



Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos

Eloiza G. S. Cavalcante¹, Marlene C. Alves², Zigomar M. de Souza³ & Gener T. Pereira⁴

RESUMO

O preparo de solo e as espécies vegetais têm expressivo efeito na variabilidade espacial do solo. Portanto, objetivou-se com este trabalho estudar a variabilidade espacial de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho do cerrado do Mato Grosso do Sul, sob diferentes usos e manejos. O solo foi amostrado em uma malha, com intervalos regulares de 2,0 m, perfazendo o total de 64 pontos, nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m para densidade do solo e nas profundidades de 0-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,45 m e 0,45-0,60 m para resistência do solo à penetração e teor de água no solo, em áreas com vegetação natural (cerrado), plantio direto, preparo convencional e pastagem. O maior coeficiente de variação e efeito pepita ocorreram para a resistência do solo à penetração. O sistema plantio direto apresentou maior alcance quando comparado com o do cerrado, preparo convencional e área com pastagem. As formas de uso e de manejo empregadas induziram, em ordem crescente, plantio direto, preparo convencional e pastagem à degradação dos atributos físicos do solo em relação ao cerrado.

Palavras-chave: agroecossistemas, preparo do solo, geoestatística, dependência espacial

Spatial variability of physical attributes of soil under different use and management conditions

ABSTRACT

The soil tillage and the vegetable species have expressive effect on spatial variability of soil. The objective of this work was to study the spatial variability of some physical attributes of savannah soil (Oxisol) of Mato Grosso do Sul, Brazil, under different management. The soil samples were collected in a grid, with regular intervals of 2.0 m, total of 64 points, in the depths of 0-0.10 m and 0.10-0.20 m for bulk density and in the depths 0-0.15 m; 0.15-0.30 m; 0.30-0.45 m and 0.45-0.60 m for the soil resistance to the penetration and soil water content, in the areas with native vegetation (savannah), no-tillage, conventional system and pasture. The greatest variability measured through the variation coefficient and nugget effect was observed for the soil resistance to penetration. The no-tillage showed major range when compared to native vegetation, conventional system and pasture. The uses and managements induce, in the crescent order of no-tillage, conventional system and pasture towards degradation of soil physical attributes in relation to native vegetation.

Key words: agroecosystems, soil tillage, geostatistics, spatial dependence

¹ Mestranda do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos/UNESP. Campus de Ilha Solteira, SP, CP 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira, SP. Bolsista da FAPESP. E-mail: cavalcante@agr.feis.unesp.br

² Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos/UNESP. E-mail: mcalves@agr.feis.unesp.br

³ Departamento de Água e Solos/UNICAMP, Campinas, SP. E-mail: zigomarms@agr.unicamp.br

⁴ Departamento de Ciências Exatas/UNESP, Jaboticabal, SP. E-mail: genertp@fcav.unesp.br

INTRODUÇÃO

Em uma área cultivada existem, além da variabilidade natural, fontes adicionais de heterogeneidade no solo, por causa do manejo exercido pelo homem, das mais variadas formas (Camargo et al., 2010). Tais variações influenciam principalmente no acúmulo de material orgânico, no movimento de água no solo, na compactação do solo e na erosão hídrica (Souza et al., 2006; Novaes Filho et al., 2007). Áreas pedologicamente idênticas podem apresentar variabilidade distinta em atributos, quando submetidas às diferentes práticas de manejo (Corá et al., 2004).

Dentre os atributos físicos utilizados para avaliar a qualidade física do solo, a densidade do solo e a resistência do solo à penetração têm sido priorizadas atualmente para avaliar sistemas de uso e manejo, por serem atributos diretamente relacionados ao crescimento das plantas e de fácil determinação (Lima et al., 2006). Ainda a resistência do solo à penetração apresenta maiores correlações com o crescimento radicular, destacando-se como a melhor estimativa do impedimento mecânico ao crescimento radicular (Carvalho et al., 2006) e como indicador mais sensível à compactação do solo (Freddi et al., 2009), comparado com a densidade do solo.

Uma propriedade intrínseca aos solos é a sua heterogeneidade. Assim, o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em determinada área é importante para o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (Cambardella et al., 1994), como é significativa para a definição da intensidade de amostragem do solo com vista à sua caracterização possibilitando, desta maneira, reduzir o erro padrão da média, maximizando a eficiência da amostragem e reduzindo os custos e mão de obra do trabalho.

A variabilidade espacial de solos sempre existiu e deve ser considerada toda vez em que a amostragem de campo for efetuada, pois pode indicar locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao manejo, sem prejuízo para a representatividade, possibilitando maior detalhamento da área (Vieira, 2000). Dentro deste contexto a geoestatística é uma ferramenta eficaz para o estudo da variabilidade espacial dos solos. Para isto, é conveniente que seja feita uma amostragem representativa da área, para que se possa obter dados com valores que, realmente, correspondam à realidade da parcela.

Diversos estudos demonstram que a variabilidade da densidade do solo, resistência do solo à penetração e o teor de água no solo, não ocorrem ao acaso, mas apresentam correlação ou dependência espacial (Souza et al., 2004; 2006; Roque et al., 2008; Schaffrath et al., 2008). Para diferentes condições de teores de água no solo, distintos comportamentos da variabilidade espacial da resistência do solo à penetração, foram observados por Souza et al. (2006).

A modelagem geoespacial permite a descrição quantitativa da variabilidade espacial dos atributos do solo e a estimativa não tendenciosa e com variância mínima de valores desses atributos em locais não amostrados (Vieira, 2000). Acessar esta variabilidade faz da geoestatística uma ferramenta eficiente de suporte à decisão no manejo do solo, da água e das culturas. As intervenções para corrigir variações indesejáveis da oferta de nutrientes, água ou mesmo de manejo, passam a ser balizadas

por mapas de isovalores das variáveis de interesse.

Neste sentido se desenvolveu este trabalho com o objetivo de estudar a variabilidade espacial de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho do cerrado do Mato Grosso do Sul, sob diferentes usos e manejos.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda de Ensino e Pesquisa da Faculdade de Engenharia, em 1998, no campus de Ilha Solteira, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, situada na margem direita do rio Paraná, no município de Selvíria, MS, localizado nas coordenadas geográficas 20° 22' de latitude sul e 51° 22' de longitude oeste, numa altitude média de 335 m. O tipo climático, segundo Köppen, é Aw, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, estando a umidade relativa dos meses mais chuvosos entre 60 e 80%. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico argiloso A moderado hipodistrófico, álico, caulínítico, férrico, compactado, muito profundo, moderadamente ácido (LVd).

A área com vegetação natural onde predominam as formas arbustivas em solo profundo e pouco fértil, conhecida como cerrado, foi desmatada em 1978, sendo que os quatro tratamentos estudados foram implantados nesta área. Em 1978 ocorreu o plantio da área com pastagem, a instalação da área com preparo convencional ocorreu em 1980 e a implantação do sistema plantio direto aconteceu em 1990. O plantio direto, com 8 anos de manejo, apresentou sequência de culturas com leguminosas e gramíneas, tais como feijão (*Phaseolus vulgaris*), milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine Max* (L) Merrill) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schieb). O manejo de plantas invasoras foi efetuado com herbicidas. O preparo convencional, realizado há 18 anos, constou de gradagem pesada (aradora) e gradagem leve (niveladora), com cultivo de culturas anuais (milho no verão e feijão no inverno) até 1990, sendo essas mesmas culturas implantadas em seguida, no plantio direto. Efetuou-se a calagem antes da instalação dos sistemas plantio direto e preparo convencional, com o objetivo de elevar a saturação por bases a 60%. As culturas de feijão, milho e soja receberam adubação anual de 200 kg ha⁻¹ da fórmula 4-30-10, enquanto a área de pastagem (*Brachiaria decumbens*) só recebeu calagem e adubação na implantação e reformas, área com 20 anos de cultivo.

A amostragem dos atributos físicos do solo estudado foi realizada nos pontos de cruzamento de uma malha regular, com intervalos regulares de 2,0 m, perfazendo o total de 64 pontos (14 x 14), sendo coletada uma amostra por ponto (Figura 1), nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m para a densidade do solo, e nas profundidades de 0,00-0,15, 0,15-0,30 m, 0,30-0,45 m e 0,45-0,60 m, para a resistência do solo à penetração e teor de água do solo. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Obteve-se o teor de água no solo pelo método gravimétrico em amostras deformadas (EMBRAPA, 1997). A resistência do solo à penetração foi avaliada usando-se o penetrógrafo mecânico (modelo Penetrographer PAT SC 60 – SOILCONTROL).

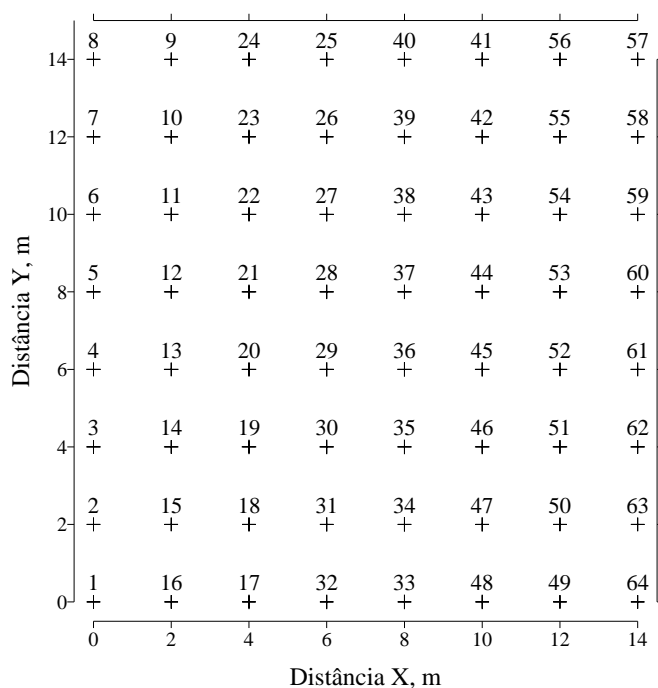


Figura 1. Esquema de amostragem nos diferentes sistemas de usos e manejos do solo

Os atributos físicos do solo foram analisados por meio da análise estatística descritiva e de técnicas geoestatísticas. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997). A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas (Vieira, 2000), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual é estimada por:

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

em que $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por uma distância h . O semivariograma é representado pelo gráfico $\hat{\gamma}(h)$ versus h . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$, são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; patamar, $C_0 + C_1$ e o alcance, a).

Os modelos de semivariogramas considerados foram o esférico, o exponencial, o linear e o gaussiano (Vieira, 2000). Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos químicos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm efeito pepita = 25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca > 75%. Esses modelos foram ajustados por meio do programa GS+. Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada e menor SQR (soma de quadrados do resíduo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A resistência do solo à penetração apresentou valores variando de alto a muito alto, de acordo com Soil Survey Staff (1993), nas profundidades de 0-0,15 m e 0,15-0,30 m, para o sistema plantio direto, preparo convencional e área com pastagem (Tabela 1). Ainda que o teor de água no solo estivesse próximo da capacidade de campo (0,17-0,20 kg kg⁻¹), com exceção da área com pastagem que teve o teor de água abaixo da capacidade de campo, os valores de resistência do solo à penetração encontrados poderiam limitar o rendimento vegetal. O preparo do solo por aração e gradagem com uso frequente de cultivadores é realizado, na maioria das vezes, fora das condições ideais de umidade, traduzindo-se em diminuição da eficiência de insumos aplicados e na degradação do solo.

Valores de resistência do solo à penetração de 2,0 a 4,0 MPa, segundo Tavares Filho & Tessier (2009), podem restringir, ou mesmo impedir, o crescimento e o desenvolvimento das raízes, porém a compactação do solo é mais prejudicial em solo seco, sendo que em condições de maior conteúdo de água pode haver crescimento radicular em valores de resistência do solo à penetração superiores a 4,0 MPa. De acordo com Cunha et al. (2007), altos valores de resistência do solo à penetração são admitidos em plantio direto.

Os valores médios da densidade do solo variaram de 1,18 a 1,58 kg dm⁻³, com os maiores valores ocorrendo em ordem decrescente, na área com pastagem, sistema plantio direto, preparo convencional e cerrado (Tabela 2). Segundo Nicoloso et al. (2008), valores elevados de densidade do solo restringem o crescimento radicular em solo argiloso. Assis & Lanças (2005), avaliando os atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo, observaram que o tempo de adoção no sistema plantio direto não promoveu modificações na distribuição de poros por tamanho e densidade do solo; somente no sistema plantio direto com 12 anos ocorreram melhorias em relação ao preparo convencional. As maiores alterações foram encontradas no solo sob pastagem, elevada resistência do solo à penetração e densidade do solo em função do elevado grau de degradação da área com pastagem.

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov, indicaram normalidade no cerrado para o teor de água no solo, na profundidade de 0,30-0,45 m (Tabela 1), para o preparo convencional na profundidade de 0,15-0,30 m, para a resistência do solo à penetração e teor de água no solo, na área com pastagem na profundidade de 0-0,15 m, para a resistência do solo à penetração e na profundidade de 0,15-0,30 m para a resistência do solo à penetração e teor de água no solo e no sistema plantio direto na profundidade de 0-0,15 m para a resistência do solo à penetração e teor de água no solo e na profundidade de 0,30-0,45 m para a resistência do solo à penetração. Carvalho et al. (2002) utilizaram a geoestatística na determinação da variabilidade espacial de atributos do solo e verificaram que 40% das 30 combinações possíveis (cinco variáveis, duas profundidades e três sistemas de preparo) apresentaram valores de assimetria e curtose não compatíveis com a distribuição normal.

Valor de assimetria até 0,5 é um indicativo de que determinado atributo apresente distribuição normal sendo

Tabela 1. Estatística descritiva para resistência do solo à penetração (MPa) e teor de água no solo (kg kg⁻¹) de amostras coletadas na malha, nas profundidades de 0-0,15 m, 0,15-0,30 m, 0,30-0,45 m e 0,45-0,60 m, em diferentes uso e manejo do solo

Estatística*	Profundidade (m)							
	0-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45	0,45-0,60	0,00-0,15	0,15-0,30	0,30-0,45	0,45-0,60
Resistência do solo à penetração (MPa)								
	Cerrado				Plantio Direto			
Média	0,63	0,73	0,62	0,65	3,76	4,03	2,80	2,19
Mediana	0,69	0,69	0,65	0,64	3,95	4,21	2,76	2,14
Mínimo	0,22	0,59	0,39	0,2	2,06	1,18	1,27	1,27
Máximo	1,08	0,98	0,88	1,18	5,68	5,45	5,68	4,70
Variância	0,04	0,009	0,014	0,05	1,21	2,32	1,09	0,66
Assimetria	-0,18	0,41	-0,45	0,38	-0,26	-0,38	0,19	0,53
Curtose	-0,32	-0,03	-0,47	0,09	-1,03	-0,94	-0,05	-0,006
CV	37,16	27,40	36,64	32,30	39,25	30,46	37,60	28,92
d	0,22	0,21	0,24	0,18	0,12 ^{ns}	0,28	0,09 ^{ns}	0,27
	Preparo Convencional				Pastagem			
Média	4,53	4,46	1,47	1,12	4,46	3,58	1,73	1,30
Mediana	2,47	2,47	1,48	1,08	4,40	3,64	1,67	1,26
Mínimo	0,39	1,35	0,78	0,69	2,35	0,20	0,88	0,59
Máximo	2,84	1,68	2,16	1,96	6,17	4,12	2,94	2,35
Variância	0,16	0,006	0,09	0,10	0,69	0,78	0,18	0,17
Assimetria	0,70	0,72	0,43	0,96	0,01	-0,14	0,34	0,91
Curtose	1,02	1,18	0,006	0,66	-0,22	-0,24	-0,38	0,60
CV	26,14	28,39	35,41	29,57	35,45	36,10	36,35	37,66
d	0,21	0,10 ^{ns}	0,25	0,27	0,08 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,26	0,29
Teor de água no solo (kg kg ⁻¹)								
	Cerrado				Plantio Direto			
Média	0,16	0,17	0,18	0,18	0,20	0,23	0,24	0,24
Mediana	0,16	0,18	0,17	0,18	0,21	0,22	0,24	0,23
Mínimo	0,15	0,15	0,17	0,17	0,15	0,18	0,21	0,21
Máximo	0,19	0,19	0,22	0,22	0,26	0,29	0,29	0,29
Variância	0,0001	6,82 E ⁻⁰⁵	4,28 E ⁻⁰⁵	6,89 E ⁻⁰⁵	0,0005	0,0007	0,0004	0,0004
Assimetria	0,39	-0,24	0,33	0,14	0,42	0,76	0,92	0,75
Curtose	-0,16	0,30	0,52	-0,45	-0,35	0,18	1,05	0,81
CV	6,25	4,95	5,15	7,12	10,12	11,15	9,75	9,95
d	0,20	0,26	0,12 ^{ns}	0,22	0,11 ^{ns}	0,19	0,22	0,23
	Preparo Convencional				Pastagem			
Média	0,17	0,19	0,20	0,21	0,13	0,14	0,14	0,13
Mediana	0,16	0,20	0,21	0,22	0,11	0,11	0,12	0,12
Mínimo	0,14	0,17	0,18	0,19	0,04	0,08	0,10	0,11
Máximo	0,18	0,21	0,21	0,23	0,12	0,12	0,14	0,15
Variância	8,71 E ⁻⁰⁵	5,62 E ⁻⁰⁵	6,49 E ⁻⁰⁵	3,47 E ⁻⁰⁵	7,61 E ⁻⁰⁵	6,96 E ⁻⁰⁵	0,0001	9,29 E ⁻⁰⁵
Assimetria	-0,26	-0,33	0,05	-0,43	0,02	0,08	0,21	0,52
Curtose	-0,57	-0,09	-0,77	-0,29	-0,26	0,18	-1,10	0,43
CV	7,45	6,30	4,78	7,15	9,45	9,12	8,54	10,13
d	0,18	0,10 ^{ns}	0,19	0,21	0,26	0,12 ^{ns}	0,23	0,25

* CV - Coeficiente de variação

dispensada a transformação logarítmica para normalização dos dados; valores entre 0,5 e 1,0 necessitam de análise por meio de seus quadrados mínimos para averiguar tendência de uma distribuição lognormal e valores de assimetria maiores que 1,0 necessitam de transformação logarítmica para apresentarem distribuição normal (Webster, 2001). Observa-se, nas Tabelas 1 e 2 que, para todos os atributos físicos estudados, não há necessidade de transformação dos dados para obtenção de uma distribuição normal, de acordo com os valores estabelecidos por Webster (2001).

Os valores da média e mediana para todas as variáveis estão próximos, mostrando distribuições simétricas, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria próximos de zero (Tabelas 1 e 2). De acordo com Diggle & Ribeiro (2007), o coeficiente de assimetria e curtose são mais sensíveis a valores extremos do que a média, mediana e o desvio padrão, uma vez

que um único valor pode influenciar fortemente o coeficiente de assimetria e curtose, pois os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência.

De acordo com a classificação do coeficiente de variação (CV), proposta por Warrick & Nielsen (1980), a densidade do solo nas profundidades de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m e o teor de água no solo nas profundidades estudadas, apresentaram baixo CV (< 12 %) em todos os sistemas de usos estudados (Tabelas 1 e 2). Para a resistência do solo à penetração foi constatado CV alto (> 24 %) para todos os sistemas e profundidades estudadas. Altos coeficientes para resistência do solo à penetração e baixos para densidade do solo e teor de água no solo, também foram constatados por Souza et al. (2004) e Santos et al. (2005).

Segundo Nogueira (2007), um coeficiente de variação maior que 35% revela que a série é heterogênea e a média tem pouco

Tabela 2. Estatística descritiva e modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para densidade do solo (kg dm^{-3}) de amostras coletadas na malha, nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, em diferentes uso e manejo do solo

Estatística*	Profundidade (m)							
	0-0,10		0,10-0,20		0-0,10		0,10-0,20	
	Cerrado		Plantio Direto		Preparo Convencional		Pastagem	
Média	1,18	1,21	1,38	1,40	1,41	1,44	1,54	1,58
Mediana	1,19	1,23	1,43	1,44	1,27	1,42	1,51	1,55
Mínimo	1,06	1,06	1,10	1,11	1,04	1,10	1,43	1,2
Máximo	1,29	1,45	1,51	1,46	1,45	1,65	1,66	1,62
Variância	0,004	0,008	0,007	0,01	0,007	0,02	0,004	0,005
Assimetria	-0,17	-0,12	-0,16	0,28	0,36	-0,39	-0,74	-0,33
Curtose	-0,95	-0,48	0,13	-0,85	-0,51	-0,36	0,79	0,58
CV	5,08	7,22	6,82	8,73	7,14	9,21	4,75	4,17
d	0,21	0,23	0,24	0,22	0,19	0,20	0,18	0,21
Modelo	Exp	Exp	Esf	Esf	Esf	Esf	Esf	Esf
Efeito pepita (C_0)	0,0008	0,0002	0,0005	0,005	0,0004	0,003	0,0004	0,001
Patamar (C_0+C_1)	0,004	0,0008	0,003	0,02	0,002	0,01	0,0008	0,004
Alcance (a)	5,5	5,5	9,0	9,4	4,7	5,1	6,1	6,2
$[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$	20	25	17	25	20	30	5	25
VC	56	58	60	55	55	61	59	56
R ²	0,95	0,91	0,98	0,93	0,87	0,92	0,96	0,92

Tabela 3. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para resistência do solo à penetração (MPa) e teor de água no solo (kg kg^{-1}) de amostras coletadas na malha, nas profundidades de 0,00-0,15 m, 0,15-0,30 m, 0,30-0,45 m e 0,45-0,60 m, em diferentes uso e manejo do solo

Parâmetro*	Profundidade (m)							
	0-0,15		0,15-0,30		0,30-0,45		0,45-0,60	
	Resistência do solo à penetração (MPa)							
	Cerrado				Plantio Direto			
Modelo	Exp	Esf	Exp	Exp	Esf	Esf	Esf	Esf
Efeito pepita (C_0)	0,009	0,002	0,003	0,01	0,36	0,49	0,54	0,07
Patamar (C_0+C_1)	0,03	0,01	0,01	0,04	1,48	3,99	1,46	0,19
Alcance (a)	5,82	4,56	4,70	5,75	9,95	10,15	8,42	10,66
$[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$	30	20	30	25	24	12	37	37
VC	65	63	65	49	58	58	61	49
R ²	0,89	0,95	0,92	0,95	0,98	0,97	0,97	0,92
	Preparo Convencional				Pastagem			
Modelo	Esf	Exp	Esf	Esf	Esf	Esf	Esf	Exp
Efeito pepita (C_0)	0,08	0,001	0,01	0,02	0,52	0,14	0,04	0,03
Patamar (C_0+C_1)	0,16	0,006	0,07	0,11	1,25	0,85	0,20	0,12
Alcance (a)	6,91	6,83	4,64	4,33	6,41	5,32	4,75	5,83
$[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$	50	17	14	18	42	16	20	25
VC	55	63	58	60	65	71	59	52
R ²	0,89	0,83	0,96	0,75	0,95	0,96	0,85	0,96
	Teor de água no solo (kg kg^{-1})							
	Cerrado				Plantio Direto			
Modelo	Esf	Esf	EPP	Esf	Esf	Esf	Esf	Esf
Efeito pepita (C_0)	0,00003	0,00001	0,003	0,00003	0,00005	0,0001	0,00001	0,0001
Patamar (C_0+C_1)	0,0001	0,00006	-	0,00007	0,0006	0,0008	0,00004	0,0004
Alcance (a)	6,62	4,84	-	6,02	10,41	9,52	10,51	9,23
$[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$	30	17	-	43	8	13	25	25
VC	56	62	-	52	51	59	70	58
R ²	0,92	0,96	-	0,90	0,97	0,98	0,96	0,97
	Preparo Convencional				Pastagem			
Modelo	Esf	Esf	Exp	Exp	Esf	Exp	Esf	Esf
Efeito pepita (C_0)	0,00002	0,00002	0,00002	0,00001	0,00002	0,00002	0,00001	0,00002
Patamar (C_0+C_1)	0,00008	0,00006	0,00006	0,00003	0,00008	0,00008	0,0001	0,0001
Alcance (a)	4,05	6,52	6,53	5,51	4,26	6,35	7,51	5,89
$[C_0/(C_0+C_1)] \times 100$	25	33	33	33	25	25	10	20
VC	58	58	51	55	60	59	54	59
R ²	0,85	0,76	0,91	0,84	0,78	0,91	0,96	0,95

LITERATURA CITADA

significado; se for maior que 65%, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum, porém se for menor que 35% a série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida. Desta forma, pode-se dizer que a resistência do solo à penetração no cerrado e no sistema plantio direto nas profundidades de 0-0,15 m e 0,30-0,45 m, o preparo convencional na profundidade de 0,30-0,45 m e a área com pastagem em todas as profundidades estudadas, apresentaram série de dados heterogêneos e a média tem pouco significado.

Os resultados da análise geoestatística mostraram que todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial (Tabelas 2 e 3), com exceção do teor de água no solo na profundidade de 0,30-0,45 m no cerrado, que indicou efeito pepita puro sinalizando, segundo Vieira (2000), variabilidade não explicada, que pode ser devida a erros de medida e microvariações não detectadas, considerando-se a distância de amostragem utilizada. Todos os semivariogramas se ajustaram aos modelos esférico e exponencial.

A análise da relação $C_0/(C_0+C_1)$ de todas as variáveis em estudo mostrou grau de dependência espacial forte e moderado para os diferentes usos e manejos estudados (Tabelas 2 e 3). A distribuição dos atributos físicos no espaço não é aleatória, uma vez que todos apresentaram valores moderados ou fortes para o grau de dependência espacial. A resistência do solo à penetração apresentou valor de coeficiente de variação (CV) e efeito pepita (C_0) elevado, quando comparada com aos demais atributos físicos em estudo, mostrando maior descontinuidade entre as amostras. Vieira (2000) ressalta que quanto maior o efeito pepita maior a descontinuidade entre as amostras.

Os maiores alcances foram observados no plantio direto (Tabelas 2 e 3), mostrando que o sistema de manejo conservacionista cria, ao longo do tempo, uma estabilização maior quando comparado com o preparo convencional, que promove um tráfego intenso e grande mobilização do solo. O valor do alcance está contrariando o conceito de que, quanto mais intensamente cultivado, mais homogêneos ficariam os atributos devido ao seu manejo químico e físico, porém o que se verifica é que o plantio direto, que apresenta menor intensidade de mobilização do solo em relação ao preparo convencional, é mais homogêneo.

CONCLUSÕES

1. As formas de uso e de manejo empregadas induziram, em ordem crescente, plantio direto, preparo convencional e pastagem à degradação dos atributos físicos do solo, em relação ao cerrado.

2. O maior coeficiente de variação e efeito pepita ocorreram para a resistência do solo à penetração.

3. O sistema plantio direto apresentou maior alcance quando comparado ao do cerrado, preparo convencional e área com pastagem.

- Assis, R. L.; Lanças, K. P. Avaliação da compressibilidade de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.507-514, 2005.
- Camargo, L. A.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T. Spatial variability of physical attributes of an alfisol under different hillslope curvatures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.617-630, 2010.
- Cambardella, C. A.; Moonman, 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*, v.58, p.1501-1511, 1994.
- Carvalho, G. J.; Carvalho, M. P.; Freddi, O. S.; Martins, M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.765-771, 2006.
- 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*, v.37, p.1151-1159, 2002.
- Corá, J. E.; Araújo, A. V.; Pereira, G. T.; Beraldo, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.1013-1021, 2004.
- Cunha, E. Q.; Balbino, L. C.; Stone, L. F.; Leandro, W. M.; Oliveira, G. C. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.665-667, 2007.
- Diggle, P. J.; Ribeiro, J. R. *Model-based geostatistics*. New York: Springer, 2007. 228p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212p.
- Freddi, O. S.; Centurion, J. F.; Duarte, A. P.; Peres, F. S. C. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. II - Intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.805-818, 2009.
- Lima, C. L. R.; Silva, A. P.; Imhoff, S. C.; Leão, T. P. Estimativa da capacidade de suporte de carga do solo a partir da avaliação da resistência à penetração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.217-223, 2006.
- Nicoloso, R. S.; Schneider, S.; Lanzanova, M. E.; Girardello, V. C.; Bragagnolo, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1723-1734, 2008.
- Nogueira, M. C. S. Experimentação agrônômica I. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. 463p.
- Novaes Filho, J. P.; Couto, E. G.; Oliveira, V. A.; Johnson, M. S.; Lehmann, J.; Riha, S. S. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia meridional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.91-100, 2007.

- Roque, W. R.; Matsura, E. E.; Souza, Z. M.; Bizari, D. R.; Souza, A. L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1827-1835, 2008.
- Santos, P. A.; Carvalho, M. P.; Freddi, O. S.; Kitamura, A. E.; Freitag, E. E.; Vanzela, L. S. Correlação linear e espacial entre o rendimento de grãos do feijoeiro e a resistência mecânica à penetração em um Latossolo Vermelho Distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.287-295, 2005.
- Schaffrath, V. R.; Tormena, C.A.; Fidalski, J.; Gonçalves, A. C. A. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.1369-1377, 2008.
- Schlotzhaver, S. D.; Littell, R. C. SAS: System for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 905p.
- Soil Survey Staff. Soil survey manual. Washington: USDA-SCS. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437p. Handbook, 18
- Souza, Z. M.; Campos, M. C. C.; Cavalcante, I. H. L.; Marques Júnior, J.; Cesarin, L. G.; Souza, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v.36, p.128-134, 2006.
- Souza, Z. M.; Marques Júnior, J.; Pereira, G. T.; Bento, M. J. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.51-58, 2004.
- Tavares Filho, J.; Tessier, D. Compressibility of oxisol aggregates under no-till in response to soil water potential. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1525-1533, 2009.
- Vieira, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R. F.; Alvarez, V. H.; Schaefer, C. E. G. R. (eds). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-53.
- Warrick, A. W.; Nielsen, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (ed). *Applications of soil physics*. New York: Academic, 1980. cap. 2, p.319-344.
- Webster, R. Statistics to support soil research and their presentation. *European Journal of Soil Science*, v.52, p.331-340, 2001.