

## Notas Científicas

### Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto

Letícia da Silva Ribeiro<sup>(1)</sup>, Ismênia Ribeiro de Oliveira<sup>(2)</sup>, Jussara Silva Dantas<sup>(3)</sup>,  
Camila Vieira da Silva<sup>(2)</sup>, Grazieli Brito da Silva<sup>(2)</sup> e James Ribeiro de Azevedo<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Universidade Federal do Piauí, BR135, Km3, Planalto Horizonte, CEP 64900-000 Bom Jesus, PI, Brasil. E-mail: leticia.s.ribeiro@hotmail.com.br

<sup>(2)</sup>Universidade Federal do Maranhão, BR 222, Km 04, s/nº, Boa Vista, CEP 65500-000 Chapadinha, MA, Brasil. E-mail: ismenia.ribeiro@ufma.br, camillavieira\_milla@hotmail.com, grazibs96@gmail.com, jamesazevedo@hotmail.com <sup>(3)</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Rua Jairo Vieira Feitosa, nº 1770, Pereiros, CEP 58840-000 Pombal, PB, Brasil. E-mail: jussarasd@yahoo.com.br

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da umidade, da densidade e da porosidade de solo coeso cultivado com soja sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. Foram instaladas duas malhas regulares, uma para cada tipo de manejo. O solo foi coletado na profundidade de 0,00–0,20 m, e a variabilidade espacial de seus atributos foi analisada por meio de parâmetros do semivariograma e do interpolador geoestatístico krigagem ordinária. O solo apresentou maior densidade e conservação da umidade no plantio direto, e maior porosidade no manejo convencional.

**Termos para indexação:** densidade do solo, krigagem ordinária, porosidade do solo, qualidade física do solo, umidade do solo.

### Spatial variability of physical attributes of a cohesive soil under conventional and no-tillage management systems

**Abstract** – The objective of this work was to evaluate the spatial variability of moisture content, bulk density, and porosity of a cohesive soil under conventional and no-tillage management systems. Two regular grids were installed, one for each management type. The soil was collected at the 0.00–0.20-m depth and the spatial variability of its attributes was analyzed by semivariogram parameters and ordinary kriging geostatistical interpolation. The soil showed greater bulk density and moisture conservation under no-tillage, and greater porosity under conventional tillage.

**Index terms:** soil bulk density, ordinary kriging, soil porosity, soil physical quality, soil moisture.

Solos com horizontes subsuperficiais endurecidos de alta coesão entre as partículas – duros, muito duros e extremamente duros, quando secos, e friáveis quando úmidos – são conhecidos no Brasil como solos coesos (Jacomine, 2001). Nesses solos, o caráter coeso é um inibidor físico que pode afetar a produção agrícola devido à elevada resistência do solo à penetração (Melo Filho et al., 2009; Vieira et al., 2012), particularmente quando seco, o que prejudica a infiltração de água, a absorção de nutrientes e o desenvolvimento radicular das plantas. Assim, estudos sobre a densidade, umidade e porosidade deste tipo de solo, que ocorre sobretudo no ambiente dos Tabuleiros Costeiros (Vieira et al., 2012), são importantes para analisar a qualidade física do solo e dar suporte ao seu uso e manejo.

Entre os componentes de manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influencia no comportamento

físico, uma vez que atua diretamente sobre sua estrutura e causa modificações na porosidade e densidade, o que afeta a retenção de água. Entretanto, medidas corretivas para solucionar os problemas relacionados à física do solo são normalmente realizadas sem que se leve em conta a distribuição espacial das propriedades físicas do solo. Essas propriedades, no entanto, apresentam grande variabilidade, decorrente de práticas de manejo, processos de formação e características intrínsecas do solo (Warrick & Nielsen, 1980).

O uso da geoestatística permite identificar, em uma área geralmente tratada como homogênea, características e necessidades que requerem manejos diferenciados. Esse conhecimento permite estimar as respostas dos atributos do solo às práticas de manejo utilizadas, bem como reduzir os efeitos da variabilidade do solo na produtividade agrícola. Estudos recentes têm utilizado

a geoestatística para analisar a variabilidade espacial de atributos físicos do solo (Carvalho et al., 2011; Santos et al., 2012; Kamimura et al., 2013); porém ainda há poucos trabalhos que tratam de solos coesos.

Entre os pré-requisitos necessários para definir práticas apropriadas de manejo em solos coesos, é importante que se conheça a relação entre os atributos físicos do solo e o manejo utilizado, e estudos sobre a variabilidade espacial desses atributos contribuirão para entender a influência do manejo sobre a qualidade física do solo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da umidade, densidade e porosidade de um solo coeso cultivado com soja, sob dois sistemas de manejo.

O estudo foi realizado na Fazenda Unha de Gato, município de Anapurus, MA, localizada na microrregião de Chapadinha, mesorregião leste do Maranhão, Brasil, nas coordenadas geográficas de 3°45'S 43°10'W. O clima, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, é do tipo Aw. A estação chuvosa está concentrada entre os meses de janeiro a junho, e a estação seca no 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% (Atlas..., 2002).

As áreas escolhidas eram cultivadas com soja há mais de 20 anos e apresentavam o relevo de plano a suave ondulado, característico dos solos dos Tabuleiros Costeiros. O solo estudado foi classificado como Latossolo Amarelo distrocoeso (Atlas..., 2002), formado por sedimentos arenoargilosos do Grupo Barreiras, característico da unidade geomorfológica Tabuleiros Costeiros. A camada coesa no solo estudado geralmente é encontrada na faixa de 30 a 50 cm de profundidade; porém, observou-se a ocorrência também de adensamento superficial, com grande coesão entre os agregados, já nas camadas superficiais: duro a extremamente duro, quando seco; e friável quando úmido.

Foram utilizadas duas áreas experimentais com manejos distintos. Na primeira área, manejada sob sistema convencional de plantio, o solo ficava sem cobertura, e o preparo do solo era feito anualmente com grade pesada, intermediária, niveladora e com subsolagem. Na segunda área, sob sistema de plantio direto, não houve revolvimento do solo e, após a colheita da soja, o milheto era plantado para servir de cobertura

para o solo; porém devido às condições climáticas da região, há pouca formação de palhada. A soja era plantada nos meses de janeiro a fevereiro, e colhida de abril a maio. Após julho, o solo fica muito seco até o início de dezembro, quando começa o período chuvoso.

Em cada área experimental, foi instalada uma malha retangular constituída de 50 pontos de amostragem, com espaçamento regular de 40 m na profundidade de 0,00–0,20 m. Em cada ponto, foram coletadas amostras indeformadas de forma a se determinar a densidade do solo, densidade de partículas e umidade, conforme metodologia de Claessen (1997). Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor para evitar a perda de umidade. No entanto, todas as amostras foram pesadas no mesmo dia da coleta, para obtenção da massa de solo úmido e, após 24 horas em estufa, realizou-se outra pesagem para a obtenção da massa de solo seco.

Para o cálculo da porosidade total, utilizou-se a expressão  $P = [1 - (D_s/D_p)]100$ , em que  $D_s$  é a densidade do solo obtida pelo método do anel volumétrico e  $D_p$  é a densidade de partículas obtida pelo método do balão volumétrico (Claessen, 1997).

Inicialmente, realizou-se a análise estatística descritiva (média, coeficiente de variação, assimetria e curtose) dos valores de umidade, densidade e porosidade, com objetivo de obter informações para identificar tendência, dispersão e forma de distribuição dos dados (Bourgault et al., 1997).

A dependência espacial das amostras foi caracterizada por meio do variograma (Soares, 2006). A modelagem do variograma experimental foi realizada para captar a variabilidade espacial dos atributos do solo. O variograma experimental foi determinado por meio do cálculo da variância de acordo com a distância de separação entre amostras pela equação:

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

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 aos variogramas baseou-se na soma de quadrados dos resíduos (SQR) e no coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Após a construção dos variogramas, utilizou-se a técnica da krigagem ordinária (Soares,

2006) para a interpolação de valores em locais não amostrados.

Os resultados referentes à estatística descritiva (Tabela 1) indicaram normalidade dos dados para as três variáveis, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de probabilidade. Os coeficientes de variação (CV) da umidade, densidade e porosidade do solo indicaram baixa variabilidade em ambos os sistemas de manejo, de acordo com a classificação de Warrick & Nielsen (1980). Carvalho et al. (2011) identificaram baixos CV para os atributos densidade e porosidade, ao passo que Zanette et al. (2007) constataram baixo CV apenas para umidade do solo. Como a umidade no manejo convencional apresentou coeficiente de assimetria maior que 1, foi necessária a transformação logarítmica nos dados.

Todos os atributos analisados apresentaram dependência espacial (Tabela 1), tendo-se ajustado ao modelo esférico, independentemente do sistema de manejo. Esse modelo tem sido o mais utilizado

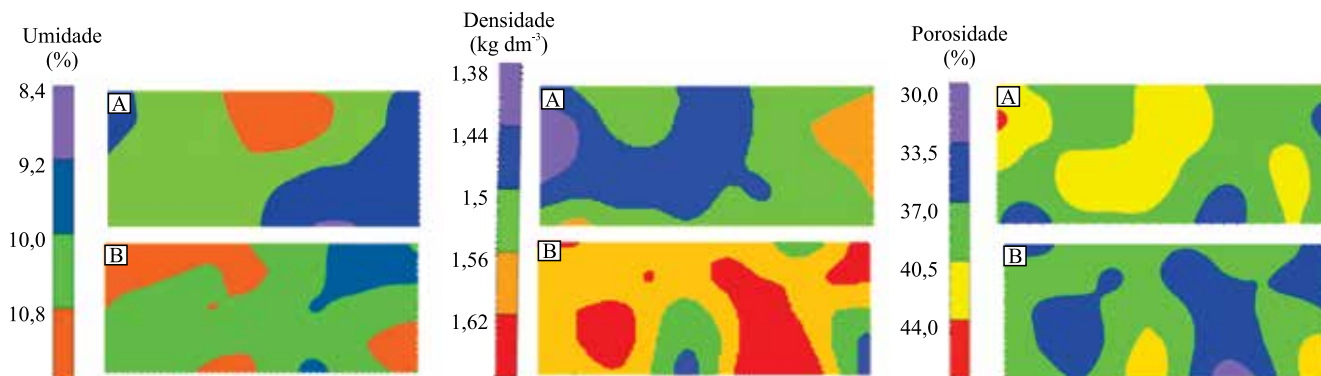
para descrever o comportamento de atributos do solo (Cambardella et al., 1994; Oliveira et al., 2013). Os três atributos avaliados apresentaram grau de dependência espacial (GDE) moderada, segundo a classificação de Cambardella et al. (1994). Santos et al. (2012) identificaram dependência espacial moderada para os atributos umidade e porosidade, ao passo que Kamimura et al. (2013) constataram dependência espacial moderada apenas para o atributo densidade do solo.

O alcance representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados espacialmente entre si. Isso indica que pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si. A umidade e porosidade apresentaram maiores valores de alcance (Tabela 1) no solo com manejo de plantio direto, enquanto a densidade apresentou maior valor de alcance no manejo convencional, indício de que umidade e porosidade apresentam menor variabilidade no manejo direto, e a densidade, no manejo convencional.

**Tabela 1.** Estatísticas descritivas e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais de umidade, densidade e porosidade do solo, nos sistemas de manejo convencional e de plantio direto, em Latossolo Amarelo distrocoeso.

Atributo	N	Média	CV (%)	Assimetria	Curtose	p-valor	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C <sub>1</sub>	Alcance	GDE (%)	R <sup>2</sup>	SQR
Manejo convencional												
Umidade <sup>(1)</sup> (%)	50	10,16	11,97	1,11	2,56	0,036*	0,008	0,013	133,525	58,101	0,807	2,98x10 <sup>-6</sup>
Densidade (kg dm <sup>-3</sup> )	50	1,50	5,44	0,26	0,02	>0,15*	0,003	0,006	134,360	48,205	0,890	3,93x10 <sup>-7</sup>
Porosidade (%)	50	39,80	8,27	-0,25	0,00	>0,15*	3,199	10,290	97,781	31,089	0,785	1,88
Manejo em sistema plantio direto												
Umidade (%)	50	10,54	7,55	-0,42	0,28	>0,15*	0,333	0,688	142,100	48,401	0,629	2,14x10 <sup>-2</sup>
Densidade (kg dm <sup>-3</sup> )	50	1,59	5,62	-0,07	0,15	>0,15*	0,003	0,008	104,821	40,498	0,865	8,74x10 <sup>-7</sup>
Porosidade (%)	50	37,55	9,44	0,10	0,08	>0,15*	4,620	13,250	116,900	34,867	0,830	3,13

<sup>(1)</sup>Dados submetidos à transformação logarítmica. \*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. N, número de dados; CV, coeficiente de variação; C<sub>0</sub>, efeito pepita; C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>, patamar; GDE, grau de dependência espacial [C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)100]; R<sup>2</sup>, coeficiente de determinação; SQR, soma de quadrados dos resíduos.



**Figura 1.** Mapas de krigagem para umidade, densidade e porosidade do solo, nos sistemas de manejo convencional (A) e de plantio direto (B).

A análise visual dos mapas obtidos por krigagem (Figura 1) permite identificar que os maiores teores de umidade e densidade apresentaram-se no solo submetido ao manejo com plantio direto. A variável porosidade, no entanto, apresentou comportamento inverso, com maiores valores no solo com manejo convencional. Segundo Rosa Filho et al. (2009), no manejo direto, apesar de o solo ser submetido a menor tráfego de máquinas, ele não é revolvido, e isto pode provocar adensamento de sua camada superficial. Segundo Santos et al. (2012), sistemas de preparo que revolvem menos o solo e acumulam resíduos culturais na superfície preservam sua estrutura e retêm mais água na camada superficial, principalmente pelo aumento do conteúdo de matéria orgânica, que atua como agente “cimentante” dos agregados do solo e da microporosidade.

De acordo com os mapas de krigagem ordinária, o solo coeso analisado apresenta, no manejo com plantio direto, maior conservação da umidade, menor porosidade e maior densidade em relação ao manejo convencional.

## Referências

- ATLAS do Maranhão. 2.ed. São Luís: Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico, 2002. 39p.
- BOURGAULT, G.; JOURNEL, A.G.; RHOADES, J.D.; CORWIN, D.L.; LESCHG, S.M. Geostatistical analysis of a soil salinity data set. *Advances in Agronomy*, v.58, p.241-292, 1997.
- 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, p.1501-1511, 1994.
- CARVALHO, L.A. de; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C.A. da; CAVALIEIRI, K.M.V.; SANTOS, C.F.B. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.940-949, 2011. DOI: 10.1590/S1415-43662011000900010.
- CLAESSEN, M.E.C. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- JACOMINE, P.K.T. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 4., 2001, Aracaju. *Anais*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.19-46.
- KAMIMURA, K.M.; SANTOS, G.R. dos; OLIVEIRA, M.S. de; DIAS JUNIOR, M. de S.; GUIMARÃES, P.T.G. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo, sob lavoura cafeeira. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v.37, p.877-888, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000400006.
- MELO FILHO, J.F. de; CARVALHO, L.L. de; SILVEIRA, D. de C.; SACRAMENTO, J.A.A. do S.; SILVEIRA, E.C.P. Índice de qualidade em um Latossolo Amarelo coeso cultivado com citros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.31, p.1168-1177, 2009. DOI: 10.1590/S0100-29452009000400034.
- OLIVEIRA, I.R. de; TEIXEIRA, D. De 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. DOI: 10.1590/S0100-06832013000600005.
- ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. de P. e; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F.F. da S.; GIOIA, M.T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.283-293, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000200006.
- SANTOS, D. dos; SOUZA, E.G. de; 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, p.843-848, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000800005.
- SOARES, A. *Geoestatística para ciências da terra e do ambiente*. 2.ed. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2006. 214p. (Coleção ensino da ciência e da tecnologia, 9).
- VIEIRA, J.M.; ROMERO, R.E.; FERREIRA, T.O.; ASSIS JÚNIOR, R.N. de. Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, p.623-632, 2012. DOI: 10.1590/S1806-66902012000400002.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. *Applications of Soil Physics*, p.319-344, 1980. DOI: 10.1016/b978-0-12-348580-9.50018-3.
- ZANETTE, S.V.; SAMPAIO, S.C.; SILVESTRE, M.G.; BOAS, M.A.V.; URIBE-OPAZO, M.A.; QUEIROZ, M.M.F. de. Análise espacial da umidade do solo cultivado com soja sob dois sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.239-247, 2007. DOI: 10.1590/S1415-43662007000300001.

Recebido em 30 de agosto de 2015 e aprovado em 15 de fevereiro de 2016