



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

Gomes Silva Cavalcante, Eloiza; Alves, Marlene Cristina; Menezes de Souza, Zigomar; Pereira, Gener
Tadeu

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS E
MANEJOS

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 31, núm. 6, 2007, pp. 1329-1339
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214061012>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS SOLO SOB DIFERENTES USOS E MANEJOS⁽¹⁾

Eloiza Gomes Silva Cavalcante⁽²⁾, Marlene Cristina Alves⁽³⁾,
Zigomar Menezes de Souza⁽⁴⁾ & Gener Tadeu Pereira⁽⁵⁾

RESUMO

O uso e manejo do solo e da cultura são importantes condicionadores da variabilidade de atributos do solo. O trabalho foi desenvolvido em Selvíria (MS), com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial do pH, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e saturação por bases (V) em Latossolo Vermelho sob diferentes usos e manejos. Os solos foram amostrados em malha, com intervalos regulares de 2 m, perfazendo o total de 64 pontos, nas profundidades de 0,0–0,1 e 0,1–0,2 m, nas seguintes áreas: vegetação natural (Cerrado), plantio direto, plantio convencional e pastagem. As maiores variabilidades, medidas por meio do coeficiente de variação, foram observadas para K, Mg e Ca; o pH apresentou o menor coeficiente de variação nos diferentes usos e manejo do solo, e o atributo V, coeficiente de variação médio. Os sistemas preparo convencional e pastagem apresentaram os menores alcances quando comparado aos sistemas Cerrado e plantio direto.

Termos de indexação: preparo do solo, amostragem, geoestatística, agroecossistemas, Latossolo.

SUMMARY: SPATIAL VARIABILITY OF CHEMICAL ATTRIBUTES OF A SOIL UNDER DIFFERENT USES AND MANAGEMENTS

The use and management of soil and crop condition the variability of soil attributes directly. This study was conducted in Selvíria-MS, Brazil with the objective of evaluating

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, financiada pela FAPESP. Recebido para publicação em maio de 2006 em julho de 2007.

⁽²⁾ Mestranda do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista – UNIP – Postal 31, CEP 15385-000 Ilha Solteira (SP). E-mail: cavalcante@agr.feis.unesp.br

⁽³⁾ Professora Livre Docente da Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, UNESP. E-mail: mcalves@agr.feis.unesp.br

⁽⁴⁾ Professor da Faculdade de Engenharia Agrícola, Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista – UNIP –

the spatial variability of pH, potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and base saturation (% BS) in an Oxisol under different use and management conditions. Soil samples were collected in a grid, in regular 2 m intervals, at 64 grid points, at depths of 0.0–0.1 m and 0.1–0.2 m, from areas of: native cerrado vegetation (savannah), annual crops under no-tillage, annual crops under conventional tillage, and pasture. The highest variabilities, as determined by the coefficient of variation, were observed for K, Mg and Ca, while the lowest coefficient of variation was found for pH in the different uses and management conditions. A medium coefficient of variation was observed for the %BS. The ranges of soils under conventional tillage and pasture systems were smaller than those under native vegetation and no-tillage.

Index terms: tillage, sampling, geostatistics, agroecosystems, Oxisol.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da variabilidade dos atributos do solo sob diferentes usos e manejos constitui-se numa importante meta para que se possa empregar manejo mais adequado, considerando a aplicação de fertilizantes, estratégias de amostragem e planejamento de delineamento de pesquisa em campo (Bhatti et al., 1991). A variabilidade espacial dos solos surge desde a sua formação e continua após eles atingirem estado de equilíbrio dinâmico. Por ser o solo um sistema extremamente heterogêneo, o conhecimento de sua variabilidade espacial é imprescindível, devendo ser considerado no momento da amostragem. Devido às várias combinações a que estão sujeitos os elementos do solo e às constantes reações químicas que ocorrem na solução do solo, os atributos químicos apresentam maior variação do que os físicos e, consequentemente, necessitam de maior número de amostras para estimá-los dentro da mesma área (Beckett & Webster, 1971; Jacob & Klutte, 1976).

O uso do solo, com o passar do tempo, conduz a aumento na sua heterogeneidade, por meio dos processos de desmatamento, preparo do solo, rotações de cultura, localização de aplicação de fertilizantes; como estes são aplicados em faixas ou em linhas, isso faz com que o sistema de amostragem varie consideravelmente. Segundo Salviano et al. (1998), os sistemas de manejo conservacionistas criam ambiente no solo diferente daquele encontrado no sistema convencional, resultante dos efeitos dos resíduos superficiais e da reduzida movimentação do solo sobre os atributos físicos, químicos e biológicos. Portanto, em estudos agronômicos do sistema solo-água-planta deve-se considerar a variabilidade dos solos, pois os fatores e processos de sua formação que atuaram ao longo do tempo imprimiram-lhe variabilidades naturais; estas, somadas ao manejo realizado pelo homem, acentuam a variabilidade dos atributos do solo (Albuquerque et al., 1996).

A geoestatística vem apresentando aplicação crescente na ciência do solo, tornando-se ferramenta

variabilidade espacial, permitindo a interpretar resultados com base na estrutura dessa variabilidade, além de poder também quantificar o seu nível. Como no Brasil a aplicação de insumos é baseada nos teores médios da fertilidade do solo, os quais podem ser subestimados ou superestimados, o conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos de fertilidade, por meio da geoestatística, pode auxiliar a aplicação localizada de corretivos e fertilizantes, melhorando dessa maneira o controle do solo e a produção das culturas e contaminações ambientais.

O manejo do solo e o da cultura são importantes condicionadores da variabilidade de atributos de solo. Solos de mesma classe taxonômica, considerados relativamente homogêneos, podem apresentar variação em seus atributos como resultado das diferentes práticas de manejo. Da mesma forma, solos de classes diferentes, submetidos a mesma manejo, podem apresentar atributos semelhantes (Bouma et al., 1999). Portanto, o objetivo desse trabalho foi estudar a variabilidade espacial dos atributos químicos em Latossolo Vermelho sob diferentes condições de uso e manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda de Pesquisa da Faculdade de Engenharia, campus de Solteira, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", situada à margem direita do Rio Paraná, no município de Selvíria (MS), localizadas nas coordenadas geográficas 20° 22' S e 51° 45' W, numa altitude média de 335 m. O tipo de clima, segundo Köppen, é Aw, caracterizado como subtropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, estando a umidade relativa dos meses mais secos entre 60 e 80 %. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho hipodistrófico argilosol A moderadamente compactado, muito rico em caulinitico ferrílico moderadamente ácido (LVd) (Embrapa, 1999).

plantio da pastagem neste ano, instalação do preparo convencional em 1980 e implantação do sistema plantio direto em 1990. O plantio direto apresenta seqüência de culturas com leguminosas e gramíneas, como feijão (*Phaseolus vulgaris*), milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine Max* (L) Merrill) e aveia-preta (*Avena strigosa* Schieb), e o manejo de plantas invasoras tem sido efetuado com herbicidas, sendo cultivada com este sistema há 16 anos. O preparo convencional, realizado há 26 anos, consta de gradagem pesada (aradora) e gradagem leve (níveladora), com cultivo de culturas anuais. 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 28 anos de cultivo.

A amostragem do solo foi realizada nos pontos de cruzamento de malha, com intervalos regulares de 2 m, perfazendo o total de 64 pontos (14 x 14 m), sendo coletada uma amostra por ponto (Figura 1), nas profundidades de 0,0–0,1 e 0,1–0,2 m. Na caracterização química do solo foi determinada a acidez ativa (pH em CaCl₂), potenciometricamente. Os valores dos atributos Ca e Mg disponível foram extraídos utilizando o método da resina trocadora de íons, proposto por Raij et al. (2001). Com base nos resultados das análises químicas, foi calculado o valor da percentagem de saturação por bases do solo (V, %).

A variabilidade do solo foi avaliada pela análise exploratória dos dados, calculando-se a média, mediana, desvio-padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose. A

hipótese de normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A análise de dependência espacial entre os atributos químicos utilizados no teste de normalidade dos dados foram realizadas utilizando-se o programa SAS (Schlotzhauer et al., 1997). A dependência espacial foi avaliada através de um teste geostatístico, conforme Vieira et al. (1983), baseado no cálculo da semivariância. A análise geostatística é baseada na suposição de que medições separadas por distâncias pequenas são mais semelhantes entre si do que aquelas separadas por distâncias maiores. A semivariância é, por definição,

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

a qual é uma função do vetor h e, portanto, depende da magnitude e da direção h .

A semivariância é estimada pela expressão seguinte:

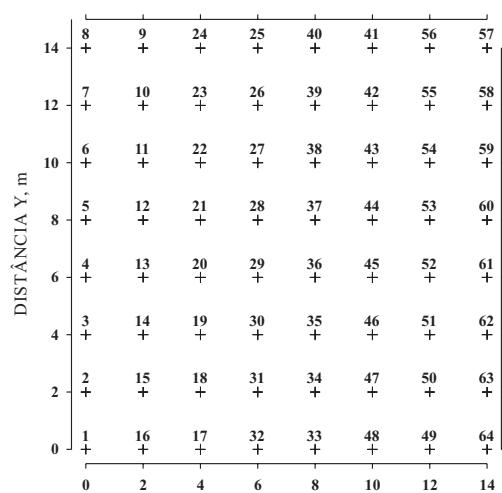
$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

sendo $N(h)$: número de pares de valores medidos x_i e $x_i + h$, separados por um vetor distância h ; $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$: valores da i -ésima observação de um atributo regionalizado, coletados nos pontos x_i e $x_i + h$ ($i = 1, \dots, n$), separados pelo vetor h . O gráfico da semivariância é feito em função dos valores correspondentes da semivariância estimada, denominado semivariograma. Do ajuste matemático aos valores calculados da semivariância estimados os coeficientes do modelo teórico da dependência espacial (efeito pepita, C_0 ; patamares, C_1 ; alcance, a). A razão entre o efeito pepita e o efeito patamar permite a classificação e a comparação entre os atributos do solo (Trangmar et al., 1985). Esta razão foi utilizada para definir as classes de dependência espacial das variáveis do solo, usando-se a classificação de Cambardella et al. (1994). Considera-se dependência espacial forte quando a razão é menor ou igual a 25%; dependência moderada quando a razão é superior a 25% e menor ou igual a 75%; e dependência fraca quando a razão é maior que 75%.

Foram ajustados aos dados os seguintes modelos: (a) esférico (Esf), $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1,5(h/a) - 0,75(h/a)^2]$ para $0 < h < a$ e $\gamma^*(h) = C_0 + C_1$ para $h \geq a$; (b) exponencial (Exp), $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-h/a)]$ para $0 < h < d$, em que d é a distância máxima em que o semivariograma é definido; e (c) gausiano (Gau), $\gamma^*(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-3h^2/a^2)]$. Esses modelos foram ajustados utilizando-se o programa Robertson (1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os limites estabelecidos para



apresentaram-se baixos para pH em todos os sistemas de usos e manejos estudados; os valores de K, Ca, Mg e V foram baixos para o Cerrado e pastagem e oscilaram de médio a alto para os sistemas plantio direto e preparo convencional (Quadro 1). Resultados semelhantes foram verificados por Souza & Alves (2003), estudando os atributos químicos de um

Latossolo Vermelho distrófico de Cerrado sob usos e manejos. Os sistemas plantio convencional apresentaram os maiores valores de Ca, Mg e V quando comparados aos sistemas de pastagem, uma vez que os dois primeiros eram o uso de culturas anuais, nas quais foram adubações com fertilizantes minerais.

Quadro 1. Estatística descritiva para pH, potássio, cálcio, magnésio e saturação por bases de coletadas na malha nas profundidades de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, em diferentes uso e manejo do solo

Estatística	Profundidade de 0,0-0,1 m					Profundidade de 0,1-0,2 m			
	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	mmol _c dm ⁻³					%	mmol _c dm ⁻³		
Cerrado									
Média	4,0	0,9	9,1	2,3	22,0	3,8	0,3	2,9	2,0
Mediana	4,2	1,0	9,0	2,0	20,5	3,8	0,2	2,0	2,0
Desvio-padrão	0,2	0,0	2,8	1,2	4,9	0,1	0,4	1,6	0,5
CV (%)	5,0	35,5	31,0	52,2	22,3	2,6	67,2	55,2	25,0
Assimetria	1,4	0,7	0,8	1,1	1,0	1,3	6,3	2,1	1,7
Curtose	5,9	2,6	3,7	3,8	4,5	5,8	16,1	7,7	10,6
d	0,2	0,2	0,2	0,2	0,09 ^{ns}	0,3	0,4	0,4	0,4
Plantio direto									
Média	5,3	4,6	42,0	29,0	68,5	4,9	1,8	28,3	15,3
Mediana	5,3	4,2	41,0	28,0	69,5	4,9	1,7	27,0	15,0
Desvio-padrão	0,3	0,2	7,5	8,7	6,8	0,2	0,8	3,9	4,4
CV (%)	3,8	45,1	17,9	35,0	9,6	4,1	46,9	13,7	28,6
Assimetria	-0,4	1,5	0,6	0,4	-0,4	0,8	0,5	1,3	0,8
Curtose	3,5	5,6	2,8	2,7	2,7	3,0	2,6	5,3	3,1
d ⁽¹⁾	0,1	0,07 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,1	0,08 ^{ns}	0,2	0,1
Preparo convencional									
Média	5,2	1,5	24,5	10,0	56,7	4,7	0,4	17,5	5,2
Mediana	5,0	1,4	25,0	8,5	55,5	4,6	0,3	15,5	5,0
Desvio-padrão	0,4	0,5	6,2	4,9	9,5	0,4	0,4	3,6	2,7
CV (%)	7,7	39,1	25,3	49,0	16,8	8,5	58,8	20,9	52,0
Assimetria	-0,4	1,1	1,0	1,0	-0,3	0,4	1,7	0,6	0,9
Curtose	1,9	4,1	4,2	4,9	2,2	2,2	5,5	2,9	3,9
d ⁽¹⁾	0,4	0,4	0,09 ^{ns}	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,09 ^{ns}
Pastagem									
Média	5,1	0,6	18,1	5,9	49,3	4,8	0,1	16,1	2,3
Mediana	5,1	0,5	18,0	5,0	50,0	4,8	0,1	16,0	2,0
Desvio-padrão	0,3	0,7	2,9	3,0	6,5	0,2	0,0	3,2	1,3
CV (%)	5,9	76,8	16,0	50,8	12,4	4,2	74,2	20,0	56,5
Assimetria	0,2	2,5	0,6	0,4	-0,2	-0,2	2,5	0,0	0,9

Observou-se diminuição dos valores dos atributos químicos em profundidade para todos os sistemas estudados, concordando com os resultados obtidos por Bayer & Mielniczuk (1997) e Souza & Alves (2003). Esse comportamento é explicado, no sistema plantio direto, pelo não-revolvimento, favorecendo o acúmulo de nutrientes na superfície; na área com pastagem, os baixos valores para os atributos químicos em estudo devem-se ao estádio avançado de degradação, fato comum na região.

Os resultados referentes à análise descritiva para os valores de pH e teores de K, Ca, Mg e V são apresentados no quadro 1. Os valores de assimetria e curtose demonstram distribuições assimétricas para os atributos químicos em estudo. Segundo Isaaks & Srivastava (1989), o coeficiente de assimetria é mais sensível a valores extremos do que a média e o desviopadrão, uma vez que um único valor pode influenciar fortemente esse coeficiente, pois os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência.

Apesar da ocorrência de algumas distribuições assimétricas, os valores da média e mediana de todos os atributos químicos estudados são próximos, mostrando que os dados não apresentam assimetria acentuada; conforme Little & Hills (1978), quando os valores da média, mediana e moda são semelhantes, os dados apresentam ou se aproximam da distribuição normal. Isso pode ser um indicativo de que as medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição (Cambardella et al., 1994), demonstrando que todos os atributos envolvidos no estudo estão se aproximando de uma distribuição normal – sinal de que os dados estão adequados para uso da geoestatística.

Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov indicaram normalidade no Cerrado para o V % na profundidade de 0,0–0,1 m; para as variáveis K, Ca, Mg e V na profundidade de 0,0–0,1 m; e K na profundidade de 0,1–0,2 m, no sistema plantio direto; no preparo convencional, o Ca apresentou distribuição normal na profundidade de 0,0–0,1 m; o Mg e V, na profundidade de 0,1–0,2 m; e as variáveis Ca e V, na profundidade de 0,1–0,2 m, na área com pastagem. Carvalho et al. (2003), estudando a variabilidade dos atributos químicos do solo, encontraram distribuição normal para V %, e o pH, Ca e Mg mostraram distribuição lognormal. Carvalho et al. (2002) utilizaram a geoestatística na determinação da variabilidade espacial de atributos químicos 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.

A normalidade dos dados não é exigência da geoestatística. Mais importante que a normalidade dos dados é a ocorrência ou não do chamado efeito

apresentaram patamares bem definidos, a distribuição não apresentou caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas de krigagem, as quais são baseadas nos valores (Isaaks & Srivastava, 1989).

De acordo com a classificação do coeficiente de variação (CV), proposta por Warrick & Nielsen (1980), o pH nas profundidades de 0,0–0,1 e 0,1–0,2 m apresentou baixo CV (< 12 %) em todos os sistemas de usos estudados (Quadro 1). O Ca apresentou CV médio (12 a 24 %) no sistema plantio direto com pastagem, nas profundidades estudadas, no preparo convencional, na profundidade de 0,0–0,1 m. No Cerrado, em ambas as profundidades, e na área com pastagem, no preparo convencional na profundidade de 0,0–0,1 m, o Ca apresentou CV alto (> 24 %). O K e Mg mostraram CV alto nas profundidades estudadas em todos os sistemas de uso e manejo do solo. Já o V % apresentou CV médio no Cerrado, preparo convencional com pastagem e CV baixo no sistema plantio direto, nas profundidades avaliadas.

Segundo Vanni (1998), coeficiente de variação que 35 % revela que a série é heterogênea e que tem pouco significado. Se for maior que 65 %, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum. Contudo, se for menor que 35 %, a série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de dados obtida. Dessa forma, pode-se dizer que os CV das profundidades de 0,0–0,1 e 0,1–0,2 m em todos os sistemas de uso e manejo estudados, na profundidade de 0,0–0,1 m em todos os sistemas de uso e manejo, na profundidade de 0,1–0,2 m para o sistema plantio direto com pastagem, e na profundidade de 0,1–0,2 m no Cerrado, apresentam uma série de dados heterogêneos e média com significado.

O alto valor de CV para os atributos químicos do solo é provavelmente devido aos efeitos resultantes das aplicações de adubação e revolvimento anteriores, visto que geralmente a aplicação de adubação ocorre na linha de plantio, enquanto a cultura é plantada no solo, bem como a deposição das culturas, é realizada a lanço, não ocorrendo uma homogeneização sobre a área. Segundo Souza & Alves (2003), mesmo as aplicações a lanço, seguidas de revolvimento do solo para incorporação das culturas, geram variabilidade no solo.

Na seleção dos modelos dos semivariogramas foram considerados os valores de R^2 e SQR (Coeficiente de Determinação). Segundo Robertson (1998), a SQR é um parâmetro mais robusto do que o R^2 e propicia uma medida de qual modelo se ajusta melhor aos dados. O programa GS+ utiliza a combinação de parâmetros do semivariograma para minimizar a SQR para cada modelo.

Os resultados da análise geoestatística mostraram

Quadro 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para o pH, potássio, magnésio e saturação por bases de amostras coletadas na malha nas profundidades de 0,0 a 0,2 m, em diferentes uso e manejo do solo

Parâmetro	Profundidade de 0,0-0,1 m					Profundidade de 0,1-0,2 m				
	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
———— mmol. dm ⁻³ ——— % ——— mmol. dm ⁻³ ———										
Cerrado										
Modelo	Esf ⁽⁴⁾	Linear	Exp ⁽⁵⁾	Esf	Esf	Exp	Esf	Linear	Esf	
Efeito pepita	0,006	0,05	1,4	0,17	3,7	0,0007	0,0003	0,3	0,01	
Patamar	0,014	-	5,4	0,36	11,8	0,002	0,009	-	0,12	
Alcance (m)	8,2	-	9,7	9,6	10,4	9,0	5,6	-	9,2	
C ₀ /(C ₀ + C ₁) ⁽¹⁾	43	-	26	47	31	35	3	-	8	
R ² ⁽²⁾	91	94	81	96	96	96	97	87	96	
SQR ⁽³⁾	7x10 ⁻⁷	0,01	0,4	3x10 ⁻⁵	1,04	1x10 ⁻⁸	1x10 ⁻⁷	7x10 ⁻³	1x10 ⁻⁴	
Plantio direto										
Modelo	Esf	Esf	Esf	Exp	Esf	Exp	Esf	Esf	Exp	
Efeito pepita	0,02	1,4	20,7	2,1	6,4	0,005	0,2	2,5	1,5	
Patamar	0,06	2,9	58,1	7,8	26,6	0,02	0,6	11,7	5,5	
Alcance (m)	9,4	10,8	12,7	7,6	10,2	6,2	10,8	4,2	7,4	
C ₀ /(C ₀ +C ₁)	33	48	36	27	24	25	33	21	27	
R ²	80	94	97	80	93	94	95	81	80	
SQR	1x10 ⁻⁴	0,06	19,1	0,66	10,3	8x10 ⁻⁷	2x10 ⁻³	1,4	0,5	
Preparo convencional										
Modelo	Esf	Exp	Esf	Esf	Exp	Esf	Esf	Esf	Esf	
Efeito pepita	0,0001	0,08	6,7	0,5	13,7	0,01	2,1	1,9	0,8	
Patamar	0,05	0,3	31,6	8,5	58,7	0,06	9,9	9,3	3,7	
Alcance (m)	6,8	7,5	4,2	6,7	10,5	4,8	7,4	4,1	4,4	
C ₀ /(C ₀ + C ₁)	1	27	21	6	23	17	21	20	22	
R ²	98	90	80	96	80	92	98	85	90	
SQR	2x10 ⁻⁵	5x10 ⁻⁴	8,2	0,4	58,6	2x10 ⁻⁵	0,2	0,6	0,06	
Pastagem										
Modelo	EPP ⁽⁶⁾	Esf	Esf	Esf	Exp	Esf	EPP	Esf	Exp	
Efeito pepita	-	0,6	0,5	0,5	7,3	0,007	-	2,5	0,5	
Patamar	-	2,7	2,0	2,7	26,7	0,04	-	8,7	1,8	
Alcance (m)	-	10,9	5,4	6,8	6,0	6,6	-	6,9	6,6	
C ₀ /(C ₀ + C ₁)	-	22	25	19	27	18	-	29	28	
R ²	-	96	77	91	88	95	-	98	98	
SQR	-	0,02	9x10 ⁻³	0,08	2,8	6x10 ⁻⁵	-	0,07	1x10 ⁻³	

⁽¹⁾ C₀/(C₀ + C₁): grau de dependência espacial. ⁽²⁾ R²: coeficiente de determinação. ⁽³⁾ SQR: soma dos quadrados dos resíduos. ⁽⁴⁾ Esf: modelo esférico. ⁽⁵⁾ Exp: modelo exponencial. ⁽⁶⁾ EPP: efeito pepita puro.

nas profundidades de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m, respectivamente, as quais apresentaram efeito pepita puro, indicando segundo Cambardella et al. (1994)

(Quadro 2 e Figuras 2, 3, 4 e 5). A análise dos semivariogramas para os atributos químicos e físicos da matéria orgânica no solo, no estudo não indicou nenhuma direção preferencial

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS...

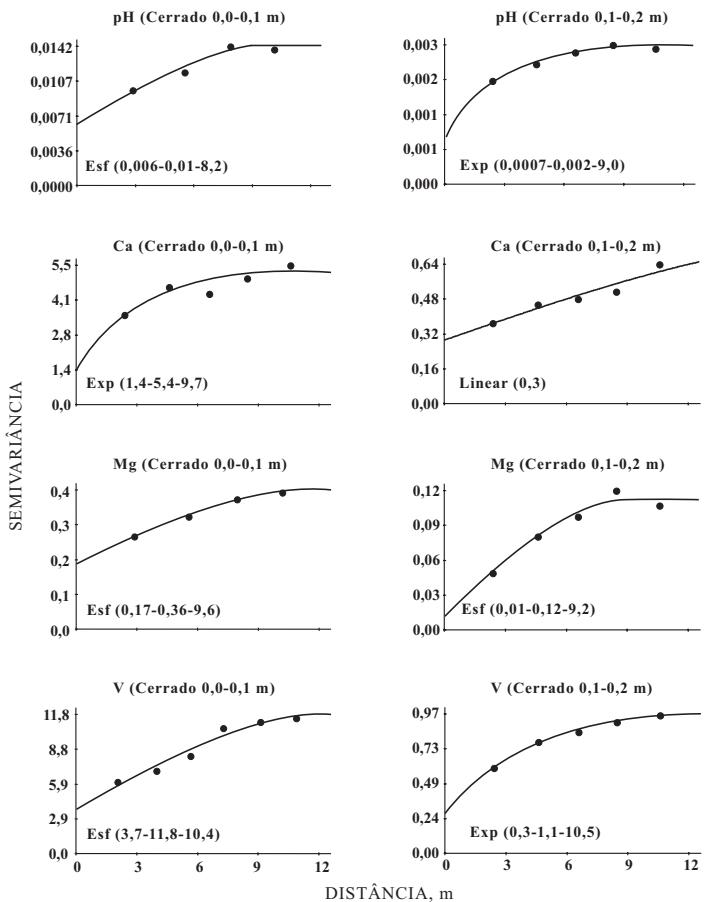


Figura 2. Semivariogramas dos atributos químicos do solo no Cerrado, nas profundidades de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m.

Todos os semivariogramas ajustaram-se aos modelos esférico e exponencial, exceção para as variáveis K e Ca no Cerrado nas profundidades de 0,0–0,1 e 0,1–0,2 m, respectivamente, que se ajustaram ao modelo linear (Quadro 2). Esses modelos são considerados transitivos (Isaaks & Srivastava, 1989), pois possuem patamar, ou seja, a partir de um determinado valor da distância entre amostras não existe mais dependência espacial (a variância da diferença entre pares de amostras torna-se invariante com a distância). Os modelos esféricos e exponenciais apresentam-se como os modelos teóricos mais comuns aos atributos do solo e da planta (Trangmar et al., 1985; Cambardella et al., 1994; Salviano et al., 1998; Carvalho et al., 2003).

Observa-se por meio do exame dos semivariogramas

maneira, é possível prever por meio da estatística crítica e geoestatística os atributos do solo sentaram valores de variabilidade não determinados pelo esquema de amostragem, indicando descontinuidade entre amostras. Amostras intensivas podem revelar maior continuidade dos atributos químicos analisados.

O efeito pepita reflete a variabilidade não em função da distância da amostragem, como variações locais, erros de análise, amostragem e outros. Como é impossível quantificar a contribuição individual desses erros, o efeito pode ser expresso como percentagem do total, facilitando, assim, a comparação da dependência espacial das variáveis entre os estudos (Trangmar et al., 1985).

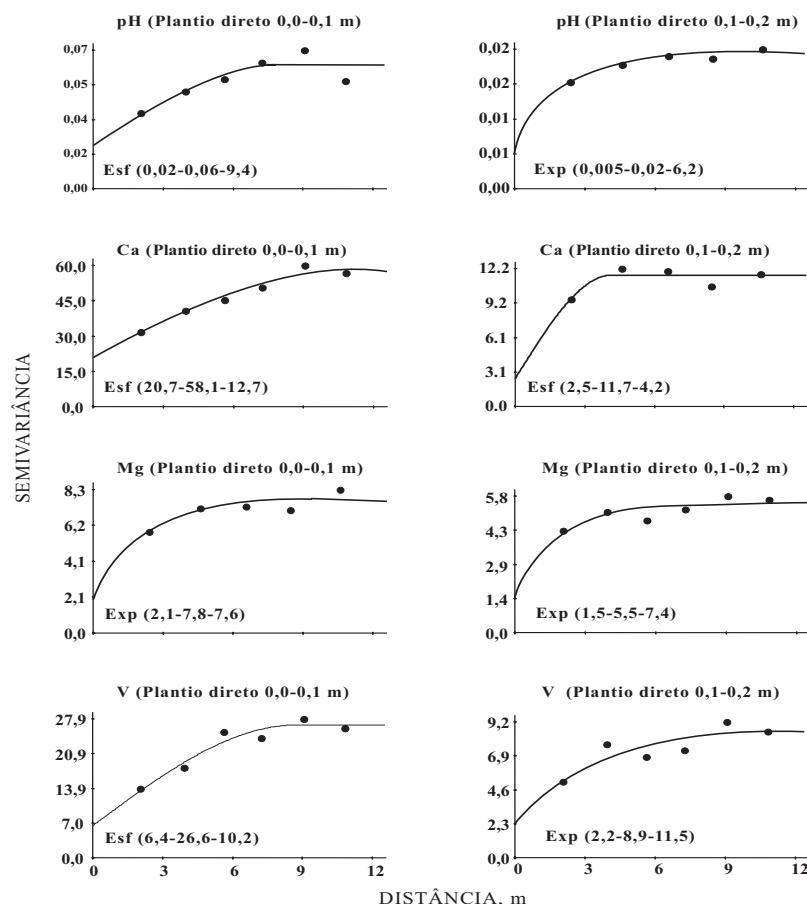


Figura 3. Semivariogramas dos atributos químicos do solo no sistema plantio direto, nas profundidades 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m.

Cerrado mostrou que todos os atributos químicos apresentaram dependência espacial com grau moderado, nas profundidades estudadas, com exceção do K e Mg, que mostraram grau da dependência espacial forte na profundidade de 0,1–0,2 m (Quadro 2 e Figuras 2, 3, 4 e 5). No sistema plantio direto, o V, em ambas as profundidades estudadas, o pH e o Ca na profundidade de 0,1–0,2 m apresentaram dependência espacial forte. Verificou-se dependência espacial forte para todos os atributos químicos em estudo no sistema preparo convencional, em ambas as profundidades estudadas, com exceção do K na profundidade de 0,0–0,1 m, que mostrou dependência espacial moderada. Já na área com pastagem verificou-se dependência espacial moderada para o V, nas profundidades de 0,0–0,1 e 0,1–0,2 m, e o Ca e Mg na

Usualmente, a forte dependência espacial dos atributos do solo é atribuída aos fatores intrínsecos ao passo que aos extrínsecos atribui-se uma dependência (Cambardella et al., 1994). Pode-se dizer que a forte dependência espacial detectada para os atributos químicos em estudo pode ser decorrente de um dos fatores de formação do solo, principalmente material de origem e relevo, enquanto que a dependência espacial moderada, seria devido a homogeneização do solo, que as adubações e calagens proporcionam ao solo, nos diferentes sistemas de uso e manejo.

Os atributos químicos apresentaram dependência espacial forte, com alcances, nas profundidades de 0,0–0,1 e 0,1–0,2 m (Quadro 2 e Figuras 2, 3, 4 e 5). O Ca apresentou o maior alcance na profundidade de 0,0–0,1 m,

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS...

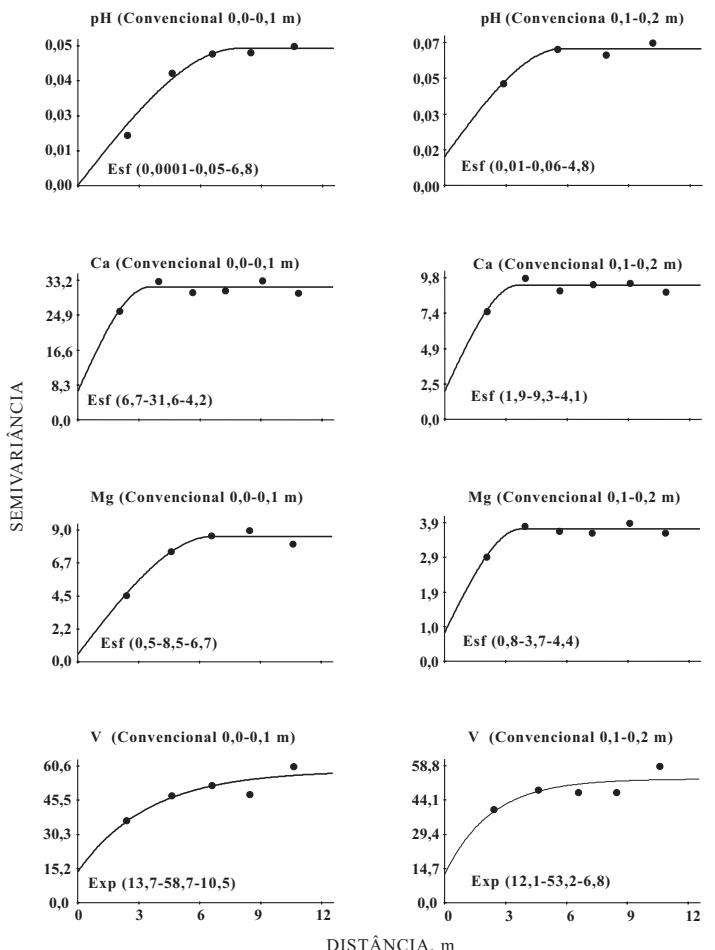


Figura 4. Semivariogramas dos atributos químicos do solo no sistema preparo convencional em profundidades de 0,0-0,1 e 0,1-0,2 m.

convencional e pastagem apresentaram os menores alcances, quando comparado a Cerrado e plantio direto, com exceção de K no preparo convencional e V na área com pastagem na profundidade de 0,0–0,1 m. Resultado contrário foi observado por Souza et al. (1998), que, estudando a variabilidade espacial de atributos químicos em relação a sistemas de manejo, observaram que o sistema plantio direto teve os menores alcances, e o sistema pastagem, os maiores.

O alcance da autocorrelação espacial, ou seja, a distância máxima na qual os atributos estão espacialmente correlacionados, foi comparado para os diferentes usos do solo na área estudada. A dimensão desse parâmetro indica um raio dentro do qual os

variando de 5,6 a 10,5 m (Figura 2). No plantio direto notou-se maior intervalo do alcance dos atributos químicos estudados: 4,2 (Figura 3), concordando com os resultados de Guimarães (2000), estudando a variabilidade do Latossolo Vermelho submetido a plantio convencional. Na área com plantio convencional observou-se certa semelhança entre os valores de alcance: 4,1 a 7,4 m (Figura 4), com exceção do variável V na profundidade de 0,0–0,1 m, que teve maior alcance. O mesmo comportamento foi observado na área com pastagem, com valores de alcance próximos, 6,0 a 7,0 m (Figura 5), com exceção do atributo K na profundidade de 0,0–0,1 m, que teve menor alcance.

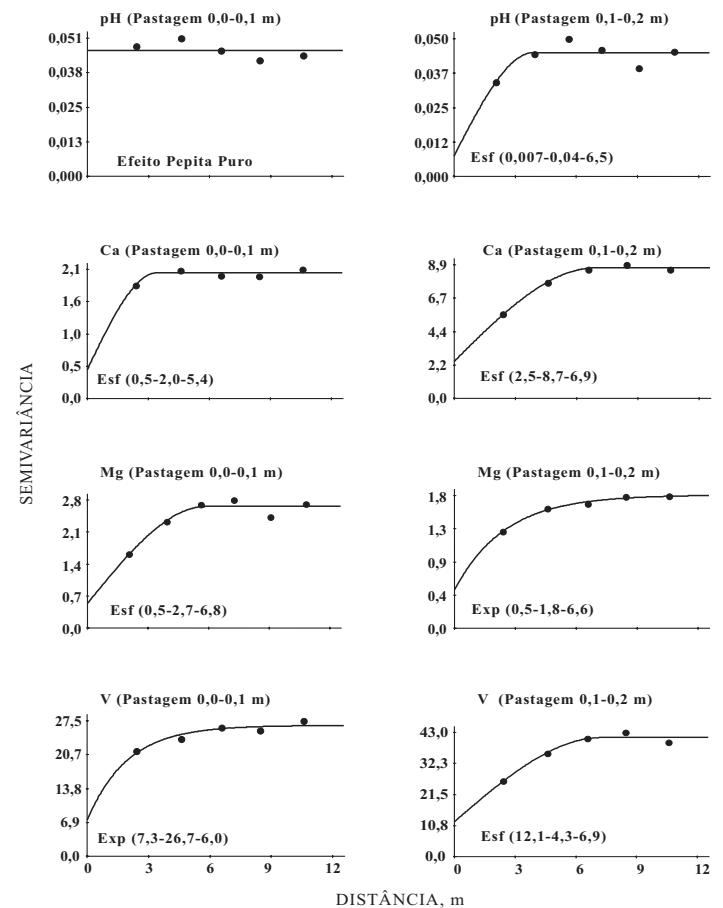


Figura 5. Semivariogramas dos atributos químicos do solo na área com pastagem, nas profundidades 0,1 e 0,1-0,2 m.

CONCLUSÃO

O uso e manejo do solo realizado ao longo do tempo evidenciam a variabilidade espacial dos seus atributos químicos nas profundidades estudadas.

LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J. & FIORIN, J.E. Variabilidade de solo e planta em podzólico vermelho-amarelo. *R. Bras. Ci. Solo*, 20:151-157, 1996.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Nitrogênio total de um solo submetido a diferentes métodos de preparo e sistemas de

BHATTI, A.U.; MULLA, D.J. & FRAZIER, B.E. Soil properties and wheat yields on complex using geostatistics and thematic mapper imagery. *Sens. Environ.*, 37:181-191, 1991.

BOUMA, J.; STOORVOGEL, J.; ALPHEN, B.J. & H.W.G. Pedology, precision agriculture, and the paradigm of agricultural research. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1763-1768, 1999.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NO PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & A.E. Field-scale variability of soil properties Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58:1501-1511

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M. & VIEGO. Geoestatística na determinação da variabilidade de características químicas do solo sob diferentes Pesq. Agropec. Bras., 37:1151-1159, 2002.

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO SOB DIFERENTES USOS...

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, 1999. 412p.
- GUIMARÃES, E.C. Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2000. 89p. (Tese de Doutorado)
- ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. An introduction to applied geoestatistics. New York, Oxford University Press, 1989. 561p.
- JACOB, W.L. & KLUTTE, A. Sampling soils for physical and chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 20:170-178, 1976.
- LITTLE, T.M. & HILLS, F.J. Agricultural experimentation. New York, John Wiley & Sons, 1978. 350p.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A., eds. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100)
- ROBERTSON, G.P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences – GS+ User's guide. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.
- SALVIANO, A.A.C.; VIEIRA, S.R. & SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L) em área severamente erodida. R. Bras. Ci. Solo, 22:115-122, 1998.
- SCHLOTZHAVER, S.D. & LITTELL, R.C. SAS: elementary statistical analysis. 2.ed. Cary, S.
- SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L. & VARIABILIDADE ESPACIAL DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E PRODUTIVIDADE DE MILHO EM UM ARGISSÓLUS AMARELO DISTRÓFICO ARÊNICO. R. Bras. Ci. Solo, 1020, 2003.
- SOUZA, L.S.; COGO, N.P. & VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo, e sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, 22:77-83.
- SOUZA, L.S.; COGO, N.P. & VIEIRA, S.R. Variabilidade das propriedades físicas e químicas do solo em sistema arábico. R. Bras. Ci. Solo, 21:367-372, 1997.
- SOUZA, Z.M. & ALVES, M.C. Propriedades químicas do Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob usos e manejos. R. Bras. Ci. Solo, 27:133-139.
- TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; WADE, M.K. & UPTON, G.J. Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. Adv. Agron., 38:45-94, 1985.
- VANNI, S.M. Modelos de regressão: Estatística aplicada. São Paulo, Legmar Informática, 1998. 177p.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, J. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciências da terra. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência da Terra, v.1. p.1-53.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R. & WARRICK, A.W. Geostatistical theory and application to estimation of some agronomical properties. Hilgardia, 51(10):319-344.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of physical properties in the field. In: HILL, M.O. & WARRICK, A.W., eds. Applications of soil physics. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.