



Variabilidade espacial da matéria orgânica em um argissolo vermelho

Space variability of organic matter in a red oxisols

Jonathas James de Lira SANTOS¹; Maria Gilberlândia Ferreira Ferro²; Valdevan Rosendo dos SANTOS³; Márcio Aurélio Lins dos SANTOS³; Igor Gledson de Oliveira SANTOS²; Cícero Gomes dos SANTOS³

¹Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal de Alagoas, *Campus Arapiraca*, AL, e-mail: jhonnylira@live.com; ²Mestranda em Agricultura e Ambiente – UFAL, *Campus Arapiraca*, e-mail: gilberlandiafferro@gmail.com; ³Professor do Curso de Agronomia – UFAL, *Campus Arapiraca*.

Resumo - O solo analisado é um ARGISSOLO VERMELHO Distrófico característico de algumas regiões do estado de Alagoas, neste sentido o experimento foi realizado no campo experimental da UFAL- *Campus Arapiraca*, com objetivo de avaliar a variabilidade espacial das propriedades químicas e físicas do solo em área de pousio sob ARGISSOLO VERMELHO Distrófico. A área foi demarcada, formando uma malha retangular com pontos de 5 x 10 m, que compõe uma área de 2.400m². A malha conta com seis linhas por oito colunas, num total de 48 pontos, e georreferenciada com auxílio de um GPS. A determinação do teor de matéria orgânica pelo método da mufla foi feita seguindo-se método estabelecido por Goldin (1987), com as seguintes modificações: secagem prévia das amostras ao ar, visando eliminar toda a água presente nos resíduos, como a higroscópica, a capilar ou decristalização. A construção dos semivariogramas foi realizada por meio de processos de tentativas e erro, com o estimador de Matheron, através do Varriowin 2.2. Para os semivariogramas que apresentaram estrutura de dependência espacial, ajusta-se em um modelo matemático para definição de seus parâmetros. O semivariograma de cada atributo, utilizou-se o método de interpolação de krigagem, para confecção dos mapas usando o Software SURFER 6.0. Mediante estas análises sobre os resultados e mapas, pode-se compreender a importância das tecnologias e da agricultura de precisão para ações que geram resultados positivos para o rendimento da cultura e a conservação do solo e como esta precisão pode ajudar na aplicação financeira para manejos adequados.

Palavras-chave: Estabilidade, Agregados; Matéria Orgânica.

Abstract - The analyzed soil is a Dystrophic Red Oxisols characteristic of some regions of the State of Alagoas, in this sense the experiment was carried out in the experimental field of the UFAL, Campus of Arapiraca, with the objective of Evaluating the spatial variability of some chemical and physical properties of the soil in fallow area under Dystrophic Red Oxisols. The area was demarcated, forming a rectangular mesh with points of 5 x 10 meters, which composes an area of 2,400m². The mesh has six lines per eight columns, totaling 48 points, and georeferenced with the help of a Global Positioning System (GPS). The determination of the organic matter content by the muffle method was done following a method established by Goldin (1987), with the following modifications: pre-drying the samples in the air, aiming to eliminate all the water present in the residues, such as hygroscopic, capillary or crystallization. The construction of semivariograms was done through trial and error, with the Matheron estimator, through Varriowin 2.2. For the semivariograms that presented



spatial dependence structure, so that it fits in a mathematical model to define its parameters. The semivariogram of each attribute used the kriging interpolation method for mapping using SURFER 6.0 Software. Through these analyzes of the results and maps, one can understand the importance of the technologies and from precision farming to stocks that yield positive results for crop yield and soil conservation and how this accuracy can aid in financial application for proper management.

Keywords: Stability, Aggregates; Organic matter.

Introdução

O solo é um dos habitats de maior riqueza microbiana, tanto em diversidade de espécies como em densidade populacional. Esses organismos participam efetivamente da degradação de compostos orgânicos e assim, contribuem para a fertilidade do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007, p.74). De acordo com D'ANDREA et al., (2010, p.85), em solos sob vegetação natural não ocorrem grandes variações nos estoques de matéria orgânica, havendo um equilíbrio. Apesar da tendência de equilíbrio, mesmo em ecossistemas naturais existe uma variabilidade das médias mensais do fluxo de CO₂ do solo devido à interferência de fatores edafoclimáticos.

As práticas de manejo conservacionistas podem resultar na manutenção ou incremento da matéria orgânica (MO). Por outro lado, a conversão dos ecossistemas naturais em sistemas agrícolas convencionais, pode levar ao declínio da matéria orgânica e degradação do solo, uma vez que esses sistemas promovem o rompimento de agregados, estimulando a atividade dos microrganismos. Tais perdas decorrem, em grande parte, do tipo de sistema de manejo adotado nas mais diversas condições ambientais (XAVIER et al., 2006).

A estabilidade dos agregados é uma das propriedades do solo mais sensíveis à remoção de resíduos das culturas, diminuindo significativamente com a redução da cobertura do solo. As superfícies dos agregados em solos sem cobertura por resíduo são prontamente dispersas sob as forças erosivas do impacto de gotas de chuva. Alguns estudos mostram que a estabilidade de agregados é positivamente correlacionada com a concentração de matéria orgânica do solo (MOS) (BLANCO-CANQUI; LAL, 2009, p.160).

Na maioria dos solos minerais, a estabilidade estrutural dos agregados diminui quando práticas de manejo inadequadas resultam na redução do teor de matéria orgânica. O entendimento da variabilidade exige uma maior quantidade de informações, as quais podem ser obtidas a partir de operações de amostragem de solo no campo. Quanto maior o número de amostras, mais alto é o ônus financeiro para o agricultor, e, portanto, o método da geostatística é uma alternativa na otimização deste processo (MULLA et al., 1992, p.305).

Vários estudos relatam que a variabilidade de propriedades do solo apresenta correlação ou dependência espacial (CARVALHO et al., 2002; CARVALHO; TAKEDA, FREDDI, 2003, p.701), diante disto a variabilidade do solo através de técnicas geostatística, pode revelar meios de manejos, para tentar reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção de culturas.

Através desses estudos revela-se pela própria natureza dos fatores responsáveis pela sua formação, que o solo apresenta heterogeneidade. Este fato ocorre devido o próprio material de origem não ser uniforme em toda a sua extensão, ou seja, o processo de intemperismo não ocorre de forma homogênea e contínua. Partindo deste princípio, este trabalho tem como objetivo avaliar a variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas do solo em área de pousio sob ARGISSOLO VERMELHO Distrófico.



Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido na área experimental da Universidade Federal de Alagoas - *Campus* Arapiraca, na região Agreste do Estado de Alagoas. Entre as coordenadas geográficas 09° 48' 40,3" S e 36° 37' 19,7" W. O clima da região é classificado segundo Köpper(1948), como tropical com estações seca de verão, que vai de setembro a março, sendo o mês de dezembro, considerado o mais seco e uma estação chuvosa que vai de abril a agosto, com uma precipitação pluvial média de 854 mm.

A área encontrava-se em pousio há pelo menos 10 anos, desde a instalação do *Campus* Arapiraca. O solo da área experimental foi identificado e classificado como ARGISSOLO VERMELHO Distrófico, relevo plano. Foi realizada a demarcação da área com o auxílio de trena métrica e piquetes, formando uma malha retangular com pontos de 5 x 10 m, compreendendo uma área de 2.400m². O georreferenciamento da área foi com auxílio de um Sistema de Posicionamento Global (GPS) da marca GARMIN GPS II⁺ Plus, sendo as coordenadas de cada ponto foram determinadas em UTM (Universal Transversa de Mercator).

A malha conta com seis linhas por oito colunas, num total de 48 pontos, sendo realizada a limpeza dos pontos para coleta das amostras. Em cada ponto da malha, coletou-se amostras deformadas nas profundidades de 0 a 10 e de 10 a 20 cm, com auxílio de um trado holandês, totalizando 96 amostras de solos. Essas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e etiquetadas para análises de matéria orgânica, densidade do solo e pH no laboratório de Química do Solo da UFAL – *Campus* Arapiraca.

As amostras do solo nas duas profundidades foram inicialmente secas ao ar, passadas em peneiras de 2 mm de diâmetro, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), em cujo materiais foram determinados as análises físicas e químicas. A princípio deve-se fazer a determinação do volume de álcool necessário para completar a capacidade de um balão volumétrico, contendo solo seco em estufa. Posteriormente foi realizada a pesagem de 20g de solo, colocado em lata de alumínio de peso conhecido, levado à estufa, onde ficou de 6 a 12 horas, após dessecado e pesado, a fim de se obter o peso da amostra seca a 105°C. As amostras foram transferidas para balão aferido de 50 mL, onde foram adicionados álcool etílico, agitando bem para eliminar as bolhas de ar que se formam, até sua ausência e completar o volume do balão e anotando o volume de álcool gasto, segundo Equação 1:

$$Dp = \frac{a}{(50-b)} \dots\dots\dots \text{(Equação 1)}$$

Onde:

a = massa de solo seco entre 105°C e 110°C

b = volume de álcool gasto

A determinação do teor de matéria orgânica pelo método da mufla foi realizada seguindo-se método estabelecido por GOLDIN (1987, p.1115), com as seguintes modificações: secagem prévia das amostras em estufa a 105°C, por um período de 24 h, visando eliminar toda a água presente nos resíduos, como a higroscópica, a capilar ou de cristalização (RODELLA; ALCARDE, 1994, p.561). Após esse período, os cadinhos de cerâmica contendo as amostras foram acondicionados em forno do tipo mufla e incinerados em uma temperatura de 550°C, por 3 h. Posteriormente, o conjunto (cadinho + resíduos) foi acondicionado em um dessecador e, em seguida, pesado. O teor de matéria



orgânica foi determinado pela perda de massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura de 105°C a 550°C, conforme a Equação 2:

$$MO (\%) = \frac{[P-(T-C) \times 100]}{P} \dots\dots\dots \text{(Equação 2)}$$

Onde:

P = peso da amostra (g) depois de aquecida a 105°C ;

C = tara do cadinho (g);

T = peso da cinza + cadinho (g).

A medição do potencial eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão do solo no líquido (água ou CaCl_2), 1:2,5. No procedimento colocou-se 10 mL de solo em copo plástico de 100 mL numerado. Adicionou 25 mL de líquido (água ou CaCl_2 : 0,01). Posteriormente agita a amostra com bastão de vidro individual e deixa em repouso por uma hora. Agitando cada amostra com bastão de vidro, mergulha os eletrodos na suspensão homogeneizada e procede a leitura do pH.

Para verificar a existência de dependência espacial dos atributos físicos e químicos do solo estudados por meio da estatística (VIEIRA, 2000, p.43). Para se fazer a análise geostatística é necessário saber se há dependência espacial dos atributos, o que pode ser verificado por meio do gráfico do Semivariograma.

Os semivariogramas são representações gráficas entre a semivariância (h) representada na coordenada Y, em função de uma determinada distância h , representada na coordenada X. A semivariância pode ser estimada pela equação 3, no software GS+ (Robertson, 2008, p.152).

$$Y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \dots\dots\dots \text{(Equação 3)}$$

Onde:

$N(h)$ é o número de pares de valores experimentais medidos em Z e $Z(x_i + h)$, separados pelo vetor h . Os valores de Z podem ser qualquer um dos parâmetros estudados;

x_i e $x_i + h$ são definidos de acordo com as posições dos pontos amostrais no campo.

A seleção dos modelos foi realizada com base no melhor coeficiente de determinação (R^2) e na menor soma de quadrados do resíduo (SQR), sendo testados os modelos esférico, exponencial, gaussiano, linear, linear sem patamar e efeito pepita puro.

Nos semivariogramas ajustados, foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0); patamar ($C_0 + C$) e alcance da dependência espacial (a). A razão entre o efeito pepita e o patamar $C_0/(C_0+C)$ permite a classificação e a comparação entre atributos do solo.

Para analisar o grau de dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação proposta por CAMBARDELLA et al. (1994), modificados por ZAMBACK (2001) em que os semivariogramas com dependência espacial forte possuem razão menor ou igual a 25%, os semivariogramas com dependência espacial moderada possuem razão superior a 25% e inferior a 75% e os de dependência fraca possuem razão superior a 75%.



Conhecendo-se o Semivariograma da variável em estudo, utilizou-se o método de interpolação, denominado Krigagem, que interpola os valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima, permitindo obter um maior detalhamento da área, para obtenção dos mapas de isolinhas utilizou-se o software GS+ (ROBERTSON, 2008, p.152).

A análise descritiva dos dados das variáveis químicas e físicas, foram analisadas por meio da estatística clássica, segundo VIEIRA et al. (2002, p.40), obtendo-se a média, desvio padrão, variância, valores máximo e mínimo, assimetria e curtose, a fim de se obter uma visão geral do comportamento dos dados. Para análise da hipótese de normalidade dos dados foi utilizado o teste Shapiro-Wilk's (W) ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e discussões

O resultado referente à análise estatística descritiva dos dados de matéria orgânica do solo (MOS), densidade de partículas (Dp) e pH em água e cloreto de cálcio, nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm do solo, estão apresentadas na Tabela 1.

Os valores da média, mínima e máxima de (MOS) nas duas camadas estatística, verifica-se que na camada de 0-10 cm de profundidade apresenta maior teor de matéria orgânica em relação a camada de 10-20 cm. Resultado semelhante foi obtido por LEMOS FILHO et al. (2008, p.198), estudada a variação espacial de matéria orgânica e área de cultivo de cana de açúcar, em Minas Gerais. Teores mais elevados de matéria orgânica estão associados as camadas mais superficiais do solo, contribuindo para melhoria da estrutura física do solo. A variável de pH (água) e cloreto de cálcio (Tabela 1), apresentam valores de média, mínimo e máximo, nas camadas de 0-10 cm e de 10-20 cm, valores diferenciados, com valores maiores, porém dentro do intervalo mínimo para camadas de 0-10 cm, enquanto na camada 10-20 cm, os valores foram menores, o que é reflexo os resultados obtidos para matéria orgânica no solo.

As variáveis estudadas apresentam uma distribuição assimétrica, segundo o coeficiente de Pearson (A_s , com os valores encontrados ($A_s/\leq 0,15$), sendo classificados como moderados ($0,15 < A_s < 1,0$) para as camadas de 0-10 cm, 10-20 cm, apresentaram coeficientes forte, ($A_s/\geq 1,0$). Isto representa que um comportamento de tendência central não são dominados por valores atípicos na distribuição (CAMBARDELLA et al. 1994, p.1510; CORADO NETO et al. 2005, p.1357). Resultados semelhantes foram obtidos por MACHADO et al. (2007, p.597), que obteve resultados negativos para matéria orgânica em áreas sob sistema para planta convencional.

As variáveis matéria orgânica, densidade de partículas, pH (Tabela 1), foram submetidas ao coeficiente de Curtose (π), apresentaram uma distribuição de frequência ($\pi < 2,63$), o que classifica em leptocústica ou alongada, ou seja, os dados caracterizar-se por menor variação e frequência modal mais acentuada (COELHO; CORTEZ; OLSZEWSKI, 2012, p.759). Segundo CORADO NETO et al. (2005, p.1357), o compartimento dos dados das variáveis do solo possui valores próximos ao centro no gráfico de distribuição de frequência. O coeficiente de análise é parâmetro de avaliação em que se observa o grau de achatamento da distribuição, ou seja, o ponto a curva de frequência será achatado em relação a uma curva normal de referência (ACCIOLY, 2011, p.25).

**Tabela 1.** Coeficientes geoestatístico para atributos do solo em diferentes profundidades.

Profundidade (cm)	Modelo	R ²					IDE (%)
			(Co)	(Co + C)	(A)	E = (Co/C)	
Matéria Orgânica (g cm ⁻³)							
0-10	Gaussiano	0,94	0,0190	0,8660	10,22	0,0224321	97,8
10-20	Esférico	0,70	0,0002	0,2034	8,70	0,0009843	99,9
Densidade das partículas (g cm ⁻³)							
0-10	Exponencial	0,18	0,0000	0,0010	4,86	0,0000000	99,9
10-20	Linear	0,89	0,0010	0,0010	26,35	0,0000000	0,0
pH (Água)							
0-10	Esférico	0,67	0,0015	0,2930	10,18	0,0051458	99,5
10-20	Exponencial	0,01	0,0044	0,1878	3,96	0,0239913	97,7
pH (CaCl ₂)							
0-10	Gaussiano	0,83	0,0066	0,2432	9,73	0,0278952	97,3
10-20	Exponencial	0,00	0,0072	0,1754	3,66	0,0428062	95,9

*Alcance da dependência espacial (A); Efeito pepita(Co), Patamar(Co + C); Aleatoriedade E = (Co/C); Índice de dependência espacial (IDE); Coeficiente de determinação múltiplo do ajuste (R²)

Fonte: Autor (2017).

Na Tabela 1, encontra-se o efeito pepita, o patamar, o alcance, os modelos de semivariogramas ajustados aos dados experimentais, bem como o índice de dependência espacial (IDE), e coeficiente de determinação múltipla do ajuste (R²).

A análise geoestatística mostrou que a variável matéria orgânica (Tabela 1), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm apresentam dependência espacial nas duas profundidades, ajustando-se ao modelo gaussiano esférico, nas profundidades 0-10 e 10-20 cm respectivamente. Resultados diferem de MACHADO et al. (2007, p.597). Estudando os atributos químicos do solo em áreas sob sistema de plantio convencional, a matéria orgânica ajusta-se ao modelo exponencial ao comportamento espacial da matéria com os resultados adquiridos por SOUZA; MARQUES JÚNIOR; PEREIRA, (2004, p.495); SOUZA et al. (2003, p.492) e ARAÚJO (2002). LEMOS FILHO et al (2008, p.198).

Na Tabela 1, observa-se os valores do efeito Pepita (Co), Patamar (Co + C), Alcance (A) e Índice de dependência espacial (IDE). Para os dados de matéria orgânica nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. A variável de MO na profundidade 0-10 cm, apresenta maior alcance (10,22 m), enquanto na profundidade de 10-20 cm, o alcance ficou em 8,7 m. Ambos resultados de alcance não ultrapassam os valores da malha desta pesquisa, que foi de 5 x 10m. Os valores de alcance indicam o limite da dependência espacial variável, atende os intervalos de mapeamento de solos nesta área (TRAGMAR et al. 1985, p.672; WEBSTER, 2000, p.325; RODRIGUES et al. 2014, p.6). Este resultado difere dos obtidos por LEMOS FILHO et al. (2008, p.198).

Ainda na Tabela 1, observou-se, pelo valor de (IDE), que a variável de matéria orgânica, nas duas profundidades, tem forte dependência espacial. Segunda a classificação por parte de CAMBARDELLA et al. (1994, p.1510) e modificada por ZIMBACK (200, p.114). Valores de (IDE) alto são indicativos que se tem melhor estrutura espacial e na maior precisão dos dados experimentais na variável estudada (SILVA NETO et al. 2012, p.47). Resultados verificados nas demais variáveis, em exceção da densidade de partículas na profundidade de 10-20 cm, que apresentam efeito pepita puro.

A variável de densidade de partículas (Dp) apresentam valor de alcance de 4,86 m (Tabela 1), este valor está dentro do raio de amostragem para este estudo, que é de 10 x 5m. O alcance de



dependência espacial é um parâmetro geoestatístico importante, mesmo para uma variável que tem pouco mobilidade no solo. (CONRADO NETO et al., 2015, p.1358).

As variáveis pH em água em CaCl_2 , nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (Tabela 1). A análise geoestatística mostrou que as variáveis apresentam dependência espacial. Com valores de alcance que passam de 10,18 m, para pH em água na profundidade de 0-10 cm (Tabela 1), e 3,66 m para variável pH em CaCl_2 na profundidade 10-20 cm. Todos os valores de alcance, demonstram que o intervalo de mapeamento de amostragem do solo (10x5 m) utilizado neste trabalho atende raio de dependência para valores de pH no ARGISSOLO VERMELHO Distrófico, mesmo que esta área encontre-se em pousio.

A classificação de CAMBARDELLA et al. (1994, p.1510), modificada por ZIMBACK (2001, p.114), na (Tabela 2) as variáveis de pH, medido em água e em CaCl_2 , apresentam dependência espacial forte (Tabela 1). MACHADO et al (2008, p.597), encontram dependência espacial forte para variável pH em água em LATOSSOLO VERMELHO, sob sistema de plantio convencional em Minas Gerais.

Tabela 2. Classificação do Índice de Dependência Espacial proposta por Cambardella et al, (1994) e modificada por Zimback (2001).

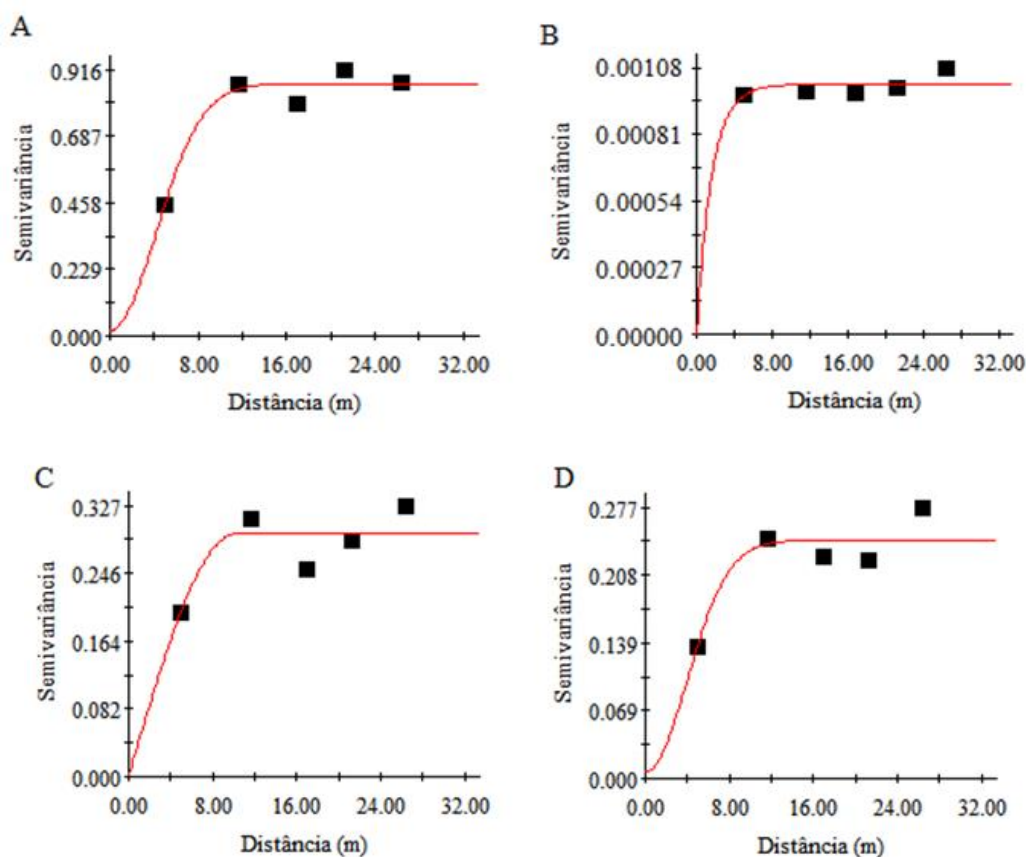
ÍNDICE DE DEPENDENCIA ESPACIAL	CLASSIFICAÇÃO
< 25%	Fraca dependência espacial
25 a 75%	Moderada dependência espacial
> 75%	Forte dependência espacial

Na (Figura 1), encontra-se os semivariograma dos atributos físico-químico, (matéria orgânica, densidade de partículas, pH em água e pH em CaCl_2), na profundidade de 0-10 cm. A variável de matéria orgânica (Figura 1A) se ajustaram melhor ao modelo matemático gaussiano, com um valor de $R^2 = 0,94$, mesmo comportamento foi registro para variável pH em CaCl_2 (Figura 1D), que ajustou-se também ao modelo gaussiano, com um valor de $R^2 = 0,83$. Os ajustes para o modelo gaussiano apresentam os maiores valores, entre as variáveis estudadas. Estes valores elevados de R^2 , reflete na boa representatividade dos dados amostrados, com uma escala de amostragem adequada, levando-se em consideração que estas variáveis apresentam alta variabilidade no espaço-tempo em áreas agrícolas. LEMOS FILHO et al. (2008, p.198), avaliando a matéria orgânica em um LATOSSOLO VERMELHO-Amarelo, em Perdões, MG, encontram resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa.

A variável de densidade de partículas na profundidade de 0-10 cm (Figura 1B), se ajusta melhor ao modelo exponencial, enquanto o pH em água, na mesma profundidade ajustou-se ao modelo esférico, com um $R^2 = 0,67$. Machado et al. (2008, p.597), avaliando atributos químicos do solo em um LATOSSOLO VERMELHO, Uberlândia, MG, obteve como melhor ajuste o modelo esférico para o pH em água na profundidade de 0-20 cm.



Figura 1. Semivariograma para atributos do solo: (A) matéria orgânica, g cm^{-3} ; (B) densidade das partículas, g cm^{-3} ; (C) pH em água e; (D) pH em CaCl_2 , na profundidade de 0-10 cm, mostrando o modelo ajustado aos dados em função da distância.



Na (Figura 2) encontra-se as Semivariograma de atributos físico-químico do solo (matéria orgânica, densidade de partículas, pH em água e em CaCl_2) na profundidade de 10-20 cm. A matéria orgânica, na profundidade de 10-20 cm (Figura 2A), se ajustou melhor ao modelo esférico, com valor de $R^2 = 0,70$. Resultado semelhante foi obtido por LEMOS FILHO et al. (2008, p.198), avaliando a variabilidade espacial de matéria orgânica em um Latossolo vermelho amarelo, em Perdões, MG, se enquadrando ao modelo esférico.

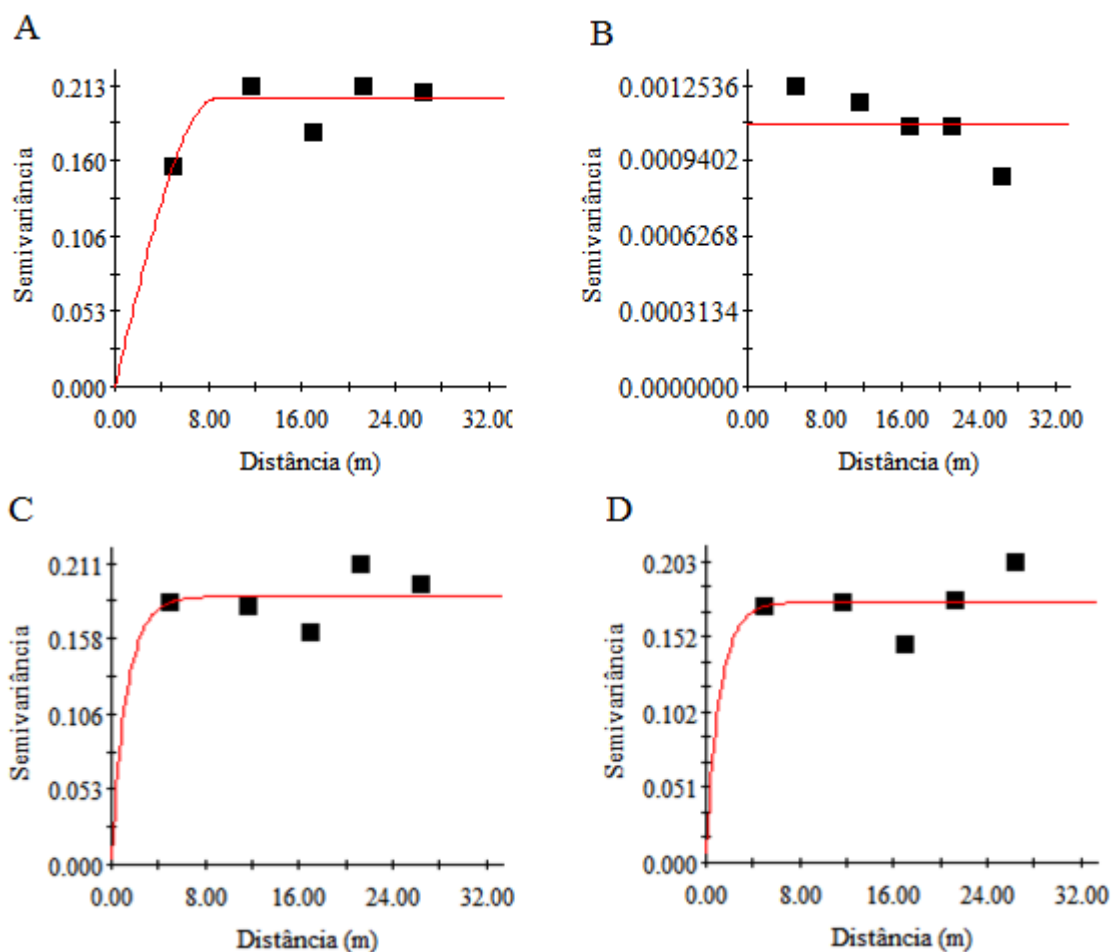
SOUZA et al. (2004, p.498), trabalhando em um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, em que os valores de matéria orgânica se ajustaram ao modelo matemático esférico. MACHADO et al. (2008, p.597), avaliando os atributos químico de um LATOSSOLO VERMELHO, Uberlândia, MG, os valores de matéria orgânica se ajustou melhor ao modelo matemático exponencial, diferindo dos obtidos nesta pesquisa.

A variável de densidade de partículas, na profundidade de 10-20 cm (Figura 2B), não se ajustou a nenhum modelo, não apresentando dependência que é denominado de efeito pepita puro. Trata-se de uma indicação clara de que esses atributos são especialmente independentes (MACHADO et al., 2008, p.597)



Na (Figura 2C e D), as variáveis pH em água e em CaCl_2 na profundidade de 10-20 cm se ajustou ao modelo exponencial, com valores de R^2 muito baixo. Segundo SILVA NETO et al. (2012, p.47), são modelos teóricos comuns aos atributos do solo e de plantas.

Figura 2. Semivariograma para atributos do solo: (A) Matéria orgânica, g cm^{-3} ; (B) Densidade das Partículas, g cm^{-3} ; (C) pH em Água e; (D) pH em CaCl_2 , na profundidade de 10-20 cm, mostrando o modelo ajustado aos dados em função da distância.



Conhecendo os semivariogramas dos atributos físico-químico do solo, havendo dependência espacial entre as amostras, aplica-se o método de Krigagem, através da contribuição de mapas de isolinhas obtidas traves de interpretação de dados, para cada ponto localizado dentro da grade de amostragem (área de estudo), que regularizará a dependência de recuperação entre as amostras em todo o campo.

Na (Figura 3A) e (Figura 3B) estão apresentados mapas de isolinhas para o atributo de matéria orgânica nas duas profundidades, 0-10 e 10-20 cm, respectivamente, os valores dos teores de matéria orgânica variam muito, de muito baixo com áreas bem definidas, nas duas profundidades, com um aumento de variabilidade espacial na direção do eixo X. Com os resultados obtidos neste trabalho se assemelha ao de LEMOS FILHO et al.(2008, p.198), o comportamento da variabilidade espacial foi



um pouco semelhante entre as duas camadas. A Krigagem nada maior é que a interpretação das informações quando pelo semivariograma (MACHADO et al.; 2008, p.198)

Na (Figura 3B) está representado o mapa de Krigagem da densidade de partícula, na profundidade 0-10 cm, este atributo apresenta valores bastante homogêneo em toda a área amostrada, com um aumento no sentido do eixo de y, o atributo físico do solo tem uma tendência a homogeneização, com diferença variação dos valores.

O atributo pH em água (Figura 3C e 4B), variam de muito baixo a valores médios, com área bem definidas nas duas profundidades. A baixa variabilidade do pH em água condiciona a disponibilidade de nutrientes. O atributo físico do solo tem uma curta tendência em apresentar uma maior variabilidade dos valores.

Nas (Figuras 3D e 4C) mostram os mapas de Krigagem para atributos pH em CaCl_2 nas duas profundidades de amostragem. O mapeamento do pH em CaCl_2 , apresentam valores com teores variando de baixo em toda a aera, enquanto na profundidade de 10-20 cm, os valores baixos a médio, em áreas mais distribuídas, diferenciando no comportamento do mapa de isolinhas da profundidade de 0-10 cm.

Figura 3. Mapa em 2D da distribuição espacial para atributos do solo: (A) Matéria orgânica, g cm^{-3} ; (B) Densidade das Partículas, g cm^{-3} ; (C) pH em Água e; (D) pH em CaCl_2 , na profundidade de 0-10 cm.

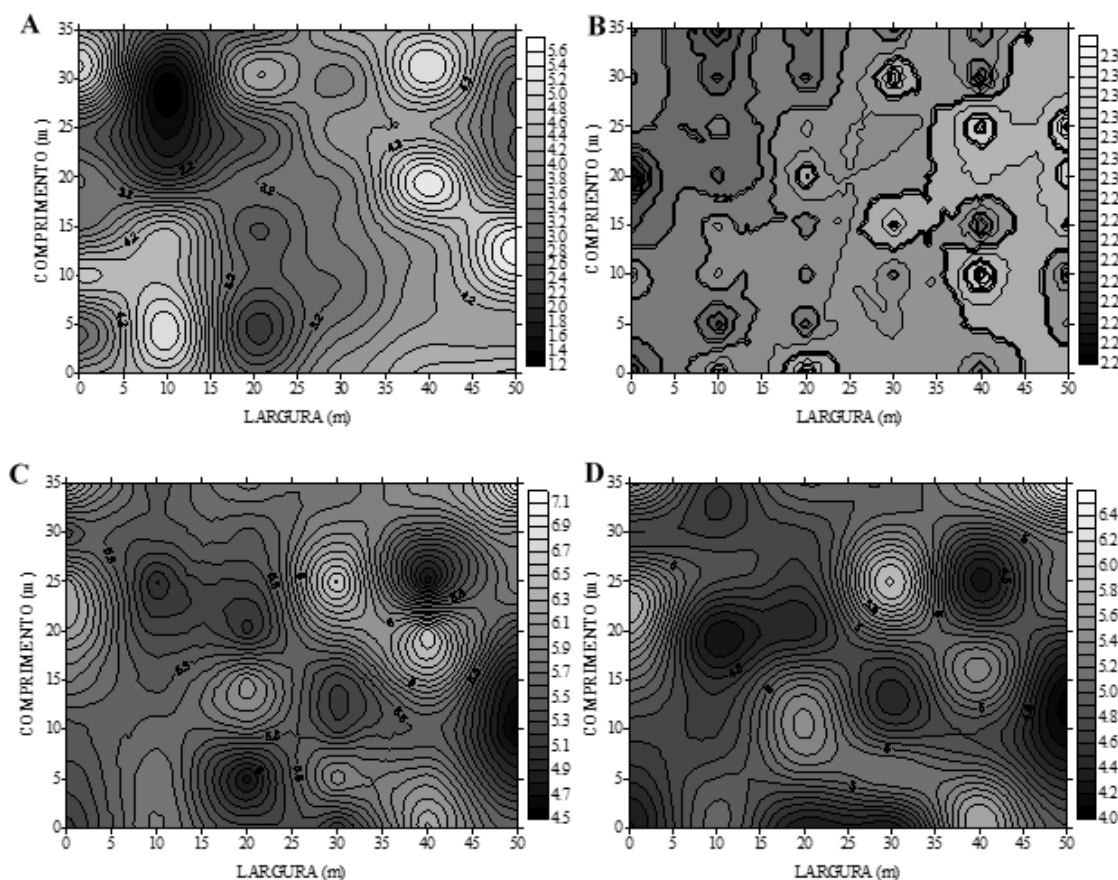
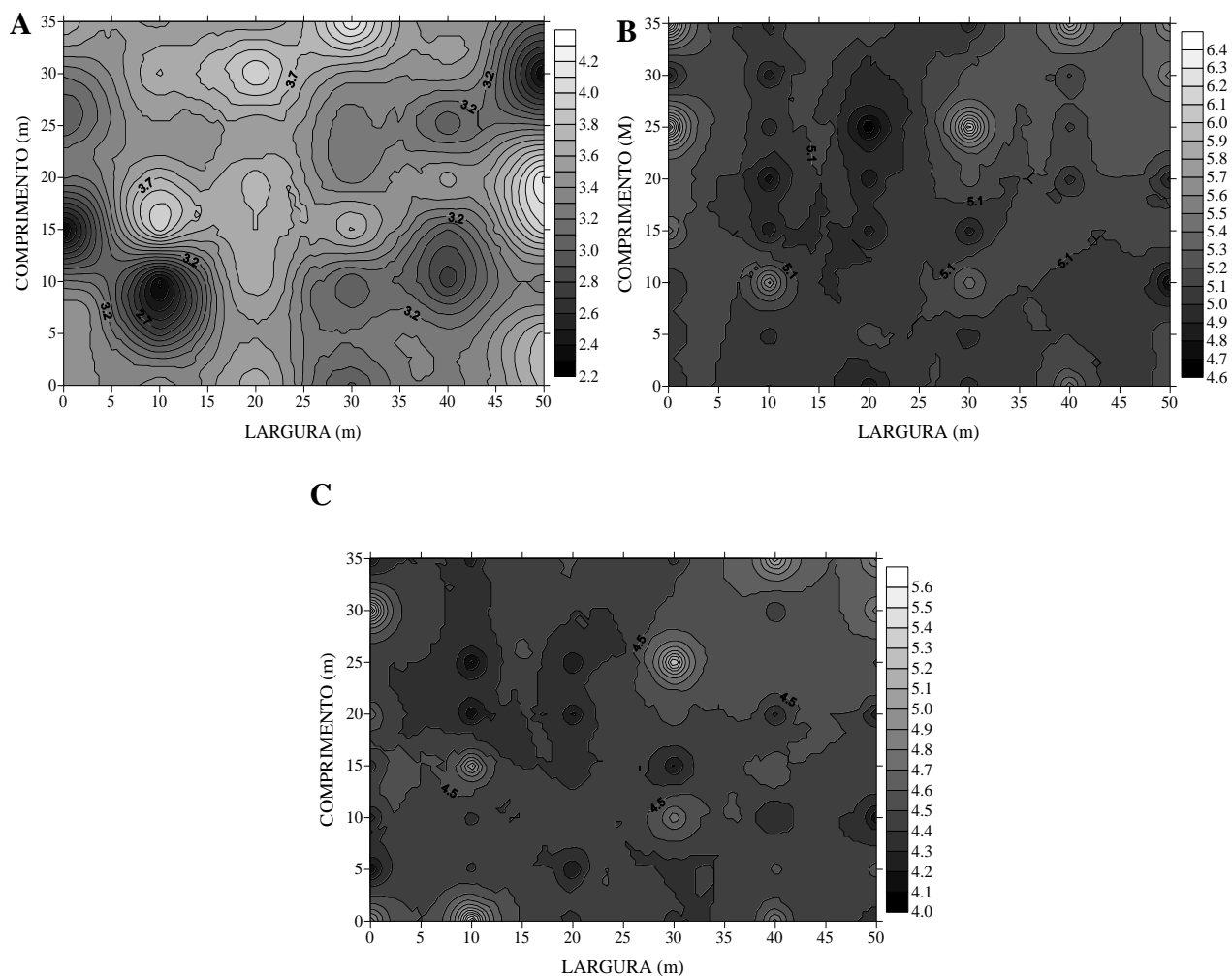




Figura 4. Mapa em 2D da distribuição espacial para atributos do solo: (A) Matéria orgânica, g cm⁻³; (B) pH em Água e; (C) pH em CaCl₂, na profundidade de 10-20 cm.



Conclusão

De todos os atributos avaliados neste estudo a densidade de partículas na profundidade de 10-20 cm, foi a única que apresentou efeito pepita puro, com os dados tem um comportamento aleatórios.

A maioria dos atributos apresentam dependência espacial se ajustasse em modelo exponencial.

As variáveis estudadas apresentam estrutura de dependência espacial, com valores de alcance que tende a malha de amostragem 10 x 5 cm.

Conflito de interesse

Os autores não declararam conflito de interesse para esse manuscrito.



Referências

- ACCIOLY, Ana Maria de Aguiar; SIQUEIRA, José Oswaldo; NOVAIS, RF de. Contaminação química e biorremediação do solo. **Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 299-351, 2000.
- ACCIOLY, LJ de O. Degradação do solo e desertificação no Nordeste do Brasil. Embrapa Solos- Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E), 2000.
- BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R. Crop residue removal impacts on soil productivity and environmental quality. **Critical Reviews in Plant Science**, v.28, p.39–163, 2009
- ARAÚJO, Nilton Clóvis Machado. Origens e evolução espacial da indústria de alimentos do Rio Grande do Sul. 2002.
- ARAÚJO, A.S.F.; MONTEIRO, Regina Teresa Rosim. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **BioscienceJournal**, v. 23, n.3, p.66-75, 2007
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **SoilsciencesocietyofAmericaJournal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, José Ruy Porto; DA SILVEIRA, Pedro Marques; VIEIRA, Sidney Rosa. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.4, P.695-703, 2003.
- CARVALHO DOS SANTOS, Daiane et al. Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso no bioma Pampa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, 2011.
- COELHO, Antônio Marcos. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. **Embrapa Milho e Sorgo-Documents (INFOTECA-E)**, 2005.
- D'ANDREA, Alexandre Fonseca et al. Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO₂ do solo em floresta nativa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 62, p. 85, 2010.
- GOLDIN, Alan. Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. **Communications in Soil Science & Plant Analysis**, v. 18, n. 10, p. 1111-1116, 1987.



LEMOS FILHO, Aquino et al. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 2, 2008.

MACHADO, Jorge Luiz et al. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, 2008.

MACHADO VEZZANI, Fabiane; MIELNICZUK, João. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, 2011.

MONTEZANO, Zaqueu Fernando; CORAZZA, Edegar Joaquim; MURAOKA, Takashi. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, 2006.

MULLA, D. J. et al. A comparison of winter wheat yield and quality under uniform versus spatially variable fertilizer management. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 38, n. 4, p. 301-311, 1992.

ROBERTSON, G. P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences. **Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA**, p. 152, 2008.

RODELLA, A. A.; ALCARDE, J. C. Avaliação de materiais orgânicos empregados como fertilizantes. **Sci. Agric.**, v. 51, p.556-562, 1994.

SILVA NETO, Sabino Pereira et al. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, 2012.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, 2003.

SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica em solos de relevos diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.5, p.491-499, 2004.

SOUZA, C.K.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; PEREIRA, G.T. Influência do relevo na variação anisotrópica dos atributos químicos e granulométricos de um Latossolo em Jaboticabal, SP. **Engenharia Agrícola**, v.23, p.486-495, 2003.

TRANGMAR, Bruce B.; YOST, Russel S.; UEHARA, Goro. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in agronomy**, v. 38, p. 45-94, 1986.



VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, J.M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, v.2, p. 1-45.

VIEIRA, SIDNEY ROSA. Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um Latossolo Roxo de Campinas (SP). **Bragantia**, v. 56, n. 1, p. 181-190, 1997.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; SCHAEFR, C.E.G. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.1-54, 2000.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. 114 f.** 2001. Tese de Doutorado. Tese (Livre-Docência) –Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.