



Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica

Spatial variability of soil attributes as indicators of environmental deterioration in watersheds

Luis César de Aquino Lemos Filho¹, Larissa Luana Nicodemos Ferreira², Daniel Lima de Lyra³

Resumo: O uso e a exploração além da capacidade de suporte e a ausência de práticas conservacionistas trazem consequências negativas para os solos, como impactos em suas propriedades físicas e químicas, acelerando o processo de degradação. Logo, o conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo, como densidade e matéria orgânica, pode contribuir para o seu manejo adequado. Com isso, objetivou-se estudar a dependência espacial dessas duas variáveis, densidade e matéria orgânica do solo, por meio de técnicas da geoestatística. O trabalho foi realizado numa microbacia hidrográfica de cabeceira, no município de Andrelândia-MG. Foram selecionados 58 pontos, nos quais foram analisados os dois atributos nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade. Os resultados mostraram que a camada de 0-0,2 m apresenta-se menos compactada e com maior teor de matéria orgânica quando comparada com a camada de 0,2-0,4 m. O modelo do semivariograma que apresentou maior dependência espacial foi o exponencial. A densidade e a matéria orgânica do solo apresentaram dependência espacial, o que mostra a importância desses estudos para manejar adequadamente o solo, visto que a krigagem mostrou ser uma relevante ferramenta no conhecimento da dinâmica espacial da densidade do solo e da matéria orgânica na microbacia, podendo ser utilizada na tomada de decisão, tanto para a conservação quanto para a manutenção da qualidade dos recursos naturais.

Palavras-chave: Densidade do solo. Geoestatística. Matéria orgânica.

Abstract: The use and exploitation beyond its support capacity, and the absence of conservation practices, have negative effects on the soil, such as impacting on its physical and chemical properties, and accelerating the process of degradation. Therefore, knowledge of the spatial variability of soil properties, such as density and organic matter, may contribute to its proper management. The aim of this work was to study the spatial dependence of the two variables, soil density and soil organic matter, using geostatistical techniques. The work was carried out in a watershed in the town of Andrelândia in the State Minas Gerais, Brazil. A total of 58 points were selected, where the two attributes were analysed in the 0-0.2 and 0.2-0.4 m layers. The results showed that the 0-0.2 m layer is less compacted and has a higher organic matter content compared to the 0.2-0.4 m layer. An exponential semivariogram model displayed the greatest spatial dependence. Soil density and organic matter showed spatial dependence, demonstrating the importance of these studies to adequate soil management, since kriging proved to be an appropriate tool to obtain knowledge of the spatial dynamics of soil and organic matter density in the watershed, which can then be used in decision-making, for the conservation and maintenance of the quality of natural resources.

Key words: Soil density. Geostatistics. Organic matter.

*Autor para correspondência

Enviado para publicação em 21/04/2016 e aprovado em 08/03/2017

¹Engenheiro Agrônomo, Prof. D.Sc. Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Av. Francisco Mota, 572, Bairro Costa e Silva, CEP: 59.625-900, Mossoró-RN, Brasil, telefone: (84) 3317-8330, ramal: 1484, e-mail: lcafilho@ufersa.edu.br

²Engenheira Agrícola, Doutoranda em Manejo de Solo e Água, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, Brasil, e-mail: larissa.nic@hotmail.com

³Engenheiro Agrícola e Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, Brasil, e-mail: daniel.aryl@gmail.com

INTRODUÇÃO

O uso de recursos naturais, entre eles os solos, é crescente nas bacias hidrográficas, podendo levá-los à degradação, por exemplo: alterações nas propriedades físicas e químicas do solo, ocasionando a aceleração dos processos de degradação ambiental. Logo, descrever e mapear a variabilidade espacial dessas propriedades pode ser um passo importante na determinação de um manejo mais adequado na bacia hidrográfica.

Vários estudos relatam que as propriedades do solo apresentam correlação ou dependência espacial (HÉBRARD *et al.*, 2006; GOMES *et al.*, 2007; VIEIRA *et al.*, 2007; LEMOS FILHO *et al.*, 2008; LIMA *et al.*, 2014; GUIMARÃES *et al.*, 2016), o que tem sido objeto de alguns estudos em bacias hidrográficas nos últimos anos.

Nesse contexto, a modelagem geoestatística é uma poderosa ferramenta que tem contribuído cada vez mais para as pesquisas ambientais, pois sua utilização permite identificar a existência ou não de dependência espacial entre as observações, podendo ser aplicada em mapeamentos, orientação de futuras amostragens e modelagens, permitindo, assim, estimar o valor do atributo em locais não amostrados, facilitando a gestão dos recursos naturais, especialmente em bacias hidrográficas representativas no contexto pedológico e de uso do solo. Além disso, o uso de mapas permite a identificação de subáreas para fins de manejo diferenciado e integrado, possibilitando o desenvolvimento de modelos mais precisos e adequados para condição específica de cada bacia hidrográfica.

Dentre os atributos físicos e químicos do solo, a densidade e a matéria orgânica estão entre os melhores indicadores de qualidade do solo, pois se relaciona com inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas (MELLONI *et al.*, 2008). Vezzani e Mielniczuk (2009) consideraram esses atributos como eficientes indicadores para discriminar a qualidade do solo induzida por diferentes manejos do solo.

Logo, objetivou-se analisar com este trabalho, através da geoestatística, o padrão da dependência espacial da densidade e da matéria orgânica do solo, em uma microbacia hidrográfica de cabeceira, e elaborar mapas de variabilidade espacial para subsidiar o melhor manejo do solo no contexto ambiental.

MATERIAL E MÉTODOS

A microbacia hidrográfica estudada (área de 1,83 km²) deságua no Rio Aiuruoca, importante afluente do Rio Grande, que por sua vez é um dos principais afluentes do Rio Paraná. Seu exutório situa-se na latitude 7598846,14 e longitude 560709,32 (coordenadas UTM de projeção Sad 69, zona 23), com altitude média de 1.000 m, no

município de Andrelândia-MG. Essa microbacia foi escolhida por possuir relevante representação para estudos hidrológicos, por estar localizada na região do Alto Rio Grande, sendo caracterizada como uma bacia hidrográfica de cabeceira (SILVA; MELLO, 2005). O clima é do tipo Cwb (classificação de Köppen), caracterizado como mesotérmico de verões brandos e suaves e estiagem de inverno. Apresenta temperatura média em torno de 20°C (amplitude média de 13,1° a 25,5°) e média anual de precipitação pluvial de 1.200 mm.

O relevo é predominantemente ondulado, compreendendo 54% da área, 29% são formadas com relevo montanhoso e apenas 17% com relevo plano, o que contribui com elevada energia cinética da drenagem. A unidade pedológica que predomina é o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd), ocupando cerca de 65% da área, sendo encontrado em pequenas ondulações, topo e base das elevações. No restante da área é encontrado o Latossolo Vermelho distrófico típico (LEd) e Cambissolo (C).

A pastagem predomina na cobertura vegetal da microbacia devido à atividade pecuária da bovinocultura leiteira na região. Porém, há pequenas áreas com produção agrícola mais acentuada, com cultivos forrageiros e pomares frutíferos. Também foi detectada a existência de pequenas porções de florestas do bioma Mata Atlântica em algumas áreas de preservação permanente (APP), conforme se verifica na Figura 1.

Para o estudo da dependência espacial e o mapeamento da variabilidade espacial da densidade e da matéria orgânica do solo na microbacia, foi traçado um grid espaçado de 180 x 180 m, cobrindo toda a microbacia, totalizando 58 pontos amostrais (Figura 2). Para o traçado do grid e a obtenção das coordenadas UTM de cada ponto, utilizou-se o software SPRING. Os dados foram georreferenciados em coordenadas UTM por ser um sistema métrico que permite aplicações com mínima deformação da área. A alocação dos pontos em campo foi realizada com auxílio de GPS de navegação.

Em cada ponto, foram coletadas amostras indeformadas e deformadas para a determinação dos atributos densidade do solo (Ds) e teor de matéria orgânica (MO), respectivamente, nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade do solo. As amostras foram encaminhadas para análise no Laboratório de Física e Fertilidade do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A densidade do solo foi determinada conforme descrito em Reichardt e Timm (2004) e o teor de matéria orgânica conforme a metodologia descrita em Donagema *et al.* (2011). A estatística clássica foi aplicada para a verificação da normalidade dos dados, por meio do teste de aderência à normalidade de Shapiro-Wilk, e para a obtenção das medidas de posição (média, valores máximo e mínimo) e dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação), antes da análise geoestatística. As análises geoestatísticas e os mapeamentos foram realizados pelos softwares GeoR

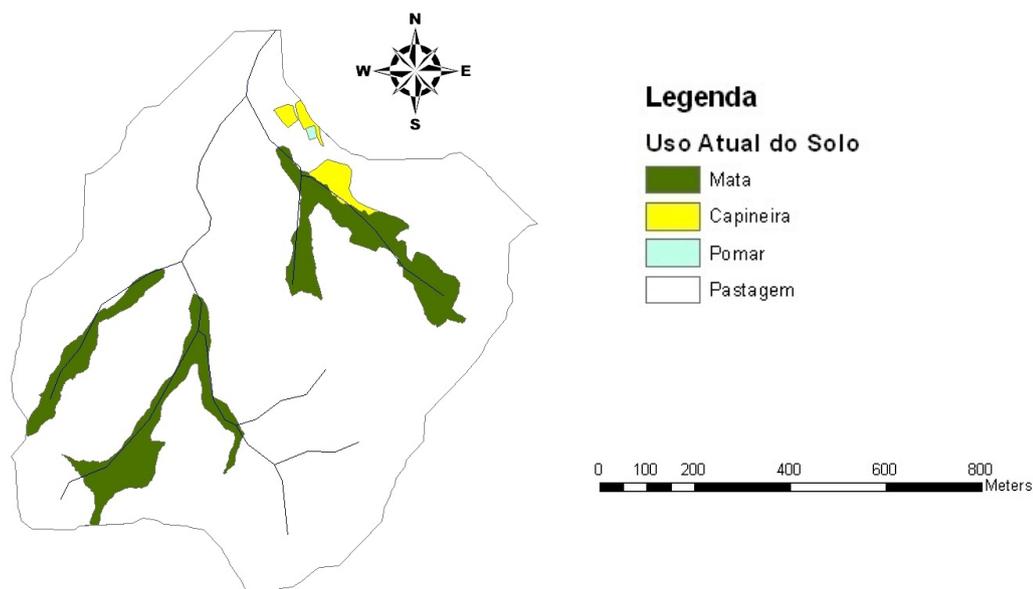


Figura 1 - Mapa de uso e ocupação do solo com cobertura vegetal.
 Figure 1 - Map of land use and with vegetation cover.

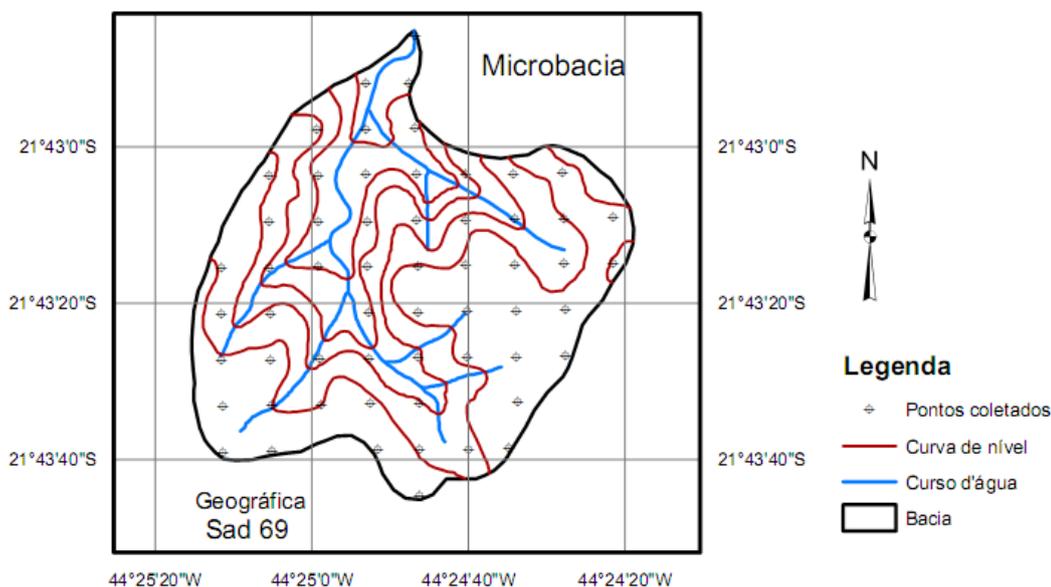


Figura 2 - Mapa de distribuição dos pontos de coleta de solo.
 Figure 2 - Distribution map of the soil sampling points.

2.3.1 (RIBEIRO JR; DIGGLE, 2001) e GS+ 7.0 (Gamma Design Software, 2004). Após a análise exploratória e construção dos semivariogramas experimentais, foram ajustados os semivariogramas teóricos pela máxima verossimilhança para os modelos esférico, exponencial e gaussiano. A estrutura de dependência espacial dos modelos testados foi avaliada pelo grau da dependência

(forte, moderado ou fraco), conforme Cambardella *et al.* (1994), e pelo coeficiente de correlação do modelo (R^2). Uma vez detectada a estrutura de dependência espacial, foi realizada a validação cruzada para o modelo utilizado em cada mapeamento. Os mapas de variabilidade espacial foram construídos por meio do interpolador geoestatístico de krigagem, via GS+ 7.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 3 e 4 podem ser observados os gráficos “box plot” que demonstram parte das análises exploratórias para

os dados de densidade do solo (Ds) e teor de matéria orgânica (MO), respectivamente, em ambas as camadas estudadas (0-0,2 e 0,2-0,4 m). Pode-se observar a dispersão dos dados em torno da mediana e sua distribuição, visualizando-se

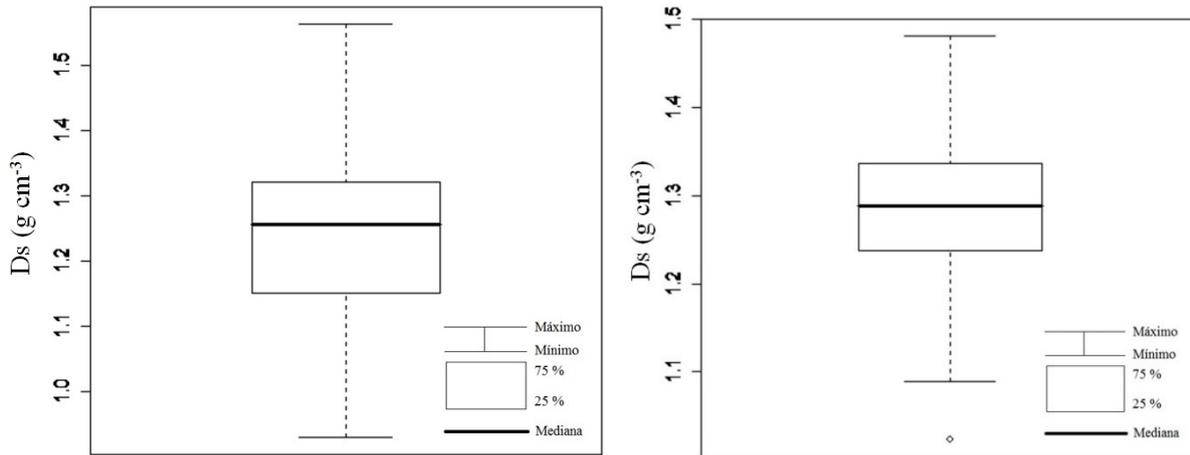


Figura 3 - Box plot da Densidade do solo - Ds (g cm^{-3}) para as camadas de 0-0,2 (a) e 0,2-0,4 (b) m.
 Figure 3 - Box plot of soil density (g cm^{-3}) for the 0-0.2 m (a) and 0.2-0.4 m (b) layers.

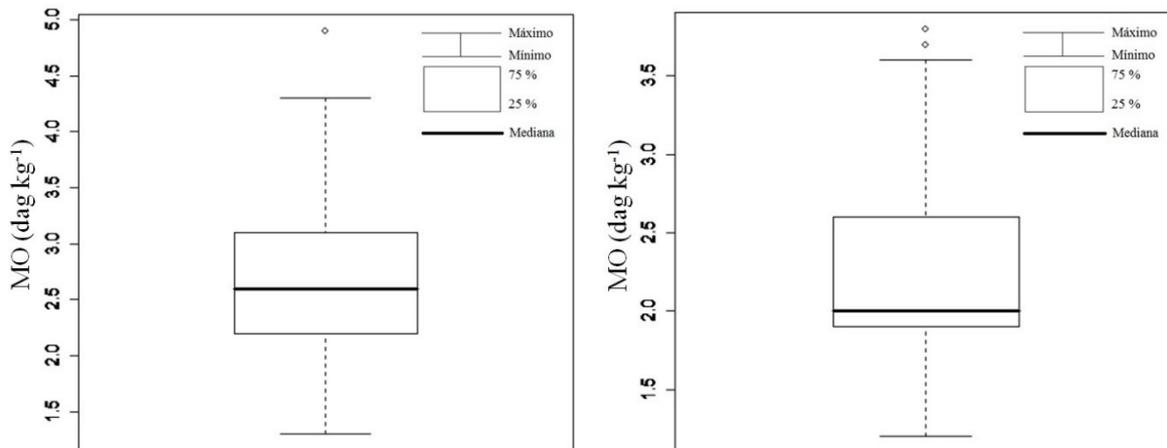


Figura 4 - Box plot da Matéria orgânica - MO (dag kg^{-1}) para as camadas de 0-0,2 (a) e 0,2-0,4 (b) m.
 Figure 4 - Box plot of organic matter (dag kg^{-1}) for the 0-0.2 m (a) and 0.2-0.4 m (b) layers.

o comportamento da variável em relação à tendência de concentração dos dados (simétrica ou assimétrica). Os gráficos permitem verificar a presença de dados “outliers” ou discrepantes que afetam substancialmente o comportamento do semivariograma, sobretudo na sua parte inicial. Os “outliers” identificados foram removidos para realização das análises geoestatísticas.

Na Tabela 1, encontram-se os resultados da estatística descritiva (análise exploratória) para Ds (g cm^{-3}) e MO (dag kg^{-1}), nas camadas de solo analisadas (0-0,2 e 0,2-0,4 m), para os 58 pontos amostrais da microbacia de estudo.

Visualizam-se os valores das medidas de tendência central (média aritmética - μ , valor máximo - $V_{\text{máx}}$ e valor mínimo - $V_{\text{mín}}$) e medidas de dispersão (desvio padrão - δ , coeficiente de variação - CV, assimetria - CS e curtose - CK), além do teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

Os coeficientes de variação, conforme a classificação de Warrick e Nielsen (1980), apresentaram baixa variação tanto para Ds como MO, nas duas profundidades do solo. Porém, a MO apresentou CVs maiores que Ds, podendo ser um indicativo que a MO se altera de forma mais rápida no ambiente em função da ação biótica e abiótica no meio.

Tabela 1 - Valores da média aritmética (μ), desvio padrão (δ), coeficiente de variação (C.V), valor máximo (V_{\max}), valor mínimo (V_{\min}), e p-value para o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, para a densidade do solo (g cm^{-3}) e matéria orgânica (dag kg^{-1})

Table 1 - Values for arithmetic mean (μ), standard deviation (δ), coefficient of variation (CV), maximum value (V_{\max}), minimum value (V_{\min}), and p-value for the Shapiro-Wilk test for normality, for soil density (g cm^{-3}) and soil organic matter (dag kg^{-1}).

Variável	Camada (m)	μ	δ	V_{\max}	V_{\min}	Assi	Cur	C.V (%)	p-value
MO (dag kg^{-1})	0-0,2	2,77	0,792	4,90	1,30	0,44	-0,22	28,56	0,1543 ^{ns}
	0,2-0,4	2,24	0,642	3,80	1,20	0,75	-0,21	28,66	0,019 ^{ns}
Ds (g cm^{-3})	0-0,2	1,22	0,172	1,56	0,64	-1,21	2,37	14,08	0,3441 ^{ns}
	0,2-0,4	1,25	0,167	1,66	0,75	-0,94	1,69	13,37	0,7678 ^{ns}

ns = não significativo a 1% pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk.

ns = not significant at 1% by the Shapiro-Wilk test for normality.

Entretanto, quando se compara os valores de CV entre as camadas de solo para a mesma variável, observa-se que a alteração foi mínima, mostrando que ambas as camadas apresentaram variações semelhantes para as duas variáveis (Ds e MO).

Os valores médios, máximos e mínimos de Ds e MO nas duas camadas (Tabela 1) mostram que 0-0,2 m apresenta-se menos compactada e com maior teor de matéria orgânica quando comparada a 0,2-0,4 m, a qual apresenta um comportamento oposto, ou seja, mais compactada e um teor de MO menor. A provável causa desse comportamento é que a MO pode ter influenciado diretamente no valor de Ds, pois, para Braida *et al.* (2010), a susceptibilidade à compactação pode ser alterada pelo acúmulo de matéria orgânica. Fato que demonstra a importância do fornecimento de MO no solo visando à manutenção e melhoria da qualidade de suas propriedades físicas, como a Ds. Os resultados desse trabalho corroboram com alguns estudos de manejo de solo, os quais evidenciaram que a MO melhorou as condições físicas do solo, principalmente a densidade (HÉBRARD *et al.*, 2006; GOMES *et al.*, 2007; VIEIRA *et al.*, 2007; LEMOS FILHO *et al.*, 2008).

Conforme Stefanoski *et al.* (2013), os atributos físicos intermediários, como a Ds, são mais utilizados como indicadores da qualidade física do solo, por estarem sujeitos às maiores alterações em função dos sistemas de manejo.

Verifica-se também (Tabela 1), pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk, que os atributos Ds e MO apresentaram distribuição simétrica com tendência à normalidade, uma vez que os valores de p-value apresentaram-se não significativos a 1%, ou seja, aceitando a hipótese de nulidade H_0 de normalidade, conforme (OLIVEIRA *et al.*, 2009). A normalidade dos dados é uma condição desejável para o ajuste dos semivariogramas pela metodologia da máxima verossimilhança, devido ao fato de o ajuste do modelo de semivariograma por essa metodologia não se basear nos pontos do semivariograma e, sim, nas diferenças dos dados originais.

Na Tabela 2, apresentam-se os valores do efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C), alcance (A), grau de dependência espacial (GD) e coeficientes de determinação (R^2) para os dados de Ds e MO para os modelos testados (exponencial, esférico e gaussiano) pela máxima verossimilhança (MV). Para facilitar a comparação do grau de dependência espacial, os valores do grau de dependência (GD) são apresentados como porcentagem do patamar.

Empregando-se a escala de dependência espacial, descrita em Cambardella *et al.* (1994), verifica-se na Tabela 2 que, para os semivariogramas obtidos para os dados de Ds na camada de 0-0,2 m, todos os modelos apresentaram forte dependência espacial, visto que os valores do efeito pepita (C_0) foram inferiores a 25% do valor do patamar. Já na camada de 0,2-0,4 m, apenas o modelo exponencial apresentou forte dependência espacial, os outros modelos (gaussiano e esférico) apresentaram moderada dependência espacial, visto que os valores do efeito pepita (C_0) foram superiores a 25% e inferiores a 75% do valor do patamar.

Para a MO, todos os modelos na camada de 0-0,2 m também apresentaram forte dependência espacial, pois seus valores de efeito pepita (C_0) foram inferiores a 25% do patamar. Em relação à camada de 0,2-0,4 m, apenas o modelo esférico apresentou moderada dependência espacial, visto que o valor do efeito pepita (C_0) foi superior a 25% e inferior a 75% do patamar. Os outros modelos (exponencial e gaussiano) apresentaram forte dependência espacial (efeito pepita < 25% do patamar).

Observando-se simultaneamente os valores dos coeficientes de determinação dos modelos (R^2) e o grau de dependência espacial (GD), verifica-se que, para as duas variáveis estudadas (Ds e MO), o modelo que apresentou melhor ajuste foi o exponencial, resultados iguais aos apresentados nos trabalhos de Souza *et al.* (2006), Lemos Filho *et al.* (2008), Cruz *et al.* (2010), Santos *et al.* (2012), Lima *et al.* (2014) e Negreiros Neto *et al.* (2014).

Os parâmetros dos semivariogramas (Tabela 2) mostraram que o alcance atingiu valores na ordem de 263,27

Tabela 2 - Valores do efeito pepita (C_0), Patamar ($C_0 + C$), Alcance (A), grau de dependência espacial (GD) e coeficiente de determinação (R^2) para os modelos de semivariogramas testados (exponencial, esférico e gaussiano) pelo método da máxima verossimilhança (MV)

Table 2 - Values for the Nugget Effect (C_0), Sill ($C_0 + C$), Range (A), degree of spatial dependence (GD) and coefficient of determination (R^2) for the semivariogram models under test (exponential, spherical and gaussian) by the method of maximum likelihood (MV)

Variável	Camada (m)	Modelo	R^2	C_0	$C_0 + C$	A (m)	GD (%)
Ds	0-0,2	Exponencial	0,461	0,00001	0,0247	402,00	0,04
		Esférico	0,289	0,00068	0,0237	313,00	2,86
		Gaussiano	0,295	0,00001	0,0238	263,27	0,04
Ds	0,2-0,4	Exponencial	0,909	0,00001	0,0265	738,00	0,04
		Esférico	0,957	0,00938	0,0256	792,00	36,55
		Gaussiano	0,947	0,01294	0,0259	730,93	49,81
MO	0-0,2	Exponencial	0,953	0,00100	0,5850	363,00	0,17
		Esférico	0,840	0,02000	0,5720	322,00	3,50
		Gaussiano	0,850	0,00100	0,5740	270,20	0,17
MO	0,2-0,4	Exponencial	0,978	0,01000	0,4220	630,00	2,37
		Esférico	0,996	0,11410	0,3982	563,00	28,65
		Gaussiano	0,938	0,00100	0,3900	348,14	0,26

a 792 metros para a Ds e 270,2 a 630 metros para a MO. Já o efeito pepita correspondeu a uma variação da ordem de 0,04 a 49,81% do patamar para a Ds e 0,17 a 28,65% do patamar para a MO. Essa análise permite constatar que os atributos do solo estudados (Ds e MO) apresentam-se estruturados espacialmente (em maior ou menor grau), ou seja, existe uma função estrutural com semivariância de comportamento modelável.

Os mapas de krigagem com a distribuição espacial da Ds e MO para as camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade do solo podem ser observados nas Figuras 5, 6, 7 e 8. Observa-se que, quando se compara a camada 0-0,2 m de profundidade do solo com a camada de 0,2-0,4 m, tanto para a Ds como para a MO do solo, ambos os atributos apresentaram comportamentos espaciais diferentes em função da profundidade, porém semelhantes em um contexto de localização espacial. Fato que demonstra como esses atributos (Ds e MO) sofrem impacto direto do manejo do solo, principalmente, sob a primeira camada, fazendo com que os comportamentos espaciais entre as camadas possuam distribuições espaciais distintas. De acordo com Junqueira Júnior *et al.* (2006), atributos como a densidade do solo e o teor de matéria orgânica herdada influenciam o manejo empregado no uso e ocupação do solo. Por isso, tais atributos podem ser considerados bons indicadores das condições de uso, ocupação e equilíbrio dos recursos presentes nas bacias hidrográficas.

Diversos meios podem contribuir para o aporte de MO no solo, entre eles a própria vegetação, natural ou não, que ocupa a bacia hidrográfica, através da perda de folhas

ou estruturas vegetais que sofrem senescência. Esse fato pode ser observado nos mapas de MO (Figuras 7 e 8), nos quais se verifica algumas localizações pontuais na microbacia com elevados teores de MO coincidindo com as áreas de vegetação nativa (Mata) do mapa da Figura 1, que corresponde ao uso e ocupação do solo da microbacia hidrográfica estudada. Ou seja, em área com vegetação mais intensa, que resulta em maior aporte de material senescente, apresentou-se um maior teor de MO quando comparado a outros pontos da microbacia.

A MO tende a melhorar a estrutura do solo, resultando na redução dos valores de Ds. Esse comportamento foi verificado nesse estudo, visto que, de maneira geral, os resultados mostraram que onde apresentavam maiores teores de MO, consecutivamente, correspondiam menores valores de Ds, resultados que corroboram com alguns estudos de manejo de solo (HÉBRARD *et al.*, 2006; GOMES *et al.*, 2007; VIEIRA *et al.*, 2007; LEMOS FILHO *et al.*, 2008).

Ainda em relação a MO, observa-se (Figuras 7 e 8) que ela está presente em ambas as camadas do perfil do solo, porém apresentou menores teores na camada de 0,2-0,4 m de profundidade. Esse fato pode ser explicado pela inexistência de revolvimento das camadas de solo nas áreas da microbacia hidrográfica estudada, uma vez que essa prática é comum no cultivo de culturas anuais e os usos e ocupações predominantes na microbacia estudada são pastagens, culturas perenes (pomar) e mata nativa (Figura 1).

Outra observação, ainda sobre a matéria orgânica (MO), é que houve uma tendência das maiores concentrações de

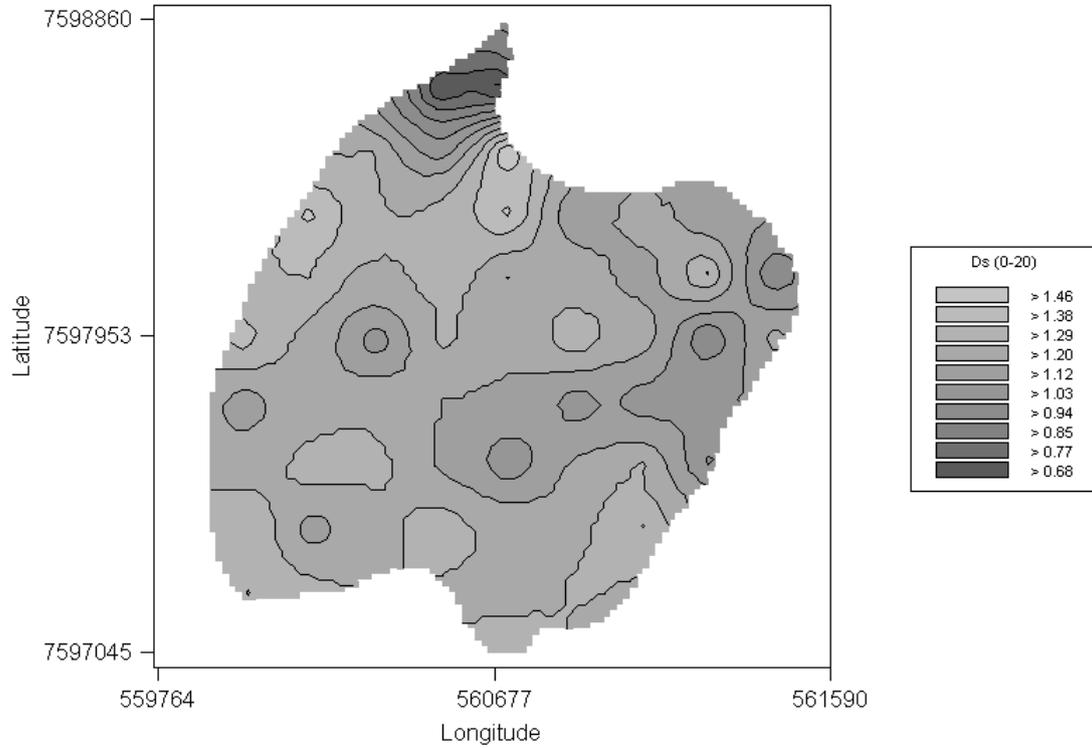


Figura 5 - Mapa de krigagem para a Densidade do solo (Ds) na profundidade de 0 - 0,2 m.
Figure 5 - Kriging map for soil density at a depth of 0-0.2 m.

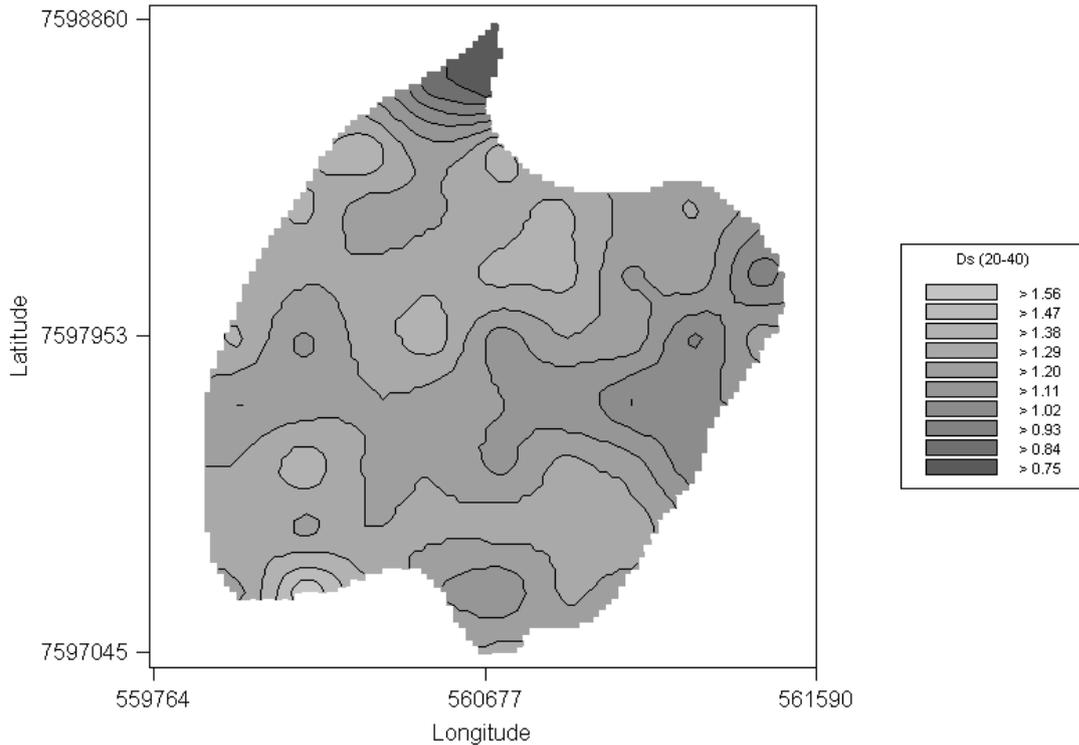


Figura 6 - Mapa de krigagem para a Densidade do solo (Ds) na profundidade de 0,2 - 0,4 m.
Figure 6 - Kriging map for soil density at a depth of 0.2-0.4 m.

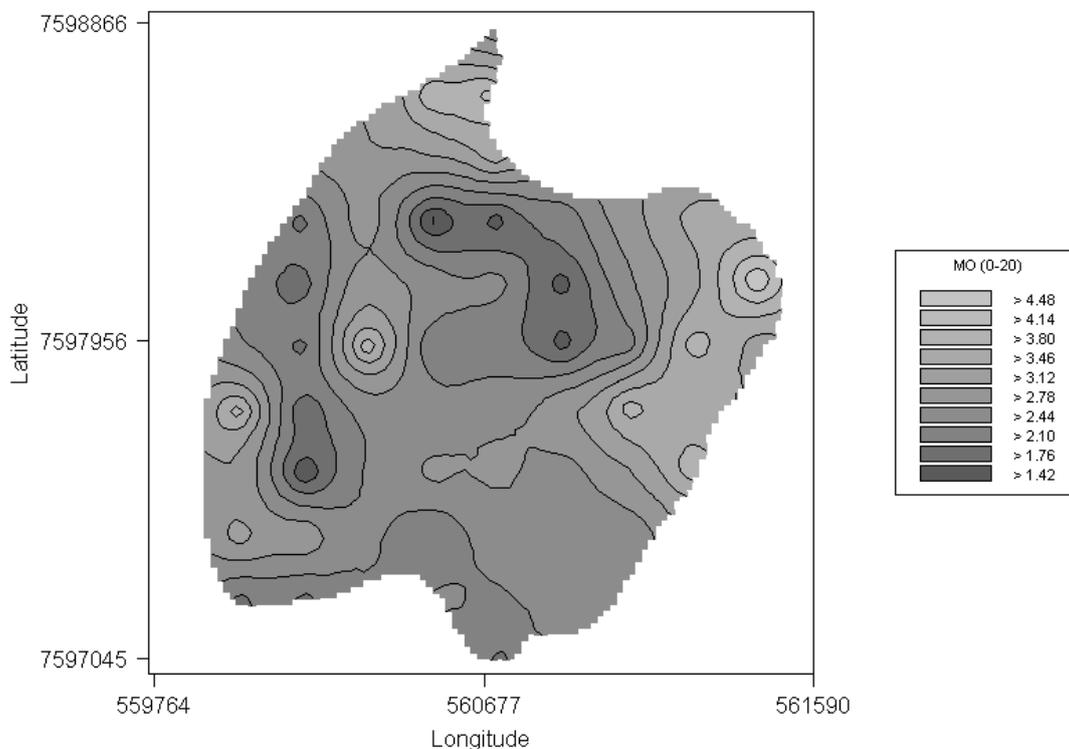


Figura 7 - Mapa de krigagem para a Matéria orgânica (MO) na profundidade de 0 - 0,2 m.
Figure 7 - Kriging map for soil organic matter at a depth of 0-0.2 m.

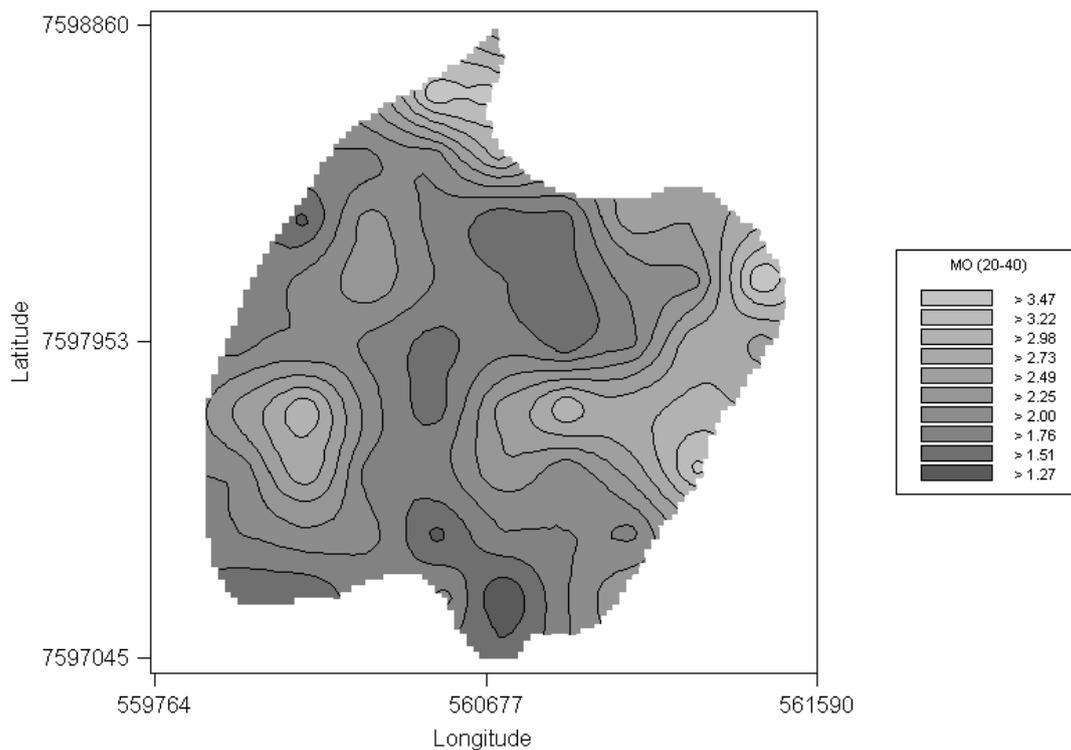


Figura 8 - Mapa de krigagem para a Matéria orgânica (MO) na profundidade de 0,2 - 0,4 m.
Figure 8 - Kriging map for soil organic matter at a depth of 0.2-0.4 m.

MO ocorrerem nas menores altitudes, e vice-versa. Esse comportamento foi mais perceptível nas proximidades do exutório da microbacia. Isso se ocorre devido ao transporte de sedimentos na microbacia, partindo da cabeceira (áreas mais altas) para o seu exutório (mais baixo), conforme se verifica na Figura 2.

CONCLUSÕES

Analisando pelo comportamento espacial, a matéria orgânica do solo influenciou diretamente na sua densidade, principalmente na camada mais superficial;

A geoestatística foi adequada para o estudo da variabilidade espacial de parâmetros físico-químicos do solo na microbacia, sendo o modelo exponencial o que apresentou maior confiança na modelagem espacial da matéria orgânica e da densidade do solo;

A análise variográfica mostrou que ambos os atributos estudados se apresentaram estruturados espacialmente (possuem dependência espacial);

A krigagem mostrou ser uma relevante ferramenta para o conhecimento da dinâmica espacial da densidade do solo e da matéria orgânica na microbacia, podendo ser utilizada na tomada de decisão, para a conservação e manutenção da qualidade dos recursos naturais.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 131-139, 2010.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, 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, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CRUZ, J. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MATIAS, S. S. R.; TAMAYO, J. H. C.; TAVARES, R. C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 361-368, 2010.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

GOMES, N. M.; FARIA, M. A.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R. de; VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 427-435, 2007.

GUIMARÃES, W. D.; GRIPP JUNIOR, J.; MARQUES, E. A. G.; SANTOS, N. T.; FERNANDES, R. B. A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 2, p. 247-255, 2016.

HÉBRARD, O.; VOLTZ, M.; ANDRIEUX, P.; MOUSSA, R. Spatio-temporal distribution of soil surface moisture in a heterogeneously farmed Mediterranean catchment. **Journal of Hydrology**, v. 329, p. 110-121, 2006.

JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A.; MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da Comportamento hidrológico de duas nascentes associadas ao uso do solo numa sub-bacia hidrográfica de cabeceira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 16., São Luís. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2010. 15p.

LEMONS FILHO, L. C. de A.; OLIVEIRA, E. L.; FARIA, M. A.; ANDRADE, L. A. B. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em uma área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, p. 193-202, 2008.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; OLIVEIRA, M. S. de; CURI, N.; SILVA, M. A. da; OLIVEIRA, A. H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 5, p. 517-526, 2014.

MELLONI, R.; PERREIRA, E. G. M.; ALVARENGA, M. I. N. Indicadores da qualidade do solo. **Informe agropecuário**, v. 29, n. 244, p. 17-29, 2008.

NEGREIROS NETO, J. V.; SANTOS, A. C.; GUARNIERI, A.; SOUZA, D. J. de A. T.; DARONCH, D. J.; DOTTO, M. A.; ARAÚJO, A. dos S. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 193-204, 2014.

- OLIVEIRA, M. S. de; BEARZOTI, E.; VILAS BOAS, F. L.; NOGUEIRA, D. A.; NICOLAU, L. A. **Introdução a Estatística**. Lavras: Editora UFLA, 2009. 334p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 1. ed. Barueri: Manole, 2004. 478 p.
- RIBEIRO JÚNIOR, P. P.; DIGGLE, P. P. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R - News**, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.
- SANTOS, D.; SOUZA, E. G.; NÓBREGA, L. H. P.; BAZZI, C. L.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho após cultivo de soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 843-848, 2012.
- SILVA, A. M.; MELLO, C. R. **Estudos hidrológicos sobre o regime de escoamento das sub-bacias hidrográficas de drenagem da região Alto Rio Grande à montante da UHE de Camargos/CEMIG**. Relatório final do Projeto P&D 076, CEMIG/ANEEL, 2005. 500p.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES-JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMPOS, M. C. C. Amostragem de solo para determinação de atributos químicos e físicos em área com variação nas formas do relevo. **Revista Científica**, v. 34, n. 2, p. 249-256, 2006.
- STEFANOSKI, D. C.; SANTOS G. G.; MARCHÃO R. L.; PETTER F. A.; PACHECO L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301-1309, 2013.
- VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Revisão de literatura: Uma visão sobre a qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.
- VIEIRA, V. A. da S.; MELLO, C. R. de; LIMA, J. M. de L. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em uma microbacia hidrográfica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1477-1485, 2007.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York, NY: Academic, 1980. Cap. 13, p.319-344.