamente maior. Para Spera et al. (2004), à medida que o solo, sob manejo inadequado, vai sendo submetido ao uso agrícola, os atributos físicos do solo sofrem alterações, geralmente, desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal.

De acordo com Machado et al. (2004), o sistema de plantio direto (PD) representa a mais significativa alteração no manejo de solos da história moderna da agricultura, consistindo em um sistema de produção conservacionista, que se contrapõe ao sistema tradicional de manejo. Este sistema envolve o uso de técnicas que visam preservar a qualidade ambiental, fundamentando-se na ausência de preparo do solo e na presença de cobertura permanente sobre o terreno, por meio de rotação de culturas. Grego e Vieira (2005) citam que o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo e das culturas no espaço e no tempo é considerado, atualmente, o princípio básico

para o manejo preciso das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala.

Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo e os relativos às plantas apresentam variabilidade espacial, ou seja, assumem valores similares em pequenas distâncias, e diferentes à medida que a distância entre as observações vai aumentando. Sabe-se que esta variabilidade ocorre em função de vários fatores, como: tipo de solo, manejo adotado no solo e nas plantas, da cultivar, processos erosivos, do relevo, entre outros.

Nesse contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial de atributos físicos em um latossolo cultivado com soja em plantio direto e no preparo convencional, usando técnicas 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 Distrófico, textura argilosa (EMBRAPA, 1999), cujas coordenadas estão situadas geograficamente entre 17° 29' 24" a 17° 30' 36" de Latitude Sul e 51° 23' 24" a 51° 24' 36" de Longitude Oeste, com altitude média de 784 m e topografia plana (< 3% de declividade).

Para a consecução deste trabalho, foram selecionados dois talhões, cada um com malha de 44 pontos com dimensões de 40 x

55 m, totalizando 2.200 m² (Figura 1); sendo um talhão conduzido no sistema PD e o outro no sistema PC do solo, ambos cultivados com soja, no período de verão. Realizou-se para cada talhão levantamento por amostragem com espaçamento de 5 x 5 m entre os pontos amostrais, usado na malha interna 40 pontos e na malha externa 4 pontos com espaçamento equidistantes de 10 m. O espaçamento

de 5 metros foi adotado para se garantir a existência de estacionaridade intrínseca e gerar um número mínimo de 30 pares para cada distância estudada, para utilizar a geoestatística (CRESSIE, 1991).

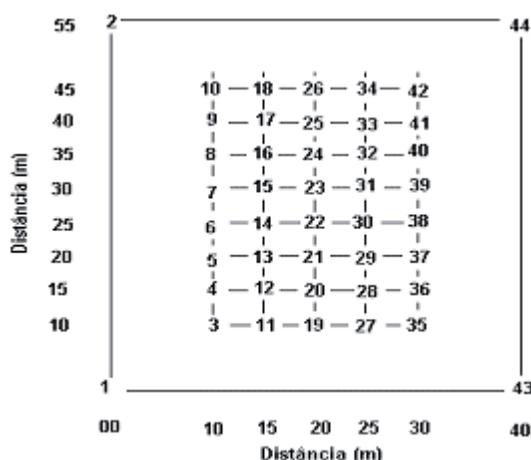


Figura 1 – Grade de distribuição dos pontos de amostragem nas áreas de manejo em plantio direto e preparo convencional.

A área estava sendo cultivada com soja (*Glycine max* (L.) Merrill) por dez anos em monocultivo, sob PD. Após este período, antes da semeadura da soja, foram selecionados dois talhões: no primeiro, continuou-se com o PD; e no segundo, foi realizado o preparo do solo com auxílio de uma grade aradora na profundidade de aproximadamente 0,20 m. Nos últimos cinco anos, na área sob PD, a soja foi cultivada no verão e sucedida pelo milheto cultivado na safrinha.

No mês de setembro de 2005 (um mês antes da semeadura da soja), foi realizada uma adubação nos talhões com cloreto de potássio (KCl) na quantidade de 100 kg ha⁻¹, distribuídos a lanço. A adubação de plantio foi realizada com o adubo MAP 11-52-00, na quantidade de 150 kg ha⁻¹, distribuídos na linha de semeadura. A semeadura da soja foi realizada entre os dias 24 de outubro a 08 de novembro do ano 2005, utilizando a cultivar CD 219 RR. A colheita foi efetuada no dia 05

de março (talhão PC) e no dia 12 de março (talhão PD) do ano 2006.

As amostras de solo indeformadas foram coletadas com auxílio do amostrador de Uhland, nos dois talhões após a colheita mecanizada da soja, nas camadas de 0 - 0,10 m, 0,10 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m em locais que não apresentavam as marcas dos rodados da colhedora, para a determinação da densidade do solo (Ds), da microporosidade (MiP), da macroporosidade (MaP) e da porosidade total (Pt), conforme Embrapa.Cnps (1997).

A análise descritiva dos dados foi realizada para verificar a distribuição dos dados e a presença de pontos discrepantes (*outliers*) no conjunto de dados, pelo boxplot, provocados por erros na amostragem ou em laboratório, ou seja, pontos que afastam os dados da distribuição normal padrão, interferindo no cálculo das medidas de dispersão e posição (média, mediana, variância, desvio padrão, valores mínimos e máximos, coeficiente de variação, assimetria e curtose). Para análise da hipótese de normalidade dos dados, foi utilizado o teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) ($p \leq 0,05$). Os valores dos atributos físicos do solo nos dois sistemas e nas diferentes profundidades foram comparados pelo teste t-Student ($p \leq 0,05$).

A dependência espacial foi estudada usando as técnicas da geoestatística, conforme Vieira (2002), utilizando-se o *software* GS+ (ROBERTSON, 1998) para a determinação dos semivariogramas (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: $N(h)$ = número de pares de valores medidos; e $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$ valores medidos na posição x_i e $x_i + h$, separados por um vetor h (distância entre amostras).

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 ($C_0 + C$) e alcance (a). A escolha do modelo foi de acordo com a menor soma de quadrados dos resíduos (SQR), maior coeficiente de determinação múltipla (R^2) e da validação cruzada.

Verificada a dependência espacial entre os atributos físicos do solo, fez-se interpolação pelo método de krigagem ordinária para estimar valores em locais não amostrados, considerando *pixel* de 0,50 x 0,50 m.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da análise descritiva dos atributos físicos do solo nos dois sistemas de manejo e do teste t-Student entre as médias estão na Tabela 1. Todos os atributos avaliados nas três profundidades apresentaram distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) ($p \leq 0,05$). Não sendo, assim,

detectada, pelo boxplot, a presença de pontos discrepantes no conjunto de dados.

Os menores coeficientes de variação ocorreram no PC (2,6%) e no PD (2,7%) para a densidade do solo (Ds) e porosidade total (Pt) na profundidade de 20-40 cm, respectivamente. O atributo macroporosidade (MaP) no PC (23,0%) e no PD (37,3%) apresentou maior CV na profundidade de 0-10 cm. O coeficiente de variação, segundo classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), apresentou baixa variação (< 12%) para os atributos Ds, MiP e Pt (75% dos dados), e médio (12% < CV < 60%) para MaP (25% dos dados) nos dois sistemas de manejos avaliados e nas três profundidades; e nenhum atributo com alta variação (CV > 60%).

Pelo teste t-Student ($p \leq 0,05$) verificase na Tabela 1 que os valores de Ds diferem significativamente entre o PC e PD nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Apesar do baixo valor encontrado para Ds na camada superficial do solo no PD, esse resultado

corrobora com Canalli e Roloff (1997). O revolvimento do solo na profundidade de trabalho da grade aradora no PC contribuiu para a diminuição da Ds até a profundidade de mobilização do solo, que foi de 0,20 m. O mesmo comportamento não foi verificado na camada de 0,20-0,40 m. Em estudo desenvolvido por Da Ros et al. (1997) sobre sistemas de manejo de solo, durante cinco anos em Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, foi verificado que a menor densidade do solo ocorreu no PC em relação ao PD em três camadas entre 0 - 0,21 m. Guimarães (2000) também encontrou diferença significativa na Ds entre o manejo convencional (1,11 kg dm⁻³) e direto (1,20 kg dm⁻³) na profundidade de 0-20 cm em solo sob vegetação de cerrado. Neste trabalho, tanto no PC como PD, na profundidade de 20-40 cm, a Ds não apresentou diferença significativa, mostrando que nessa camada de solo o preparo não alterou a sua estrutura.

Tabela 1 – Estatística descritiva de atributos físicos do solo sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) nas três profundidades e do teste t.

Atributos	Média	Mediana	S	Valores		Coeficientes			Distr.
				Min.	Max	CV	C _s	C _k	
Profundidade de 0-0,10 m									
Ds (kg dm ⁻³) ¹	1,01b	1,01	0,04	0,94	1,11	4,0	0,29	-0,26	ns
Ds (kg dm ⁻³) ²	1,05a	1,05	0,06	0,95	1,18	5,71	0,39	-0,74	ns
MiP (%) ¹	42,29b	41,84	2,54	38,44	49,24	6,0	0,94	0,64	ns
MiP (%) ²	43,86a	44,45	3,06	37,92	50,47	6,98	-0,15	-0,50	ns
MaP (%) ¹	14,84a	15,01	3,41	7,38	21,29	23,0	-0,18	-0,29	ns
MaP (%) ²	11,79b	11,29	4,40	5,03	23,30	37,32	0,47	-0,23	ns
Pt (%) ¹	57,13a	57,20	1,95	52,43	61,12	3,4	-0,22	-0,13	ns
Pt (%) ²	55,65b	55,65	2,60	49,58	61,62	3,41	-0,36	0,04	ns
Profundidade de 0,10-0,20 m									
Ds (kg dm ⁻³) ¹	1,11b	1,12	0,05	1,00	1,19	4,5	-0,52	-0,30	ns
Ds (kg dm ⁻³) ²	1,13a	1,13	0,04	1,04	1,21	3,54	-0,11	0,09	ns
MiP (%) ¹	40,88b	40,7	1,83	38,10	47,28	4,5	1,45	3,14	ns
MiP (%) ²	42,46a	42,61	2,03	37,35	47,31	4,78	-0,06	0,35	ns
MaP (%) ¹	12,09a	12,05	2,15	8,96	19,89	17,8	1,09	2,58	ns
MaP (%) ²	9,52b	9,38	2,53	4,81	15,48	26,58	0,64	0,09	ns
Pt (%) ¹	52,97a	52,74	2,15	49,90	60,55	4,1	1,10	2,19	ns
Pt (%) ²	51,98b	52,00	1,56	48,51	56,31	3,00	0,43	0,88	ns
Profundidade de 0,20- 0,40 m									
Ds (kg dm ⁻³) ¹	1,15a	1,16	0,03	1,10	1,22	2,6	0,08	-0,67	ns
Ds (kg dm ⁻³) ²	1,14a	1,14	0,04	1,06	1,27	3,51	0,55	1,29	ns
MiP (%) ¹	38,72b	38,51	1,26	35,77	42,01	3,3	0,71	1,16	ns
MiP (%) ²	40,35a	39,83	2,38	36,08	46,30	5,90	0,42	0,08	ns
MaP (%) ¹	13,49a	13,53	1,85	9,36	17,73	13,7	-0,14	-0,22	ns
MaP (%) ²	11,52b	11,41	2,70	5,96	18,43	23,44	0,32	0,62	ns
Pt (%) ¹	52,21a	51,99	1,40	49,82	56,03	2,7	0,58	0,32	ns
Pt (%) ²	51,88a	51,94	1,46	48,80	54,92	2,81	0,04	-0,49	ns

¹ : Plantio convencional (PC); ²: Plantio direto (PD); S: Desvio padrão; Min: Valor mínimo; Max: Valor máximo; CV: Coeficiente de variação; C_s: Coeficiente de assimetria; C_k: Coeficiente de curtose; Distr. Tipo de distribuição dos dados; ns: não significativo, portanto, distribuição normal pelo teste Kolmogorov-Smirnov (p<0,05); Ds: Densidade do solo; MiP: Microporosidade; MaP: Macroporosidade e Pt: Porosidade total.

Para um determinado atributo em uma mesma profundidade em diferentes sistemas de manejo do solo, médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste t (p≤0,05).

A MiP apresentou no PC e no PD um decréscimo no seu valor com a diminuição da profundidade, em decorrência do aumento da Ds. Os maiores valores significativos da microporosidade (MiP) ocorreram nas três profundidades no PD em decorrência da ausência de revolvimento do solo (Tabela 1). Porém, Andreola, Costa e Olszewski (2000), não verificaram diferença para MiP entre PC e PD. Resultado inverso ocorreu para a macroporosidade (MaP) com maiores valores no PC em decorrência do preparo do solo, com resultados semelhantes aos observados por vários autores (TREINE; COGO; LEVIEN, 1991; GUIMARÃES, 2000; ALBUQUERQUE; SANGOL; ENDER, 2001; SPERA et al, 2004). A MaP apresentou valores baixos em todas as condições de estudo, segundo Arshad, Lower e Grossman (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, nos dois manejos, ocorreu da profundidade 0-10 cm para a de 10-20 cm, o que caracteriza solo compactado, refletindo no aumento da Ds.

Na análise espacial, os atributos apresentaram comportamentos diferentes em função do manejo do solo e da profundidade estudada (Tabela 2). O ajuste do modelo efeito pepita puro (EPP) ao semivariograma experimental para alguns atributos, em diferentes profundidades e nos manejos, indica a ausência de dependência espacial para distâncias maiores que a menor adotada na amostragem (5,0 m). Esse fato ocorreu,

em maior quantidade, nos atributos na profundidade de 20-40 cm independente do manejo adotado no solo, indicando distribuição aleatória.

No caso de ajuste ao modelo linear sem patamar (LIN), na profundidade de 10-20 cm para a MaP e a Pt, e de 20-40 cm para a Pt, foram realizadas análises de tendência com as direções x e y e trabalhou-se com os resíduos que, mesmo assim, não proporcionaram uma definição do patamar na escala adotada. Como não foi conseguido o ajuste esperado para satisfazer a hipótese intrínseca, não foram construídos os mapas temáticos para esses atributos.

No PC, na profundidade de 0-10 cm, os atributos Ds, MiP e Pt ajustaram-se ao modelo esférico com alcance de 11,1 m; 9,5 m e 10,9 m, respectivamente, indicando moderada dependência espacial para a Ds e a Pt e alta para a MiP e maior descontinuidade na distribuição espacial desses atributos na camada mais superficial, o que foi influenciado pelo revolvimento do solo, apresentando, assim, um mesmo padrão de distribuição espacial. O alcance é de fundamental importância para a interpretação dos semivariogramas. Ele indica a distância até onde os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance são mais semelhantes entre si, do que os separados por distâncias maiores (CARVALHO; SILVEIRA; VIEIRA, 2002).

Tabela 2 – Parâmetros de ajustes dos semivariogramas escalonados para os atributos físicos no preparo convencional (PC) e plantio direto (PD).

Parâmetros dos Semivariogramas								
Atributos	Modelos	Co	a (m)	Co+C	IDE	R ²	R-VC	Sig
Profundidade de 0-0,10 m								
Ds (kg dm ⁻³) ¹	ESF	0,29	11,1	1,07	73 M	77	29	< 0,05
Ds (kg dm ⁻³) ²	ESF	0,49	20,8	1,09	56 M	55	52	< 0,01
MiP (%) ¹	ESF	0,18	9,5	1,05	83 F	47	24	< 0,05
MiP (%) ²	EPP	0,95	-	0,95	-	-	-	-
MaP (%) ¹	EPP	0,95	-	0,95	-	-	-	-
MaP (%) ²	EXP	0,25	18,5	1,11	78 F	50	36	< 0,05
Pt (%) ¹	ESF	0,30	10,9	1,04	71 M	92	36	< 0,05
Pt (%) ²	LIN	0,48	-	1,50	68 M	69	-	-
Profundidade de 0,10-0,20 m								
Ds (kg dm ⁻³) ¹	EPP	1,00	-	1,00	-	-	-	-
Ds (kg dm ⁻³) ²	EXP	0,24	15,9	1,09	78 F	60	35	< 0,05
MiP (%) ¹	EPP	1,10	-	1,10	-	-	-	-
MiP (%) ²	EPP	0,98	-	0,98	-	-	-	-
MaP (%) ¹	LIN	0,79	-	1,34	60 M	38	-	-
MaP (%) ²	EPP	1,00	-	1,00	-	-	-	-
Pt (%) ¹	LIN	0,79	-	1,11	30 M	45	-	-
Pt (%) ²	EPP	0,98	-	0,98	-	-	-	-
Profundidade de 0,20-0,40 m								
Ds (kg dm ⁻³) ¹	ESF	0,21	16,5	1,08	81 F	80	35	< 0,05
Ds (kg dm ⁻³) ²	EPP	0,90	-	0,90	-	-	-	-
MiP (%) ¹	EPP	1,09	-	1,09	-	-	-	-
MiP (%) ²	EPP	1,30	-	1,30	-	-	-	-
MaP (%) ¹	EPP	1,00	-	-	-	-	-	-
MaP (%) ²	EPP	1,00	-	1,00	-	-	-	-
Pt (%) ¹	LIN	0,77	-	1,11	31 M	38	-	-
Pt (%) ²	EXP	0,29	14,4	1,11	74 M	61	37	< 0,05

¹Preparo convencional; ²: Plantio direto; EPP: Efeito pepita puro; ESF: Esférico; LIN: Linear; EXP: Exponencial; Co: Efeito pepita; a (m): Alcance; Co+C_i: Patamar; IDE: Índice de dependência espacial (F: forte e M: moderada); R²: Coeficiente de determinação do ajuste; R-VC: Coeficiente de correlação da validação cruzada; Sig: Nível de significância da validação cruzada; Ds: Densidade do solo; MiP: Microporosidade; MaP: Macroporosidade; e Pt: Porosidade total.

No PD ocorreu ajuste apenas do modelo esférico (ESF) para a Ds na profundidade de 0-0,10 m com um alcance de 20,8 m, indicando maior continuidade na área, isso foi influenciado pelo não revolvimento do solo por longo tempo e pelas pressões aplicadas ao

solo pelos rodados das máquinas. O modelo exponencial (EXP) ajustou-se aos atributos MaP na profundidade de 0-0,10 m, Ds de 0,10-0,20 m e Pt de 0,20-0,40 m.

O índice de dependência espacial (IDE) apresentou dependência de moderada

a alta para os atributos físicos do solo e com os valores do coeficiente de correlação da validação cruzada significativos a 1% e a 5% de probabilidade.

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 nos dois sistemas de manejo (Figuras 2, 3, 4 e 5). Verifica-se que as regiões de maiores valores de Ds na profundidade de 0-0,10 m no PC (Figura 2) correspondem também aos maiores valores de MiP e menores valores de Pt

(Figura 3), corroborando Azevedo (2004), que afirma que em solos argilosos a Pt varia entre 40% a 60%.

Em geral, observou-se aumento da MiP associado a um incremento da Ds, apesar de não ocorrer uma perfeita coincidência entre os mapas desses atributos físicos no PC. Na profundidade de 0-0,10 m no PD (Figura 4), verifica-se que a Ds é maior onde há menores valores de MaP (Figura 5), pois, isso se deve ao não revolvimento do solo na camada superficial.

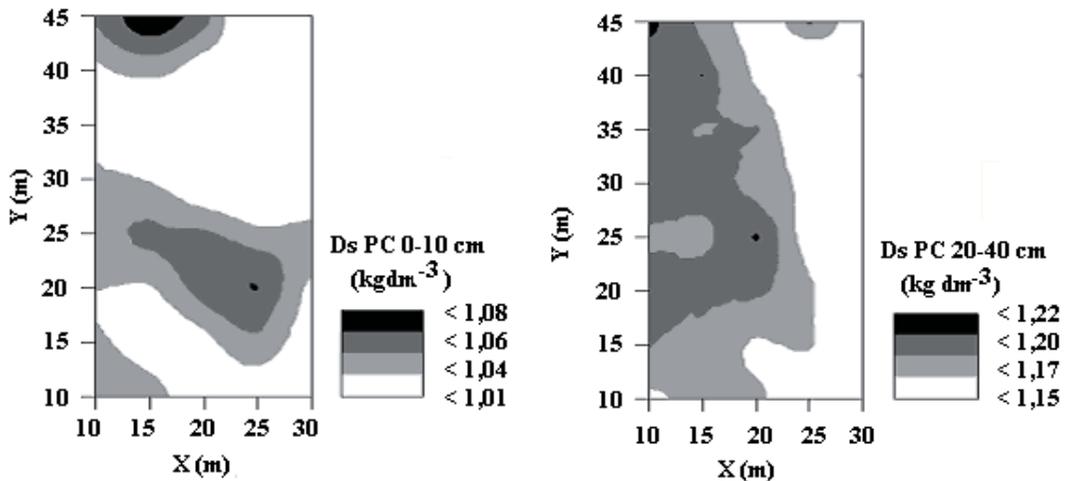


Figura 2 – Mapas da distribuição espacial da Ds (kg dm⁻³) nas profundidades de 0-10 cm e 20-40 cm no preparo convencional (PC).

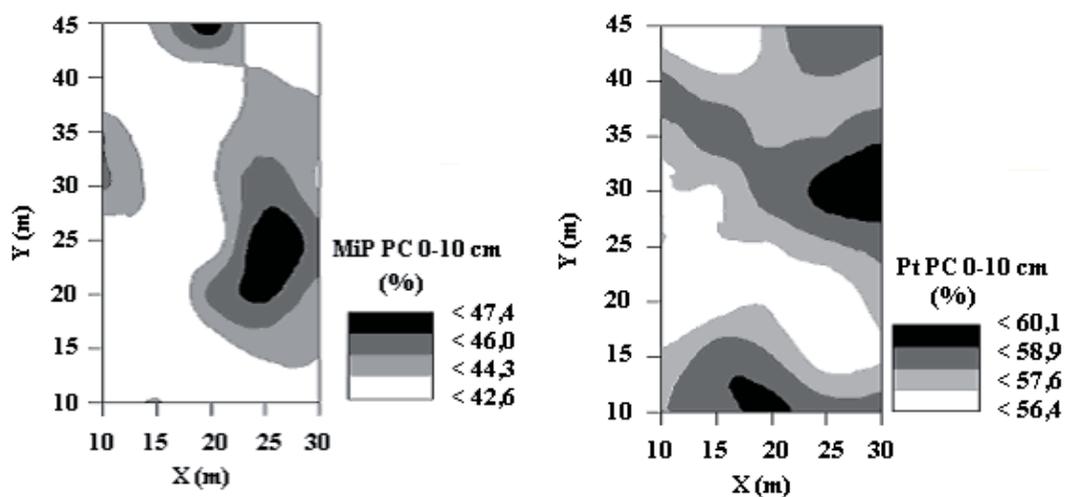


Figura 3 – Mapas da distribuição espacial da MiP(%) e Pt(%) na profundidade de 0-10 cm no preparo convencional (PC).

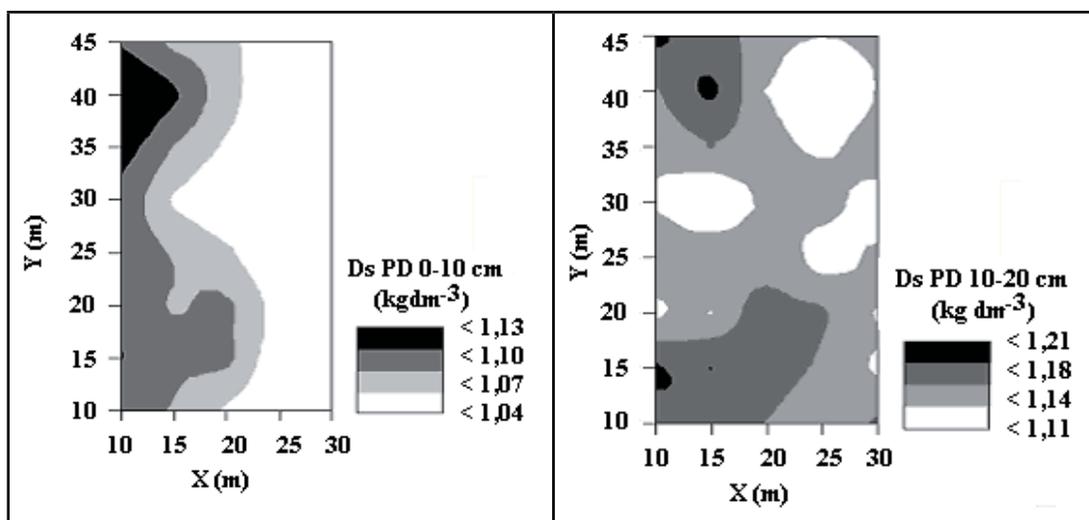


Figura 4 – Mapas da distribuição espacial da Ds (kg dm⁻³) na profundidade de 0-10 cm e 10-20 cm no plantio direto (PD).

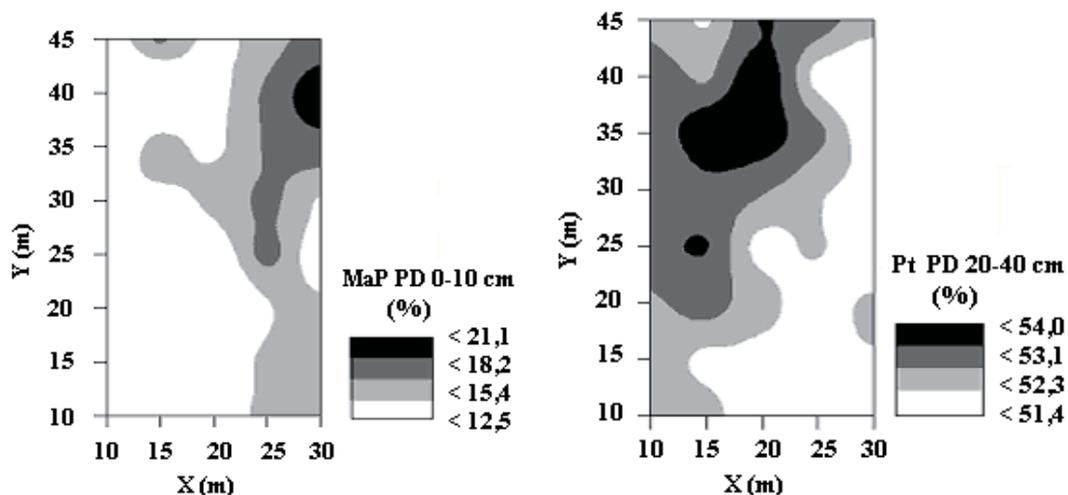


Figura 5 – Mapas da distribuição espacial da MaP (%) e Pt (%) no plantio direto nas profundidades de 0-10 cm e 20-40 cm, respectivamente.

4 CONCLUSÃO

- Na profundidade de 0-0,10 m na área de plantio direto, a densidade do solo (Ds) e a macroporosidade (MaP) apresentaram maior continuidade espacial, com maiores alcances encontrados, em relação à área que sofreu revolvimento do solo.
- Na profundidade de 0,10-0,20 m nos dois sistemas de manejo do solo, a distância mínima de 5 m entre os pontos de amostragens não foi suficiente para a determinação da dependência espacial dos atributos, com exceção para a densidade do solo no plantio direto.
- O uso de métodos geoestatísticos contribuiu para mostrar que o manejo adotado no solo influencia de forma diferente a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Análise de Solos e Folhas da FESURV – Universidade de Rio Verde – GO, pelo espaço físico para elaboração das atividades, e a Cooperativa Mista dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano (COMIGO) Rio Verde – GO, pela concessão da área de estudo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOL, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG), v.25, n. 3, p. 717-723, 2001.

- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG), 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 Science Society of America, 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*. 2004. 132 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Campinas, 2004.
- CANALLI, L.B.; ROLOFF, G. Influencia do prepare e da conservação do solo na condição hídrica de um latossolo vermelho-escuro sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG), v. 21, n.1, p. 1-6, 1997.
- CARVALHO, J. R.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo diferentes preparos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília (DF), v. 37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Avaliação da safra agrícola 2005/2006-oitavo levantamento*. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/safra/SojaSerieHist>>. Acesso em: 19 jul.2006.
- CRESSIE, N.A. *Statistics for spatial data*. New York: J. Wiley, 1991. 900p.
- DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A.; PASSA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG), v. 21, n. 3, p. 241-247, 1997.
- EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, DF: EMBRAPA. Serviço de Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.
- _____. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro: Solos, 1997. 212p.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG), v.21, n.2, 2005.

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*. 2000. 92 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Unicamp, Campinas, 2000.

KLINK, C.A.; MACHADO, R.B. *A conservação do cerrado brasileiro*. Disponível em: <http://www.conservation.org.br/publicacoes/megadiversidade/20_Klink_Machado.pdf>. Acesso em: 1 maio 2006.

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*. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2004. p.93-113.

ROBERTSON, G.P. *GS+ Geostatistics for the environmental sciences: GS+ User's Guide*. Plainwell: Gamma Design Software, 1998. 152 p.

SCHLINDWEIN, J.A.; GIANELLO, C. Necessidades de novos estudos de calibração e recomendação de fertilizantes para as culturas sob sistema plantio direto. *Revista Plantio Direto*, Passo Fundo, n.79, jan./fev. 2004.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P.; FONTANELY, R.S.; TOMM, G.O. Efeito de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG), v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

TREINE, C.R.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. *R. Bras. Ci. Solo*, Viçosa (MG), v. 15, n. 1, p.105-111, 1991.

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 (MG): Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.1, p.1-54.

WALTER, M.T. Bases de dados bibliográficos dos cerrados brasileiros: um projeto interinstitucional. *Ciência da Informação*, v.24, n.2, 1995. Disponível em: <www.ibict.br/cionline/include/getdoc.php?id=970&article=608&mode=pdf>. Acesso em: 30 abr.2006.

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, 1980. p.319-344.