

Comissão 1.3 - Pedometria

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS DE SOLOS COESOS DO LESTE MARANHENSE⁽¹⁾

José Maria do Amaral Resende⁽²⁾, José Marques Júnior⁽³⁾, Marcilio Vieira Martins Filho⁽³⁾, Jussara Silva Dantas⁽²⁾, Diego Silva Siqueira⁽⁴⁾ & Daniel De Bortoli Teixeira⁽⁵⁾

RESUMO

A demanda nacional e internacional por mapas de atributos de solo tem aumentado. Os objetivos deste trabalho foram caracterizar e associar a variabilidade da granulometria, os atributos químicos e a cor de solos coesos a diferentes formas de paisagem, em áreas agrícolas e de vegetação nativa, por meio de técnicas geoestatísticas. Para a instalação do experimento, foram escolhidas três áreas representadas por uma área cultivada com soja e, contígua a essa, uma com cobertura vegetal remanescente de três feições de cerrado, designadas de Cerradão (A), Cerrado (B) e Campo Cerrado (C). As áreas A e B estão localizadas em pedofoma côncava e a área C, na convexa. Em cada área, foram estabelecidas malhas de amostragem com 121 pontos; nas áreas com cobertura vegetal construíram-se transeções com cinco pontos espaçados em 20 m. Os maiores alcances médios, considerando ambas as profundidades avaliadas, foram encontrados para a área A, sendo de 115 m para granulometria, 157 m para atributos químicos e 168 m para a cor do solo. A área B apresentou alcances médios de 95, 64 e 160 m para granulometria, atributos químicos e cor do solo, respectivamente. A área C, por sua vez, exibiu alcances médios de 63, 65 e 58 m para granulometria, atributos químicos e cor do solo, respectivamente. O ambiente com maior variabilidade (área C) está relacionado com locais de ocorrência de vegetação do tipo Campo Cerrado e pedofoma convexa. Esse mesmo local evidenciou a menor capacidade de resposta ao manejo da cultura de soja, evidenciado pelos índices de fertilidade do solo para essa cultura, com destaque para os baixos valores de matéria orgânica (9,20 mg kg⁻¹) e CTC (29,60 mmol_c dm⁻³). Assim, pode-se afirmar que para o compartimento geológico estudado, os ambientes de alta variabilidade

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor. Recebido para publicação em 16 de junho de 2013 e aprovado em 28 de abril de 2014.

⁽²⁾ Professor, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Maranhão, Campus de Chapadinha. BR-222, km 04, Boa Vista. CEP 65500-000 Chapadinha (MA). E-mail: zemaria@ufma.br, jussara@ufma.br

⁽³⁾ Professor Adjunto, Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n. CEP 14884-900 Jaboticabal (SP). Grupo de Pesquisa CSME (www.csme.com.br). E-mail: marques@fcav.unesp.br, mfilho@fcav.unesp.br

⁽⁴⁾ Pós-doutorando em Agronomia, Ciência do Solo. E-mail: diego_silvasiqueira@yahoo.com.br

⁽⁵⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, FCAV/UNESP. E-mail: diego_silvasiqueira@yahoo.com.br, danieldbt@bol.com.br

sempre estão associados a áreas com menor resposta ao manejo do solo para a cultura da soja.

Termos de indexação: geostatística, espectroscopia de reflectância difusa, cerrado.

SUMMARY: SPATIAL VARIABILITY OF THE PROPERTIES OF COHESIVE SOILS FROM EASTERN MARANHÃO, BRAZIL

The national and international demand for maps of soil properties has increased. The aim of this study was to characterize cohesive soils and associate their variability of particle size, chemical properties, and color to different landforms in agricultural areas and native vegetation using geostatistical techniques. To set up the experiment, we selected three areas of soil consisting of an area planted to soybeans and, contiguous to it, another area with plant cover remaining from three types of cerrado (tropical savanna), designated Cerradão (A), Cerrado (B), and Campo Cerrado (C). The areas A and B are located on a concave landform, while area C is on a convex landform. Sampling grids with 121 points were established in each area, and in areas with native vegetation, transects were constructed with five points spaced at 20 m. The largest mean ranges, considering both depths evaluated, were found for area A, with 115 m for particle size, 157 m for chemical attributes, and 168 m for soil color. Area B had mean ranges of 95, 64, and 160 m for grain size, chemical attribute, and soil color, respectively. For its part, area C exhibited the mean ranges of 63, 65, and 58 m in grain size, chemical attributes, and soil color, respectively. The environment with the greatest variability (area C) is related to locations with the occurrence of Campo Cerrado vegetation and a convex landform. This same site had the lowest responsiveness to soybean crop management, shown by soil fertility indicators for this crop, especially the low values for organic matter (9.20 mg kg^{-1}) and CEC ($29.60 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Thus, it can be stated that for the geological compartment studied, the environments of high variability will always be associated with areas with lower response to soil management for soybean.

Index terms: geostatistics, diffuse reflectance spectroscopy, savanna.

INTRODUÇÃO

A expansão da fronteira agrícola, na Região Nordeste do Brasil, incorporou ao sistema produtivo solos de fertilidade marginal com alto grau de intemperização que apresentam atributos físicos que limitam o crescimento das raízes das plantas cultivadas e facilitam o desenvolvimento do processo erosivo. Esse é o caso dos solos coesos, desenvolvidos a partir de material originário da Formação Barreiras. Esses solos, mesmo quando pertencentes à mesma classe taxonômica, podem apresentar variações em seus atributos, tanto horizontal, ao longo da paisagem, quanto verticalmente, ao longo do perfil do solo. Essas variações podem ser resultantes dos fatores responsáveis pela formação do solo, pois tanto o material de origem como a sua intemperização não ocorrem homoganeamente (Buol et al., 1997).

A caracterização da variabilidade horizontal dos atributos do solo representa importante atividade de pesquisa na compreensão de processos e fatores inerentes ao solo (Parkin, 1993). Os resultados dessas pesquisas são importantes para nortear futuros projetos e subsidiar a tomada de decisão, para uso e ocupação do solo, em locais de variabilidade desconhecida, como os solos coesos da Formação Barreiras. Esses solos ocupam cerca de 200.000 km²

no território nacional. A caracterização detalhada dessas variações pode indicar a ocorrência de processos capazes de influenciar na produtividade diferenciada das culturas; em consequência, possibilita a identificação de locais específicos de manejo do solo (Sanchez et al., 2012).

As técnicas de análises geoestatísticas destacam-se nesse cenário por permitir a identificação e o delineamento dessas relações espaciais (Vieira, 2000). Para a condução dessas análises, assume-se que determinada propriedade numa posição definida na área de estudo varia de acordo com a distância de separação entre as amostras vizinhas. Essa continuidade geográfica característica das variáveis é identificada ao observar que os valores das variáveis tornam-se mais similares à medida que a distância de separação entre elas diminui (Isaaks & Srivastava, 1989).

Na área de ciências agrárias, as análises geoestatísticas têm sido utilizadas com grande êxito na caracterização de atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo (Camargo et al., 2008), adsorção de fósforo (Barbieri et al., 2009), estudo da emissão de CO₂ (Teixeira et al., 2012), aplicação de insumos em taxa variada (Barbieri et al., 2008), perda de solo e nutrientes por erosão (Sanchez et al., 2009), cultivo de citros (Siqueira et al., 2010), produção de café

(Sanchez et al., 2012), entre outras. Recentemente, as análises geoestatísticas vêm sendo associadas a informações da paisagem, visando à compreensão mais precisa dos padrões de variabilidade dos atributos do solo e como esses podem ser utilizados para explicar a produção agrícola (Siqueira et al., 2010). Dentre essas informações, podem-se citar a utilização da topografia (Noorbakhsh et al., 2008); os modelos de paisagem, como superfícies geomórficas (Campos et al., 2007); as formas de relevo (Souza et al., 2009); e as pequenas variações do relevo (Camargo et al., 2008; Marques Jr. et al., 2014).

Nesse contexto, os objetivos deste trabalho foram caracterizar e associar a variabilidade de atributos da granulometria, bem como os químicos e os da cor de solos coesos a diferentes formas de paisagem, em áreas agrícolas e de vegetação nativa, por meio de técnicas geoestatísticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização, caracterização da área e planejamento amostral

O estudo foi desenvolvido no município de Brejo, MA, na Fazenda Typuana, localizado na mesorregião leste do Maranhão, microrregião de Chapadinha, MA, nas coordenadas geográficas de 03° 36' S e 42° 52' W (Figura 1a). O clima, segundo a classificação climática de Köppen-Gerger, é do tipo Aw, clima tropical com estação seca de inverno. A estação chuvosa está concentrada entre os meses de novembro e maio, com precipitação pluvial média de 1.835 mm, temperatura média anual acima de 27 °C e umidade relativa anual entre 73 e 79 % (Maranhão, 2002). A Formação Barreiras representa uma cobertura sedimentar terrígena continental, de idade pliocênica, depositada por sistemas fluviais entrelaçados, associados a leques aluviais. As faces de sistemas fluviais entrelaçados apresentam depósitos de granulometria variada com cascalhos e areias grossas e finas, de coloração creme amarelada, com intercalações de microclastos de argila siltica, indicativo de ambiente de sedimentação calmo, como de planície aluvial (Alheiros et al., 1988).

Para a instalação do experimento, foram selecionadas três áreas de solo denominadas A, B e C, com base na vegetação nativa. Cada compartimento era composto por dois ambientes, um ambiente de produção, cultivado com soja e outro, contíguo a esse, com cobertura vegetal remanescente de três feições de cerrado, designadas de Cerradão, Cerrado e Campo Cerrado.

O modelo digital de elevação foi utilizado para verificar a localização das áreas na paisagem (Figura 1b). Esse foi gerado com base nas informações da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução horizontal de 90 m e precisão vertical da ordem de 5 m. Para detectar possíveis valores

ruidosos nas informações SRTM, foi aplicado o filtro de mediana, subtração do resultado do filtro pelo dado original, retirada dos valores com variação de 10 m decorrente da falta de informação e interpolação pelo método Topogrid. Também foram acrescentadas às informações SRTM, as informações de campo da altitude de 120 pontos das três áreas estudadas.

Na área A, apresenta-se vegetação remanescente de Cerradão, que está localizada em pedoforma côncava, relevo suave ondulado (Figura 1b). Esse ambiente de produção vem sendo cultivado há 10 anos com soja. Na área B, encontra-se a vegetação remanescente Cerrado, que está situada em pedoforma côncava, relevo suave ondulado. Esse ambiente de produção vem sendo cultivado há seis anos com soja. Já na área C, identifica-se a vegetação remanescente de Campo Cerrado, localizada em pedoforma convexa, relevo suave ondulado, sendo cultivada há quatro anos com soja.

Para a classificação dos solos, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Embrapa, 2006), foram abertas e descritas trincheiras em cada uma das áreas no ambiente de vegetação. O solo das três áreas, desenvolvido a partir de material da Formação Barreiras, foi classificado como Argissolo Amarelo distrocóseo típico.

Nos ambientes de produção das três áreas, é feita a correção da acidez do solo toda vez que a necessidade de calagem, calculada pelo método do V %, é maior que 1 t ha⁻¹ de calcário com PRNT de 70 %. A adubação de manutenção tem sido a mesma para as três áreas que anualmente tem recebido 16 kg ha⁻¹ de N, 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O.

Nos ambientes de produção das áreas A e B, foram estabelecidas malhas de amostragem quadradas com espaçamento regular de 25 m, totalizando 121 pontos de amostragem em uma área de 6,2 ha (Figura 1c); já na área C, estabeleceu-se malha de amostragem quadrada com espaçamento regular de 15 m, totalizando 121 pontos de amostragem em uma área de 2,2 ha (Figura 1d). Para fins de comparação da variabilidade dos atributos do solo em ambientes natural e de produção, foram construídas transeções de 100 m nas vegetações remanescentes. Foram coletados nas transeções cinco pontos espaçados em 20 m. As amostras das malhas e transeções foram coletadas nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m.

Análises laboratoriais

A análise granulométrica foi realizada utilizando uma solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação com aparato de baixa rotação por 16 h. A argila foi determinada pelo método da pipeta, a areia foi separada por tamisação e o silte foi calculado por diferença (Embrapa, 1997). Para as análises de fertilidade do solo, utilizaram-se os métodos propostos por Raij et al. (2001). Com base nesses resultados, foram calculados os valores da soma de bases (SB), da capacidade de troca catiônica potencial (CTC) e da

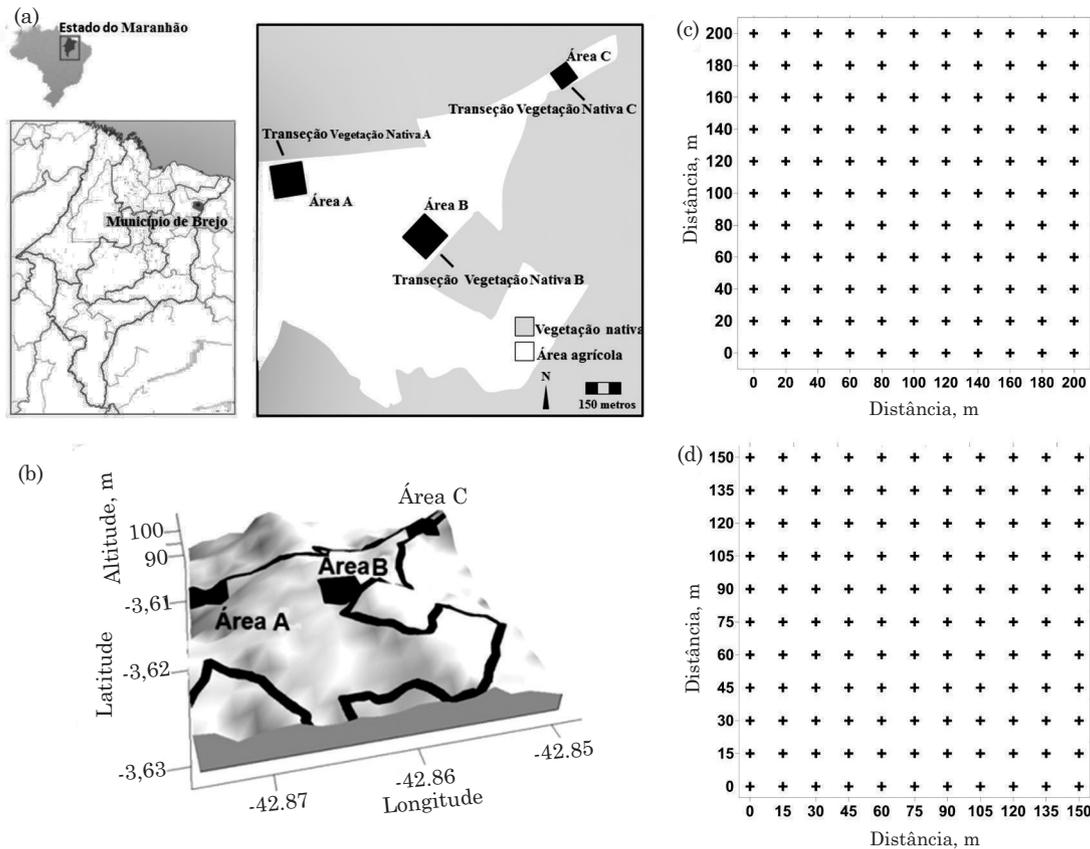


Figura 1. Localização da área: malhas de amostragem e transeções (a); modelo digital de elevação (b); malha amostral utilizada para as áreas A e B (c); e malha amostral utilizada para a área C (d).

porcentagem de saturação por bases (V%). O fósforo remanescente foi determinado de acordo com Alvarez V. et al. (2000). Essas análises foram realizadas para todas as amostras coletadas nas áreas estudadas.

Avaliação da espectroscopia de reflectância difusa e determinação da cor

Para obtenção dos espectros de reflectância difusa, as avaliações foram feitas com o sensor de laboratório Lambda 950. Foi moído aproximadamente 0,5 g de TFSA em ágata até alcançar a coloração constante. O material de solo foi colocado em um porta-amostra com um espaço cilíndrico de 16 mm. Os valores de reflectância foram determinados em espectrofotômetro equipado com esfera integradora de 80 mm, a cada 1 nm, com um tempo de integração de 0,2 s, fazendo uma varredura no intervalo de 380 a 780 nm. Após se obterem os espectros de reflectância difusa das amostras de solo, foram determinados os valores de triestímulo XYZ definidos pela *Comisión Internacional de L'Eclairage*. A partir das coordenadas XYZ, foram deduzidos os valores Munsell de matiz, croma e valor, utilizando o programa *Munsell Conversion* versão 6.4, conforme Barrón et al. (2000) e Viscarra Rossel (2011). Essas determinações foram realizadas para todas as amostras coletadas nas áreas estudadas.

Análises dos dados

Foram calculados a média, o coeficiente de variação e o desvio-padrão. Para a avaliação da diferença dos valores médios entre as áreas, identificadas com base na vegetação nativa, foi aplicado o teste de Tukey a 5%. Nas comparações das médias, foram considerados os seguintes fatores no esquema fatorial: áreas de solos com três níveis (A, B, C), ambiente com dois níveis, ambiente de produção (AP) e ambiente de vegetação (VN), o que resultaram seis tratamentos: AAP, AVN, BAP, BVN, CAP e CVN. Dessa maneira, para a aplicação do teste de Tukey, cada ponto coletado em cada área foi interpretado como sendo uma pseudorrepetição. O teste de Tukey leva em conta o desbalanceamento dessas pseudorrepetições.

A modelagem do variograma experimental, seguindo os princípios estabelecidos pela hipótese intrínseca (Isaaks & Srivastava, 1989), foi realizada visando a captação da variabilidade espacial da granulometria, os atributos químicos e a cor do solo. O variograma experimental foi determinado por meio do cálculo da variância em razão da distância de separação entre amostras (Equação 1):

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

em que $\hat{\gamma}(h)$ é a variância experimental para uma distância de separação h , $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i+h)$ são separados pela distância h . A estacionariedade necessária ao uso da geoestatística foi avaliada por meio de análise de tendência, utilizando regressões lineares para os eixos X, Y e suas interações. Assim, pela diferença entre o valor medido e o valor da superfície do polinômio ajustada, obtiveram-se os valores do resíduo que foi utilizado para a construção do variograma. A escolha do melhor modelo ajustado aos variogramas baseou-se na soma de quadrado dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação (R^2).

Após a construção dos variogramas, foi utilizada a técnica da krigagem ordinária para a interpolação de valores em locais não amostrados. Essa técnica baseia-se em uma média móvel ponderada das amostras vizinhas (Equação 2); os pesos (λ_i) de cada vizinho são determinados utilizando o modelo de variograma ajustado, resultando em uma estimativa de variância mínima:

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad (2)$$

em que $\hat{z}(x_0)$ é o valor estimado da propriedade no ponto 0; N , o número de valores utilizados na predição; λ_i , a ponderação associada a cada valor; e $z(x_i)$, o valor observado no ponto i .

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos no ambiente de vegetação evidenciam que os solos das áreas A e B não apresentaram diferenças significativas entre si quanto à granulometria, porém diferem, na maioria das frações granulométricas do solo, do ambiente C, que apresenta maiores teores de argila e silte e menores teores de areias nas duas profundidades estudadas (Quadro 1).

Embora esses solos tenham a mesma denominação taxonômica (Argissolo Amarelo distrocoeso típico) e algumas semelhanças morfológicas, possuem diferentes padrões de variabilidade, tanto em ambiente de produção como em de vegetação, fato esse observado por meio dos diferentes valores de coeficiente de variação (CV). Comparando-se os valores dos CV das frações granulométricas do ambiente de vegetação, com os valores de CV do ambiente de produção, na profundidade de 0,0-0,2 m, pode-se afirmar que o solo que apresentou a maior variabilidade de seus atributos em razão das práticas agrícolas, consideradas um dos fatores responsáveis pela variabilidade granulométrica, foi o solo da área A, seguido das áreas B e C, indicando que o solo menos impactado pelo manejo foi o da área C. Essas mesmas observações são válidas para a profundidade de 0,2-0,4 m.

Os solos das três áreas estudadas, no ambiente de vegetação, não diferem entre si quanto aos atributos químicos, na profundidade de 0,0-0,2 m, sendo pobres em Ca, Mg, K e P, apresentando altos valores de acidez ativa determinada em CaCl_2 , baixos valores de CTC potencial, soma de bases e porcentagem de saturação por bases, de acordo com Raij et al. (1997) (Quadro 2). Essas condições apresentam-se como desfavoráveis ao ótimo crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas. Tais valores são ainda mais baixos na profundidade de 0,2-0,4 m (Quadro 2).

Nesse ambiente, os solos apresentam baixos valores de adsorção de P (Alvarez V. et al., 2000), expresso na forma de P remanescente, não diferindo significativamente entre eles, o que pode ser creditado aos baixos teores de argila apresentados pelos solos estudados. Também não houve diferenças significativas entre os teores de matéria orgânica nos solos das três áreas de vegetação estudadas, que variaram de 12,8 a 18,8 g kg^{-1} , na profundidade de 0,0-0,2 m (Quadro 2).

No ambiente de produção, pode-se verificar que os solos responderam de forma diferenciada à adubação, sendo as maiores respostas encontradas no solo da área A; e as menores respostas, no da área C. Embora o solo da área A seja aquele manejado há mais tempo, isso por si só não justifica os menores aumentos nos atributos químicos no solo da área C, uma vez que vem recebendo doses maciças de corretivos e fertilizantes minerais. Em um solo com cultivo intenso de cana-de-açúcar por mais de 20 anos, Sanchez et al. (2009) também verificaram que os maiores valores médios dos atributos químicos ocorreram na pedofoma côncava. Esse comportamento pode ser atribuído às condições de drenagem e características convergentes da inclinação dos declives responsáveis pela acumulação dos nutrientes (Resende et al., 2007).

A cobertura vegetal também reflete a capacidade de resposta do solo à adubação. O solo que mais responde à adubação apresenta a vegetação denominada Cerradão, e o que menos responde, a vegetação denominada Campo Cerrado.

Os elementos constituintes de cor do solo, matiz, valor e croma, determinados pelo método da reflectância difusa, não apresentaram diferenças significativas entre os ambientes de vegetação e de produção, para solos de uma mesma área, evidenciando que a cor do solo é um atributo morfológico não influenciado pelas práticas de manejo (Quadro 3).

Quando se comparam os solos das diversas áreas entre si, verifica-se que os das áreas A e B, que apresentam coloração mais amarelada, não diferem entre si, mas diferem do solo da área C, que exibe coloração com um matiz mais avermelhado. Os solos das áreas A e B estão situados em pedofomas côncavas do relevo, enquanto o solo da área C situa-se em forma convexa. A forma côncava favorece o armazenamento de água, tornando o ambiente redutor. Assim, o Fe^{3+} ,

Quadro 1. Valores médios dos atributos granulométricos dos solos estudados nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m

Atributo	Estatística	Área A		Área B		Área C	
		Produção	Vegetação	Produção	Vegetação	Produção	Vegetação
0,0-0,2 m							
Argila (g kg ⁻¹)	Média	153,65 b	169,60 ab	145,41 b	142,50 b	204,96 a	182,00 ab
	DP ⁽¹⁾	56,36	3,49	22,82	9,74	30,78	13,21
	CV (%) ⁽²⁾	36,68	2,06	15,69	6,84	15,02	7,26
Silte (g kg ⁻¹)	Média	109,48 b	93,20 bc	80,85 c	79,10 c	148,18 a	157,00 a
	DP	16,97	6,82	20,15	4,66	22,82	12,18
	CV (%)	15,50	7,32	24,92	5,89	15,40	7,76
Areia total (g kg ⁻¹)	Média	736,85 a	737,20 a	773,74 a	778,40 a	647,57 b	661,00 b
	DP	56,06	5,54	25,95	9,53	34,82	12,39
	CV (%)	7,61	0,75	3,35	1,22	5,38	1,87
Areia grossa (g kg ⁻¹)	Média	43,64 b	35,00 b	51,13 a	46,00 ab	23,68 c	35,00 b
	DP	8,50	5,66	12,23	5,00	4,61	8,25
	CV (%)	19,48	16,16	23,92	10,87	19,47	23,56
Areia fina (g kg ⁻¹)	Média	400,61 b	415,80 ab	445,50 a	449,80 a	322,71 c	322,60 c
	DP	46,34	10,92	25,05	10,26	25,47	25,80
	CV (%)	11,57	2,63	5,62	2,28	7,89	8,00
0,2-0,4 m							
Argila (g kg ⁻¹)	Média	202,30 b	191,30 b	208,85 b	224,60 b	321,53 a	234,40 b
	DP	50,65	8,43	22,36	7,50	35,93	17,98
	CV (%)	25,04	4,41	10,71	3,34	11,17	7,67
Silte (g kg ⁻¹)	Média	114,29 b	102,10 bc	87,99 c	92,60 c	135,02 a	149,00 a
	DP	20,08	5,35	17,98	6,17	14,62	16,69
	CV (%)	17,57	5,24	20,44	6,66	10,83	11,20
Areia total (g kg ⁻¹)	Média	683,40 a	706,60 a	703,16 a	682,80 a	543,45 c	616,60 b
	DP	47,01	10,85	19,19	6,10	30,87	17,10
	CV (%)	6,88	1,54	2,73	0,89	5,68	2,77
Areia grossa (g kg ⁻¹)	Média	37,24 b	28,80 bc	44,68 a	32,20 bc	27,05 c	31,80 bc
	DP	8,50	3,96	12,90	4,38	4,83	1,30
	CV (%)	22,83	13,76	28,87	13,61	17,87	4,10
Areia fina (g kg ⁻¹)	Média	369,17 a	399,00 a	390,05 a	384,60 a	265,35 c	306,00 b
	DP	39,03	15,72	25,44	11,67	19,81	6,24
	CV (%)	10,57	3,94	6,52	3,04	7,47	2,04

⁽¹⁾ DP: desvio-padrão; ⁽²⁾ CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 %.

que confere a cor vermelha do solo, é reduzido a Fe²⁺, mais solúvel, que é retirado do sistema, ficando o solo com coloração mais amarelada (Resende et al., 2007).

O CV não tem sido considerado como bom indicador da variabilidade espacial dos atributos do solo, quando utilizado individualmente, pois em alguns casos pode mascarar a real interpretação da heterogeneidade espacial sobre os valores médios. Nesse caso, é recomendada a utilização da análise geoestatística (Sampaio et al., 2011).

Aos variogramas experimentais dos valores das granulometrias de todos os solos, foi ajustado o modelo esférico (Quadro 4). Esse modelo tem sido o mais utilizado para descrever o comportamento de atributos

de plantas e solo por diversos autores (Cambardella et al., 1994; Barbieri et al., 2008; Gomes et al., 2008; Schaffrath et al., 2008; Sanchez et al., 2009; Souza et al., 2009; Silva Neto et al., 2011), e normalmente ajusta-se aos dados cuja distribuição apresenta mudanças abruptas.

Os solos apresentaram dependência espacial para as frações granulométricas nas duas profundidades estudadas, apresentando Grau de Dependência Espacial (GDE) de moderada a forte, segundo classificação de Cambardella et al. (1994), a qual permite classificar o GDE em dependência espacial forte, quando $\leq 25\%$; dependência espacial moderada, quando $25\% < GDE \leq 75\%$; e dependência espacial

Quadro 2. Valores médios dos atributos químicos dos solos estudados nas profundidades de 0,0-0,2 e de 0,2-0,4 m

Atributo	Estatística	Área A		Área B		Área C		Área A		Área B		Área C	
		Prod.	Veget.	Prod.	Veget.	Prod.	Veget.	Prod.	Veget.	Prod.	Veget.	Prod.	Veget.
		0,0-0,2 m						0,2-0,4 m					
pH	Média	5,12 a	3,92 cd	4,72 b	3,84 d	4,26 c	4,12 cd	4,16 a	3,84 b	3,96 b	3,82 b	4,03 b	4,02 b
	DP ⁽¹⁾	0,45	0,04	0,36	0,05	0,31	0,04	0,24	0,05	0,17	0,04	0,18	0,04
	CV (%) ⁽²⁾	8,73	1,14	7,70	1,43	7,37	1,09	5,77	1,43	4,19	1,17	4,52	1,11
MO (mg kg ⁻¹)	Média	23,28 a	18,40 ab	17,28 b	18,80 ab	11,74 ab	12,80 b	15,62 a	14,40 ab	10,23 b	9,40 bc	6,65 c	9,60 bc
	DP	9,02	5,13	3,45	3,42	2,55	0,84	7,10	2,51	2,39	1,34	2,07	0,89
	CV (%)	38,27	27,87	9,96	8,19	21,68	6,54	45,44	17,43	23,35	14,27	31,11	9,32
P (mg dm ⁻³)	Média	22,95 b	3,60b	36,69 a	4,80 b	22,12 b	3,60 b	5,67 b	3,80 b	9,08 a	3,20 b	6,51 b	3,40 b
	DP	23,11	0,89	29,15	1,30	13,65	0,55	4,65	0,45	7,67	0,45	4,49	0,55
	CV (%)	0,69	24,85	79,45	27,16	61,71	15,21	81,93	11,77	84,47	13,98	69,03	16,11
K (mmol _c dm ⁻³)	Média	1,20 a	0,34 c	1,05 b	0,32 c	0,73 c	0,52	0,51 a	0,24 b	0,35 b	0,22 b	0,47 a	0,40 ab
	DP	0,55	0,05	0,35	0,04	0,25	0,11	0,21	0,05	0,14	0,04	0,17	0,14
	CV (%)	45,55	16,11	33,93	13,98	34,77	21,07	41,85	22,82	39,80	20,33	37,34	35,36
Ca (mmol _c dm ⁻³)	Média	24,47 a	3,00c	14,53 b	2,80 c	4,49 c	3,00 c	7,57 a	2,00b	3,60b	2,00b	2,41b	2,20 b
	DP	12,95	0,00	5,92	0,45	4,47	0,00	5,47	0,00	1,63	0,00	0,98	0,45
	CV (%)	52,94	0,00	40,75	15,97	99,44	0,00	72,25	0,00	45,18	0,00	40,82	20,33
Mg (mmol _c dm ⁻³)	Média	17,04 a	1,20 c	7,01 b	1,60 c	2,83 c	1,40 c	4,66 a	1,00 b	1,85 b	1,00 b	1,35 b	1,00 b
	DP	8,19	0,45	4,12	0,55	1,77	0,55	3,35	0,00	1,10	0,00	0,67	0,00
	CV (%)	48,07	37,27	58,74	34,23	62,53	39,12	71,87	0,00	59,32	0,00	49,57	0,00
Prem (mg L ⁻¹)	Média	43,14 b	35,84 b	50,36 a	40,72 b	51,51 a	44,32 b	-	-	-	-	-	-
	DP	7,41	2,23	3,85	1,64	2,26	2,36	-	-	-	-	-	-
	CV (%)	17,18	6,23	7,64	4,04	4,39	5,32	-	-	-	-	-	-
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	Média	34,11 b	52,80 a	34,29 b	58,20 a	24,07 c	25,60 bc	51,23 a	46,40 ab	43,88 b	41,40 bc	22,83 c	25,00 bc
	DP	17,90	10,43	10,31	8,14	5,10	1,34	25,70	8,29	8,87	4,67	3,24	0,00
	CV (%)	52,47	19,75	30,05	13,98	21,21	5,24	50,17	17,88	20,22	11,28	14,20	0,00
SB (mmol _c dm ⁻³)	Média	42,41 a	4,54 c	23,15 b	4,72 c	8,05 c	4,92 c	12,74 a	3,24 b	5,80 b	3,22 b	4,23 b	3,60 b
	DP	21,00	0,43	11,93	0,86	6,19	0,63	8,70	0,05	2,70	0,04	1,63	0,41
	CV (%)	49,16	9,42	51,54	18,13	76,85	12,73	68,31	1,69	46,53	1,39	38,52	11,45
CTC (mmol _c dm ⁻³)	Média	76,82 a	57,34 bc	57,44 b	62,92 ab	32,12 c	30,52 c	63,96 a	49,64 b	49,68 b	44,62 bc	27,06 c	28,60 c
	DP	27,17	10,23	11,33	8,19	6,29	1,79	31,11	8,30	8,33	4,63	2,89	0,41
	CV (%)	35,38	17,84	19,72	13,01	19,57	5,87	48,64	16,73	16,77	10,38	10,68	1,44
V (%)	Média	54,77a	8,17 d	39,91 b	7,59 d	24,37 c	16,09 cd	19,74 a	6,67 c	12,00 c	7,29 c	15,77 b	12,57 bc
	DP	16,42	1,96	14,12	1,57	11,10	1,42	9,16	1,06	5,99	0,92	6,01	1,24
	CV (%)	29,97	24,02	35,38	20,71	45,55	8,81	46,43	15,91	49,94	12,67	38,13	9,90

⁽¹⁾ DP: desvio-padrão; ⁽²⁾ CV: coeficiente de variação; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; Prem: fósforo remanescente; H+Al: acidez potencial ou acidez total; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: porcentagem de saturação por bases. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 %.

fraca, quando GDE > 75 %. Na profundidade de 0,0-0,2 m, os valores médios do GDE foram de 11,65; 58,31; e 46,66 %, respectivamente nos solos das áreas A, B e C; e na profundidade de 0,2-0,4 m, de 15,66; 27,51 e 31,23 %, respectivamente nos solos das áreas A, B e C.

O alcance representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si. Diferentes valores de alcance foram encontrados para as várias frações granulométricas, nos diferentes solos e nas profundidades estudadas. Na profundidade de 0,0-0,2 m, o solo da área A apresentou os maiores alcances em

todas as frações granulométricas estudadas, quando comparado aos solos das demais áreas. Os valores médios foram de 117, 72 e 66 m, para os solos das áreas A, B e C, respectivamente. Na profundidade de 0,2-0,4 m, os alcances médios foram de 113, 119 e 59 m, para os solos das áreas A, B e C, respectivamente.

A análise dos valores de alcance (Quadro 4) e dos de CV (Quadro 1) permite melhor compreensão do comportamento da variabilidade dos atributos do solo. Assim, os resultados médios de alcance dos variogramas contradizem a variabilidade inferida unicamente por meio da estatística descritiva, demonstrando que a menor variabilidade ocorre no solo da área A e a maior, no da área C. Como o solo da

Quadro 3. Valores médios dos constituintes da cor dos solos estudados na profundidade de 0,0-0,2 m

Atributo	Estatística	Área A		Área B		Área C	
		Produção	Vegetação	Produção	Vegetação	Produção	Vegetação
Matiz	Média	9,33 b	9,48 ab	9,55 a	9,45 ab	8,62 c	8,84 c
	DP ⁽¹⁾	0,33	0,11	0,14	0,10	0,30	0,22
	CV (%) ⁽²⁾	3,58	1,21	1,50	1,08	3,48	2,44
Valor	Média	4,84 b	5,03 b	4,90 b	4,68 b	6,42 a	6,34 a
	DP	0,51	0,21	0,20	0,27	0,21	0,18
	CV (%)	10,52	4,13	4,17	5,66	3,21	2,88
Croma	Média	2,34 b	2,60 b	2,62 b	2,46 b	4,12 a	3,93 a
	DP	0,18	0,11	0,14	0,13	0,32	0,16
	CV (%)	7,60	4,19	5,48	5,39	7,78	4,19

⁽¹⁾ DP: desvio-padrão; ⁽²⁾ CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5 %.

Quadro 4. Parâmetros ajustados aos variogramas experimentais no modelo esférico relativo aos atributos granulométricos dos solos estudados nas profundidades de 0,0-0,2 e 0,2-0,4 m

Atributo	Área	C ₀	C ₀ + C ₁	GDE (%)	Alcance	R ²	SQR
0,0-0,2 m							
Argila	A*	71,85	1044,03	6,88	87,60	0,65	2,71E+05
	B	278,85	517,95	53,84	67,70	0,82	3,75E+03
	C	287,57	956,63	30,06	75,45	0,99	2,53E+03
Silte	A	19,98	326,95	6,11	131,10	0,98	2,10E+03
	B	229,78	404,70	56,78	111,91	0,91	1,99E+03
	C**	6,34E-03	1,47E-02	43,19	63,50	0,81	6,57E-06
Areia total	A	4,37	4176,53	0,10	171,49	0,99	4,15E+05
	B	274,28	562,40	48,77	50,13	0,84	3,10E+03
	C	284,51	1272,72	22,35	60,10	0,98	8,56E+03
Areia grossa	A	33,30	78,80	42,26	108,81	0,90	1,81E+02
	B*	64,20	88,38	72,64	60,09	0,81	4,41E+01
	C	9,92	19,09	51,96	48,17	0,76	7,98E+00
Areia fina	A*	22,80	780,74	2,92	87,87	0,52	1,68E+05
	B*	257,23	432,02	59,54	68,70	0,90	2,10E+03
	C	209,32	657,97	31,81	83,60	0,97	4,60E+03
0,2-0,4 m							
Argila	A*	0,14	949,26	0,01	96,93	0,78	1,53E+05
	B	232,95	507,47	45,90	92,75	0,95	1,99E+03
	C	553,44	1356,49	40,80	82,62	0,96	1,18E+04
Silte	A*	48,55	166,30	29,19	80,37	0,55	6,75E+03
	B**	1,40E-02	3,38E-02	41,46	130,03	0,90	3,52E-06
	C	126,93	197,54	64,26	56,02	0,89	2,11E+02
Areia total	A	0,16	2735,62	0,01	149,28	0,99	8,98E+04
	B**	2,94E-04	4,58E-04	64,24	51,11	0,45	6,10E-09
	C	398,00	991,97	40,12	75,69	0,96	7,24E+03
Areia grossa	A	36,77	81,04	45,38	143,75	0,84	3,23E+02
	B	38,70	152,48	25,38	160,80	0,97	3,92E+02
	C	11,24	24,03	46,80	33,50	0,91	1,72E+00
Areia fina	A*	26,07	730,80	3,57	95,70	0,71	1,24E+05
	B	233,04	707,10	32,96	158,73	0,96	8,58E+03
	C**	2,90E-03	5,67E-03	51,09	47,32	0,81	6,73E-07

C0: efeito pepita; C0 + C1: patamar; GDE: grau de dependência espacial ((C0/(C0+C1))*100); R²: coeficiente de determinação; SQR: soma de quadrado dos resíduos; * retirada de tendência; e ** transformação logarítmica.

área A é o manejado há mais tempo, bem como o da área C há menos tempo, fica assim demonstrada a contribuição do manejo para a homogeneização da camada superficial.

Todos os valores dos atributos químicos dos solos, das três áreas, quando houve dependência espacial, foram ajustados ao modelo esférico (Quadros 5 e 6). Ajuste semelhante também foi obtido por Silva Neto et al. (2011). A maioria dos atributos químicos dos solos estudados apresentou dependência espacial moderada a forte. Na profundidade de 0,0-0,2 m, à exceção de K, Mg e V% no solo da área B, que evidenciou Efeito Pepita Puro (EPP), todos os demais

atributos químicos do solo apresentaram GDE moderada a forte, sendo o GDE moderado predominante na maioria dos atributos. Os valores médios de GDE foram de 39,14; 55,42; e 54,83 % para os solos das áreas A, B e C, respectivamente.

Para a profundidade de 0,20 a 0,40 m, foi observada ausência de dependência espacial, caracterizada pelo EPP, para os atributos: V% (área A); P, K, Ca, Mg e SB (área B); e Ca (área C). Sob essas condições, a avaliação desses atributos é feita exclusivamente pela estatística descritiva. Nessa profundidade, os valores médios do GDE foram de 36,68; 45,74; e 39,91 % para os solos das áreas A, B e C, respectivamente.

Quadro 5. Modelos e parâmetros ajustados aos variogramas experimentais dos atributos químicos dos solos estudados na profundidade de 0,0-0,2 m

Atributo	Área	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	GDE (%)	Alcance	R ²	SQR
pH	A	Esférico	0,13	0,22	57,15	153,07	0,94	4,20E-04
	B**	Esférico	3,40E-03	4,50E-03	75,46	65,96	0,94	2,92E-08
	C	Esférico	3,99E-02	9,14E-02	43,65	50,22	0,96	2,72E-05
MO	A	Esférico	1,00E-01	1,12E+02	0,09	182,37	0,98	3,83E+02
	B	Esférico	6,38	12,09	52,74	53,98	0,83	1,60E+00
	C**	Esférico	1,92E-02	3,81E-02	50,35	40,06	0,81	1,89E-05
Prem	A**	Esférico	0,30	0,50	60,64	151,29	0,94	2,14E-03
	B**	Esférico	0,26	0,38	68,81	69,84	0,81	9,11E-04
	C	Esférico	51,44	95,27	53,99	32,69	0,87	4,19E+01
K	A	Esférico	0,15	0,34	45,80	165,19	0,84	6,38E-03
	B**	EPP	0,13	-	-	-	-	-
	C**	Esférico	5,37E-02	8,46E-02	63,49	73,33	0,87	5,77E-05
Ca	A	Esférico	78,48	196,60	39,92	179,50	0,91	1,29E+03
	B**	Esférico	8,26E-02	1,19E-01	69,14	61,63	0,86	1,00E-04
	C**	Esférico	5,86E-02	9,32E-02	62,91	80,39	0,68	3,28E-04
Mg	A	Esférico	30,77	82,14	37,46	193,26	0,97	6,65E+01
	B**	EPP	0,16	-	-	-	-	-
	C**	Esférico	0,12	0,16	69,80	66,02	0,76	5,16E-04
Prem	A*	Esférico	9,65	18,90	51,05	63,02	0,68	1,17E+01
	B	Esférico	10,43	14,57	71,61	76,31	0,70	3,05E+00
	C	Esférico	3,08	4,44	69,43	65,15	0,87	1,03E-01
H+Al	A**	Esférico	0,07	0,27	26,78	178,91	0,97	1,15E-03
	B	Esférico	68,43	91,90	74,46	99,90	0,78	1,85E+02
	C	Esférico	12,95	25,93	49,93	74,00	0,86	1,43E+01
SB	A	Esférico	197,00	532,21	37,02	184,74	0,96	4,35E+03
	B**	Esférico	6,67E-02	9,59E-02	69,58	49,58	0,96	7,40E-06
	C	Esférico	3,15	8,76	35,95	176,01	0,93	2,83E+00
CTC	A*	Esférico	64,00	379,85	16,85	101,20	0,91	5,20E+03
	B	Esférico	36,55	92,77	39,40	48,77	0,84	8,99E+01
	C	Esférico	14,38	24,97	57,57	73,09	0,94	3,76E+00
V%	A	Esférico	176,23	298,53	59,03	147,04	0,94	7,25E+02
	B**	EPP	0,11	-	-	-	-	-
	C**	Esférico	0,06	0,16	33,76	169,95	0,92	1,39E-03

EPP: efeito pepita puro; C0: efeito pepita; C0+ C1: patamar; GDE: grau de dependência espacial $((C_0/(C_0+C_1))^*100)$; R²: coeficiente de determinação; SQR: soma de quadrado dos resíduos; * retirada de tendência; e ** transformação logarítmica. MO: matéria orgânica; Prem: fósforo remanescente; H+Al: acidez potencial ou acidez total; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: porcentagem de saturação por bases.

Quadro 6. Modelos e parâmetros ajustados aos variogramas experimentais dos atributos químicos dos solos estudados na profundidade 0,2-0,4 m

Atributo	Área	Modelo	C ₀	C ₀ + C ₁	GDE (%)	Alcance	R ²	SQR
pH	A	Esférico	2,29E-02	5,09E-02	45,04	65,69	0,73	9,02E-05
	B**	Esférico	7,42E-04	1,23E-03	60,31	57,06	0,89	8,53E-09
	C**	Esférico	7,76E-04	1,87E-03	41,45	50,40	0,88	4,62E-08
MO	A**	Esférico	0,02	0,22	7,02	214,81	0,98	1,09E-03
	B	Esférico	1,74	3,61	48,22	44,03	0,88	1,21E-01
	C**	Esférico	0,04	0,07	50,15	49,52	0,92	5,55E-05
Prem	A**	Esférico	0,09	0,16	56,77	179,80	0,94	3,69E-04
	B**	EPP	0,37	-	-	-	-	-
	C**	Esférico	0,07	0,11	58,80	42,91	0,85	5,26E-05
K	A**	Esférico	9,55E-03	1,77E-02	53,95	155,50	0,85	9,09E-06
	B**	EPP	0,11	-	-	-	-	-
	C**	Esférico	0,05	0,13	37,30	34,40	0,84	1,57E-04
Ca	A**	Esférico	0,16	0,46	33,50	176,94	0,99	1,15E-03
	B**	EPP	0,14	-	-	-	-	-
	C**	EPP	0,07	-	-	-	-	-
Mg	A**	Esférico	0,23	0,62	37,01	192,06	0,94	1,04E-02
	B**	EPP	0,23	-	-	-	-	-
	C**	Esférico	0,07	0,14	54,04	47,08	0,70	5,39E-04
H+Al	A**	Esférico	1,00E-04	0,22	0,04	160,30	0,98	1,22E-03
	B**	Esférico	2,00E-02	3,58E-02	55,94	78,48	0,94	6,12E-06
	C**	Esférico	6,78E-03	1,88E-02	36,15	53,60	0,96	2,39E-06
SB	A	Esférico	42,30	87,32	48,44	156,6	0,971	1,76E+01
	B	EPP	0,11	-	-	-	-	-
	C**	Esférico	2,36E-02	3,83E-02	61,73	42,59	0,694	2,51E-05
CTC	A	Esférico	602,49	1105,00	54,52	150,30	0,711	8,45E+04
	B	Esférico	37,57	70,10	53,60	57,06	0,94	2,14E+01
	C**	Esférico	3,78E-03	1,03E-02	36,84	59,00	0,96	4,71E-07
V%	A	EPP	0,20	-	-	-	-	-
	B**	Esférico	1,02E-01	1,27E-01	79,99	75,06	0,721	9,42E-05
	C**	Esférico	2,49E-02	4,29E-02	58,01	46,09	0,873	1,77E-05

EPP: efeito pepita puro; C₀: efeito pepita; C₀ + C₁: patamar; GDE: grau de dependência espacial ((C₀/(C₀+C₁))*100); R²: coeficiente de determinação; SQR: soma de quadrado dos resíduos; * retirada de tendência; e ** transformação logarítmica. MO: matéria orgânica; Prem: fósforo remanescente; H+Al: acidez potencial ou acidez total; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: porcentagem de saturação por bases.

A forte dependência espacial dos atributos do solo é atribuída a fatores intrínsecos, enquanto a dependência espacial moderada, a fatores extrínsecos (Carvalho et al., 2003). Assim, Silva Neto et al. (2011) creditaram a forte dependência espacial encontrada para os atributos químicos do solo a qualquer um dos fatores de formação desse, principalmente ao material de origem e relevo, enquanto a dependência espacial moderada seria em razão da sua homogeneização, que as adubações e calagens proporcionam ao solo.

Os atributos químicos do solo apresentaram diferentes alcances nas áreas e profundidades estudadas; entretanto, verificou-se que o solo da área

A, com exceção dos atributos P-rem e V% na camada superficial, apresentou os maiores valores de alcance para todos os atributos, nas duas profundidades. O alcance médio para a camada superficial foi de 155, 66 e 82 m para os solos das áreas A, B e C, respectivamente.

Na camada de 0,2-0,4 m, as médias dos alcances foram de 161, 80 e 55 m para os solos das áreas A, B e C, respectivamente. Também os valores dos alcances evidenciaram maior homogeneidade do solo da área A, em relação aos demais. Observou-se que, tanto para os atributos da granulometria quanto para os químicos, nas duas profundidades estudadas, os valores médios dos alcances são sempre maiores nos solos das

áreas A e B, os quais estão localizados em áreas côncavas, e menores no solo da área C, localizado em área convexa, mostrando a influência do relevo no comportamento desses atributos. Resultados semelhantes foram encontrados por Barbieri et al. (2008). Para Marques Jr & Lepsch (2000), o entendimento das causas da variabilidade do solo está intimamente relacionado ao conhecimento dos processos do solo que operam em locais específicos. Tais processos estão relacionados à água, sendo o relevo o principal controlador de sua intensidade e de seu fluxo em determinada área.

Segundo McBratney & Webster (1983), o conhecimento do alcance é importante na definição da ótima intensidade de amostragem, visando a reduzir o erro-padrão da média, além de aumentar a representatividade da amostra. Para Montanari et al. (2005), o número de amostras varia segundo o relevo. Os locais da paisagem sob a mesma classe de solo e manejo semelhante, influenciados pela pedofoma e declive, apresentam padrões de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo diferenciados, devendo-se considerar a paisagem como fator relevante em estratégia de amostragem de solo.

Todos os constituintes da cor do solo apresentaram GDE, sendo considerado forte para o atributo matiz no solo da área A; fraco, para o da área B; e moderado, para os demais solos (Quadro 7).

Os maiores alcances para matiz, valor e croma foram observados nos solos das áreas A e B, localizados em pedofoma côncava e originalmente sob vegetação de Cerradão e Cerrado, respectivamente. Os menores alcances para todos os constituintes da cor foram observados no solo da área C, localizado em pedofoma convexa e originalmente sob vegetação de Campo Cerrado. O alcance médio dos constituintes da cor do solo foi de 168, 160 e 56 m para os solos das áreas A, B e C, respectivamente.

Os padrões espaciais dos principais atributos estudados obtidos por meio da krigagem ordinária são

apresentados na figura 2. Esses atributos foram selecionados com base na sua relevância para a caracterização das diferentes áreas. Os padrões espaciais dos atributos da área A apresentaram-se mais homogêneos, em comparação aos das áreas B e C. Esse fato é observado em razão do maior espaçamento entre as classes de variabilidade da área A em relação às demais. Essa maior homogeneidade é reflexo dos maiores alcances obtidos nos variogramas dos atributos da área A, que, por sua vez, podem ser explicados pelo maior tempo de cultivo dessa área em relação às demais, associada à sua localização em pedofoma côncava. Segundo Souza et al. (2003), a forma côncava possui menor variabilidade em relação à forma linear, e essa em relação à convexa. O padrão espacial do matiz da área B apresentou a maior erraticidade entre os atributos estudados, caracterizada pela intensa irregularidade na divisão entre as classes de variabilidade. Esse fato resulta da alta contribuição do efeito pepita para o modelo de dependência espacial, caracterizado pelo maior valor de GDE (80,17 %), entre os atributos estudados. Segundo Souza et al. (2006), mesmo que pequenas, as variações da forma da paisagem influem significativamente na dinâmica do fluxo de água superficial e subsuperficial, influenciando na variabilidade dos atributos do solo.

A comparação entre os padrões espaciais dos atributos das diferentes áreas evidencia a maior semelhança entre os atributos da área A. Esses apresentam altas intensidades de coeficientes de correlação ($p < 0,01$), variando de 0,74 (croma \times matiz) a 0,95 (valor \times MO), sendo essa última correlação negativa. Nas áreas B e C, os coeficientes de correlação ($p < 0,05$) variaram de 0,04 (argila \times Prem) a 0,85 (valor \times croma) e de 0,03 (matiz \times CTC) a 0,79 (valor \times croma), respectivamente. Essa maior semelhança deve-se ao padrão mais homogêneo da área A em relação às demais, tornando as linhas de isovalores mais coincidentes.

Quadro 7. Parâmetros ajustados aos variogramas experimentais no modelo esférico relativo aos dados dos constituintes da cor dos solos estudados na profundidade 0,0-0,2 m

Atributo	Área	C_0	$C_0 + C_1$	GDE (%)	Alcance	R^2	SQR
Matiz	A	1,00E-04	1,42E-01	0,07	157,61	1,00	1,34E-04
	B*	9,58E-03	1,20E-02	80,17	100,30	0,89	3,24E-07
	C	3,37E-02	7,21E-02	46,73	52,45	0,84	6,36E-05
Valor	A	1,00E-04	3,47E-01	0,03	173,32	0,97	5,97E-03
	B	1,57E-02	4,90E-02	31,99	210,29	0,94	7,00E-05
	C	2,27E-02	3,65E-02	62,16	59,92	0,80	1,80E-05
Croma	A	9,98E-03	1,91E-02	52,25	172,50	0,96	3,94E-06
	B	1,25E-02	2,18E-02	57,29	168,22	0,91	6,84E-06
	C	5,87E-02	9,58E-02	61,28	62,89	0,84	1,23E-04

C_0 : efeito pepita; $C_0 + C_1$: patamar; GDE: grau de dependência espacial ($(C_0/(C_0+C_1))*100$); R^2 : coeficiente de determinação; SQR: soma de quadrado dos resíduos; * retirada de tendência.

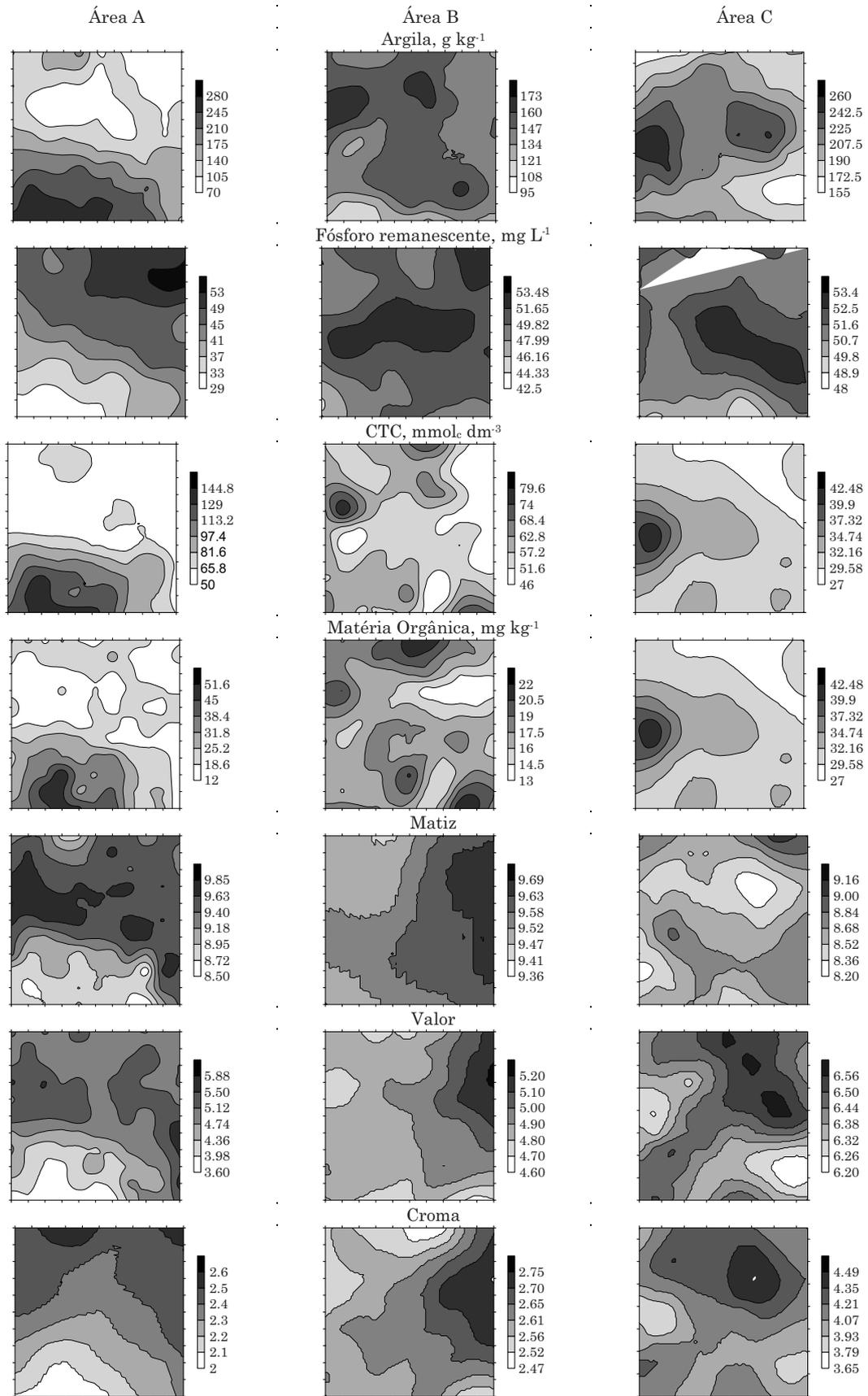


Figura 2. Padrão espacial dos atributos físicos (argila), químicos (fósforo remanescente, CTC e matéria orgânica) e cor do solo (matiz, valor e croma) para a profundidade de 0,0-0,20 m.

CONCLUSÕES

1. O relevo, associado à vegetação nativa, pode ser utilizado no mapeamento de áreas mínimas de manejo. Os locais de ocorrência da vegetação denominada Campo Cerrado, em pedofoma convexa, apresentam maior variabilidade espacial e menor potencial de resposta ao manejo da cultura de soja.

2. Em solos coesos, onde a variação do relevo não é perceptível no campo, e há ausência de vegetação nativa, a cor do solo pode ser indicador dos diferentes padrões de variabilidade da granulometria e dos atributos químicos do solo, podendo auxiliar na definição de áreas mínimas de manejo para cultura da soja.

LITERATURA CITADA

- ALHEIROS, M.M.; LIMA FILHO, M.F.; MONTEIRO, F.A.J. & OLIVEIRA FILHO, J.S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. Anais... Belém, Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. p.753-760.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo, 25:27-32, 2000.
- BARBIERI, D.M.; MARQUES JR, J.; ALLEONI, L.R.F.; GARBUIO, F.J. & CAMARGO, L.A. Hillslope curvature, clay mineralogy, and phosphorus adsorption in an Alfisol cultivated with sugarcane. Sci. Agric., 66:819-826, 2009.
- BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J.M. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. Eng. Agríc., 28:645-653, 2008.
- BARRÓN, V.; MELLO, J.W.V. & TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. v.1, p.139-162.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J. & SOUTHARD, R.J. Soil Genesis and Classification. 4.ed. Iowa, Wiley-Blackwell, 1997. 527p.
- CAMARGO, L.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. & HORVAT, R.A. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas de relevo. I - Mineralogia da fração argila. R. Bras. Ci. Solo, 32:2269-2277, 2008.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOOMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURVO, R.F. & KANOPA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 47:1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M.C.C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; MONTANARI, R. & CAMARGO, L.A. Relações solo-paisagem em uma litosssequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto - SP. R. Bras. Ci. Solo, 31:519-539, 2007.
- CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y. & FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). R. Bras. Ci. Solo, 27:695-70, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- GOMES, J.B.V.; BOLFE, E.L.; CURTI, N.; FONTES, H.R.; BARRETO, A.C. & VIANA, R.D. Variabilidade espacial de atributos dos solos em unidades de manejo em área-piloto de produção integrada de coco. R. Bras. Ci. Solo, 32:2471-2482, 2008.
- MARANHÃO. Governo do Estado. Atlas do Maranhão. 2.ed. São Luís, Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico, 2002. 39p.
- ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. Applied geostatistics. Nova York, Oxford University Press, 1989. 561p.
- MARQUES JR, J. & LEPSCH, I.F. Depósitos superficiais neocenoicos em superfícies geomórficas e solos em Monte Alto - SP. Geociência, 19:90-106, 2000.
- MARQUES JR., J.; SIQUEIRA, D.S.; CAMARGO, L.A.; TEIXEIRA, D.D.B.; BARRÓN, V. & TORRENT, J. Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. Geoderma, 219:63-71, 2014.
- McBRATNEY, A.B. & WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 135:177-183, 1983.
- MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. & SOUZA, Z.M. Forma da paisagem como critério para otimização amostral de Latossolos sob cultivo de cana-de-açúcar. Pesq. Agropec. Bras., 40:69-77, 2005.
- NOORBAKSH, S.; SCHOENAU, J.; SI, B.; ZEZEKE, T. & QIAN, P. Soil properties, yield, and landscape relationships in South-Central Saskatchewan, Canada. J. Plant Nutr., 31:539-556, 2008.
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285p.
- RAIJ, B.van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100)
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: Base para distinção de ambientes. 5.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007. 322p.

- SAMPAIO, M.S.; ALVES, M.C.; SILVA, F.M.; POZZA, E.A. & OLIVEIRA, M.S. Avaliação do comportamento da variabilidade espacial do fósforo remanescente no solo de lavoura cafeeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., Curitiba, 2011. Anais... Curitiba, Sociedade Brasileira de Sensoriamento Remoto, 2011. p.9203-9210.
- SANCHEZ, R.B.; MARQUES JÚNIOR., J.; PEREIRA, G.T.; SOUZA, Z.M. & MARTINS FILHO, M.V. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. *Bragantia*, 68:873-884, 2009.
- SANCHEZ, R.B.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; BARACAT NETO, J.; SIQUEIRA, D.S. & SOUZA, Z.M. Mapeamento das formas do relevo para estimativa de custos de fertilização em cana-de-açúcar. *Eng. Agríc.*, 32:280-292, 2012.
- 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. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1369-1377, 2008.
- SILVA NETO, S.P.; SANTOS, A.C.; LEITE, R.L.L.; DIM, V.P.; CRUZ, R.S.; PEDRICO, A. & NEVES NETO, D.N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. *Semina: Ci. Agron.*, 32:541-552, 2011.
- SIQUEIRA, D.S.; MARQUES JR., J. & PEREIRA, G.T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. *Geoderma*, 155:55-66, 2010.
- SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V. & PEREIRA, G.T. Influência do relevo e erosão na variabilidade espacial de um Latossolo em Jaboticabal (SP). *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1067-1074, 2003.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T. & BARBIERI, D.M. Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. *Sci. Agric.*, 63:161-168, 2006.
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR. J. & PEREIRA, G.T. Spatial variability of the physical and mineralogical properties of the soil from the areas with variation in landscape shapes. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 52:305-316, 2009.
- PARKIN, T.B. Spatial variability of microbial processes in soil - a review. *J. Environ. Qual.*, 22:409-417, 1993.
- TEIXEIRA, D.D.B.; BICALHO, E.S.; PANOSSO, A.R.; PERILLO, L.I.; IAMAGUTI, J.L.; PEREIRA, G.T. & LA SCALA Jr., N. Uncertainties in the prediction of spatial variability of soil CO₂ emissions and related properties. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:1466-1475, 2012.
- VIEIRA, S.R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H. & SCHAEFER, C.E.G.R., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.
- VISCARRA ROSSEL, R.A. Fine-resolution multiscale mapping of clay minerals in Australian soils measured with near infrared spectra. *J. Geophys. Res.*, 116:1-15, 2011.