



Análise da variabilidade espacial da densidade do solo cultivado com soja sob dois sistemas de manejo ⁽¹⁾

Letícia da Silva Ribeiro ⁽²⁾; Ismênia Ribeiro de Oliveira ⁽³⁾; Jussara Silva Dantas ⁽³⁾; James Ribeiro de Azevedo ⁽³⁾; Camila Vieira da Silva ⁽⁴⁾; Grazieli Brito da Silva ⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado no CCAA/UFMA e é parte do TCC da primeira autora.

⁽²⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal do Maranhão; Chapadinha, MA; leticia.s.ribeiro@hotmail.com.br

⁽³⁾ Professor, Universidade Federal do Maranhão; Chapadinha, MA; ismenia@ufma.br; jussarasd@yahoo.com.br; jamesazevedo@hotmail.com; ⁽⁴⁾ Estudante de graduação, Universidade Federal do Maranhão; Chapadinha, MA; camillavieira_milla@hotmail.com; grazibs96@gmail.com.

RESUMO: As propriedades físicas do solo são de fundamental importância para sua caracterização quanto ao uso e manejo, e também são parâmetros que permitem inferir sobre os diversos fatores que atuam sobre o solo. Este trabalho teve por objetivo analisar a variabilidade espacial da densidade do solo cultivado com soja sob dois sistemas de manejo. O estudo foi desenvolvido no município de Anapurus, MA, localizado na mesorregião leste do Maranhão, microrregião de Chapadinha, MA. Foram instaladas duas malhas regulares, uma em área com sistema de manejo convencional e a outra com sistema de plantio direto. Cada malha consistiu de 50 pontos de coleta, distanciados a 40 m entre si. O solo foi coletado na profundidade de 0,00-0,20 cm. A variabilidade espacial da densidade do solo foi analisada por meio dos parâmetros do semivariograma e pelo interpolador geoestatístico krigagem ordinária. A densidade apresentou dependência espacial moderada para os sistemas de manejo convencional e direto. De acordo com os mapas de krigagem ordinária, o sistema de manejo influenciou na densidade do solo.

Termos de indexação: krigagem ordinária, manejo convencional, manejo direto.

INTRODUÇÃO

As propriedades físicas do solo são de fundamental importância para caracterização dos mesmos quanto ao uso e manejo, e também são parâmetros que permitem inferir sobre os diversos fatores que atuam sobre o solo (GUARIZ, 2009). Os solos do Maranhão são originários da Formação Barreiras desenvolvidos a partir de sedimentos pré intemperizados que possuem disponibilidade limitada de nutrientes apresentando caráter coeso segundo (DANTAS, 2014)

Dentre as funções do solo, uma das mais importantes, é prover ao sistema radicular das

plantas um ambiente adequado ao seu desenvolvimento (ALMEIDA, 2008). O ambiente propício é aquele que oferece às raízes: água, nutrientes e oxigênio em quantidades necessárias para que as plantas expressem o seu máximo potencial produtivo (ALMEIDA, 2008). A densidade do solo é um importante atributo físico do solo, por fornecer indicações a respeito do estado de sua conservação, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo.

Análises geoestatísticas têm sido utilizadas para a descrição da variabilidade espacial das propriedades do solo fornecendo, por meio de técnicas como a krigagem ordinária (KO), estimativas de valores em regiões não amostradas da área em estudo (OLIVEIRA et al., 2013, OLIVEIRA et al., 2014). De posse destas estimativas é possível a identificação de regiões compactadas e realizar o manejo localizado para a correção do problema.

Diante do exposto e devido à carência de informações sobre os solos do leste maranhense, o presente trabalho teve por objetivo analisar a variabilidade espacial da densidade do solo sob diferentes sistemas de manejo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no município de Anapurus, MA, na Fazenda Unha de Gato, localizado na mesorregião leste do Maranhão, microrregião de Chapadinha, MA nas coordenadas geográficas de 3°45'46"S 43°10'56"W. O clima, segundo a classificação climática de Köppen-Gerger, é do tipo Aw. A estação chuvosa está concentrada entre os meses de janeiro a junho e a estação seca do período de julho a dezembro, com precipitação pluvial média de 1, 704 mm, temperatura média anual acima de 26,9 °C, umidade relativa anual entre 70% e 73% (Governo do Estado do Maranhão, 2002).

As áreas escolhidas como experimentais são



cultivadas com soja há mais de 20 anos, sendo o relevo de plano a suave ondulado, característico dos solos dos Tabuleiros Costeiros. O solo estudado foi classificado como Latossolo Amarelo distrocoeso (Embrapa, 2006) formado por sedimentos arenoargilosos do Grupo Barreiras, característico da unidade geomorfológica Tabuleiros Costeiros (Jacomine et al., 1975).

Foram instaladas duas malhas: uma em área na qual foi utilizado o sistema convencional com área desmatada há vinte anos, utilizando no preparo do solo grade pesada, intermediária, niveladora e subsolagem; outra na qual foi utilizado o sistema de plantio direto utilizando milho na formação da palhada. Cada malha regular consistiu em 50 pontos de coleta com espaçamento de 40 m na profundidade de 0,00-0,20 cm. (Figura 1).

Em cada ponto foram coletadas amostras indeformadas para determinar a densidade do solo pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997).

Inicialmente, foi feita a estatística descritiva dos valores observados da densidade (média, desvio-padrão, mínimo, máximo, coeficiente de variação, assimetria e curtose).

A dependência espacial das amostras foi caracterizada por meio do variograma (Soares, 2006). A modelagem do variograma experimental, seguindo os princípios estabelecidos pela hipótese intrínseca (Isaaks & Srivastava, 1989), foi realizada visando à captação da variabilidade espacial da densidade 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 semivariância experimental para uma distância de separação h , $z(x_i)$ é o valor da propriedade no ponto i , e $N(h)$ é o número de pares de pontos separados pela distância h . A escolha do melhor modelo ajustado ao variograma, baseou-se na soma do quadrado dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação (R^2) obtidos no ajuste do modelo.

Após a construção dos variogramas, foi utilizada a técnica krigagem ordinária (KO) para a interpolação de valores em locais não mostrados. A técnica da KO é baseada 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:

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i), \text{ com } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1,$$

em que, $\hat{z}(x_0)$ é o valor estimado no ponto 0; N é o número de valores utilizados na estimação; λ_i é o peso associado a cada valor observado, e $z(x_i)$ é o valor observado no ponto i (Soares, 2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os valores da Tabela 1, os coeficientes de variação (CV) da densidade do solo em ambos os sistemas de manejo foram classificados como variabilidade baixa - $CV < 12\%$ (Warrick e Nielsen, 1980). Santos et al. (2012) encontraram CV com baixa variabilidade ao analisar a densidade de solo cultivado com soja.

O atributo analisado apresentou dependência espacial, ajustando-se ao modelo esférico em ambos os sistemas de manejo (Tabela 2). Esse modelo tem sido o mais utilizado para descrever o comportamento de atributos do solo por e diversos autores (Cambardella et al., 1994; Oliveira et al., 2013, Oliveira et al., 2014). A densidade nos dois sistemas de manejo apresentou grau de dependência espacial (GDE) moderada, segundo classificação de Cambardella et al. (1994).

De acordo com o alcance dos variogramas (Tabela 2), verifica-se que a densidade apresentou maiores valores de alcance para o solo com preparo convencional, o que indica uma menor variabilidade desse atributo para este sistema de manejo. Esta menor variabilidade pode ser explicada devido a uma maior mobilização do solo no manejo convencional, o que contribui para uma maior homogeneização da camada superficial.

A análise visual dos mapas obtidos por meio da krigagem (Figura 2) permite identificar que os maiores teores de densidade apresentaram-se no solo submetido ao manejo direto. Esse fato decorre principalmente devido ao arranjo natural do solo quando não é revolvido (STONE e SILVEIRA, 2001).

CONCLUSÕES

O atributo densidade apresenta dependência espacial moderada para os sistemas de manejo convencional e direto.

De acordo com os mapas de krigagem ordinária, o sistema de manejo influencia na densidade do solo.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C.X. Funções de Pedotransferência Para a Curva de Resistência do Solo à Penetração. 2008. 34p. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Universidade Estadual Paulista.



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. Sci. Soc. Am. J.*, Madison, 58:1.501-1.511, 1994.

DANTAS, J.S.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M.V.; RESENDE, J.M. do A.; CAMARGO, L.A.; BARBOSA, R.S. Gênese de solos coesos do Leste Maranhense: relação solo- paisagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.1039- 1050, 2014.

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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA E AGROPECUÁRIA – EMBRAPA, Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Sibcs 3 ed. Revisada e ampliada, Brasília, DF : Embrapa, 2013. 353 p.

GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico. Universidade Federal do Maranhão. Atlas do Maranhão. São Luís: GEPLAN, 2002. 39p.

GUARIZ, H. R. Variação da Umidade e da Densidade do Solo sob Diferentes Coberturas Vegetais, *Revista Brasileira de Agroecologia* Vol. 4 No. 2, nov. 2009.
ISAACS, E. H. & SRIVASTAVA, R. M. A introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, 1989. 592 p.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; PESSOA, S.C.P. & SILVEIRA, C.O. Levantamento exploratório. Reconhecimento de solos do Estado de Alagoas. Recife, Embrapa, Centro de Pesquisas Pedológicas, 1975. 531p. (Boletim Técnico, 35)

OLIVEIRA, I. R.; TEIXEIRA, D. B.; PANOSSO, A.R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Modelagem e quantificação da incerteza espacial do potássio disponível no solo por simulações estocásticas. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.49, n.9, p.708-718, 2014.

OLIVEIRA, I. R.; TEIXEIRA, D. B.; PANOSSO, A.R.; CAMARGO, L.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Modelagem geoestatística das incertezas da distribuição espacial do fósforo disponível no solo, em área de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.1481-1491, 2013.

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.

SOARES, A. *Geoestatística para ciências da terra e do ambiente*. 2. ed. Lisboa: IST Press, 2006, 214 p.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.395-401, 2001.

WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. *Applications of soil physics*. New York, Academic, 1980. p. 319-344.

Tabela 1. Estatística descritiva da densidade do solo (kg dm^{-3}) em dois sistemas de manejo

Atributo	N	Média	DP	CV	Mín.	Máx.	Ass.	Curt.
Densidade MC	50	1,5061	0,0819	5,44	1,3600	1,7100	0,26	0,02
Densidade MD	50	1,5911	0,0895	5,62	1,3900	1,7800	-0,07	0,15

Densidade MC=densidade para o manejo convencional; densidade MD=densidade para o manejo direto; N=número de dados; DP=desvio-padrão; CV=coeficiente de variação (%); Mín=mínimo; Máx=máximo; Ass.=coeficiente de assimetria; Curt.=coeficiente de curtose.

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para a densidade do solo em dois sistemas de manejo

Atributo	Modelo	C_0	C_0+C_1	Alcance	GDE (%)	R^2	SQR
Densidade MC	Esférico	0,0031	0,0064	134,3604	48,2057	0,8900	3,93E-07
Densidade MD	Esférico	0,0033	0,0082	104,8215	40,4982	0,8665	8,74E-07

Densidade MC=densidade para o manejo convencional; densidade MD=densidade para o manejo direto; 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.

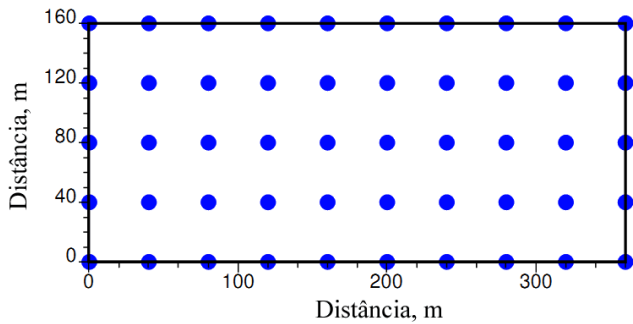


Figura 1. Malha amostral utilizada.

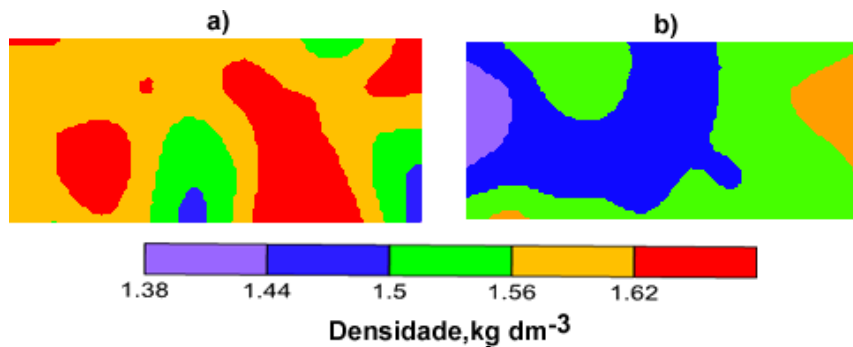


Figura 2. Mapas de krigagem: densidade do solo (kg dm^{-3}) para os sistemas de manejo convencional (a) e direto (b)