



Variabilidade espacial da densidade relativa em Argissolo Vermelho na biocenoses cerrado-pantanal⁽¹⁾

Roniedison da Silva Menezes⁽²⁾; Wander Cardoso Valim⁽³⁾; Elói Panachuki⁽⁴⁾; Sonia Armbrust Rodrigues⁽⁵⁾; Rodrigo Araújo Marques⁽²⁾ Jessica Silva de Souza⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Parte da dissertação do segundo autor, bolsista CAPES, auxílio financeiro FUNDECT.

⁽²⁾ Graduando em Agronomia, roniedison1@hotmail.com; Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana-MS, rod. Aquidauana- UEMS km 12, CEP: 79200-000, ⁽³⁾ Doutorando no programa em Ciência do solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC e-mail wander.cv@hotmail.com; ⁽⁴⁾ Professor da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana-MS, rod. Aquidauana- UEMS km 12, CEP: 79200-000. ⁽⁵⁾ Mestranda no programa em Ciência do solo da Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC. ⁽⁶⁾ Graduanda em Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Aquidauana-MS, rod. Aquidauana- UEMS km 12, CEP: 79200-000,

RESUMO: A densidade relativa é indicador de qualidade da estrutura do solo, sendo, a razão entre a densidade do solo no campo e a densidade resultante da máxima compactação. O experimento foi realizado na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, em período de janeiro a dezembro de 2013, em Argissolo Vermelho distrófico. Sendo que as avaliações foram realizadas em solo sob preparo convencional e dispostas em 50 parcelas experimentais. Para avaliação foram coletadas amostras de solo nas camadas 0,0-0,20 m e 0,20-0,40 m para avaliação da densidade do solo e densidade relativa. A densidade relativa foi determinada através da relação entre a densidade do solo e a densidade máxima do solo determinada pelo Ensaio de Proctor Normal. Para cada atributo estudado, realizou-se a análise descritiva clássica, por meio do software estatístico SAS® e foi avaliada sua dependência espacial por meio do software GS+ Versão 7®. Entre os atributos avaliados verificou-se que houve aumento densidade relativa e densidade do solo em camada, evidenciando assim aumento da condição de compactação do solo, sendo que a condição de compactação da camada 0,20-0,40 m não proporciona restrição ao desenvolvimento vegetal.

Termos de indexação: densidade máxima, densidade do solo, preparo convencional.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento exponencial da população mundial, verificado nas últimas décadas, há a necessidade de inovações tecnológicas que possam contribuir com o aumento da produção sustentável da agropecuária, para que sejam atendidas as demandas de grãos, fibras, madeira e alimentos. Neste sentido vem sendo implementadas técnicas relacionadas à agricultura de precisão que permitem a avaliação de métodos de manejo que proporcionam a otimização do uso dos recursos naturais e dos insumos agrícolas (Petilio et al., 2007).

Por ser considerada como a utilização de recursos tecnológicos em áreas de produção agropecuária, a agricultura de precisão leva em conta o fato de que cada área apresenta condições físicas, químicas e biológicas que podem ser diferentes. Com isso a agricultura de precisão proporciona o manejo diferenciado em locais, reduzindo os custos, agregando maior lucro, promovendo sustentabilidade e proteção do ambiente (Molin, 2007).

O uso intensivo do solo pode provocar mudanças nas suas propriedades, por isso, devem ser monitoradas, evitando modificações indesejáveis que causam a degradação o solo (Gomes et al., 2007).

O mapeamento detalhado da área por meio de técnicas de amostragem de solo e do GPS é umas das técnicas da agricultura de precisão. Assim o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a densidade relativa em Argissolo Vermelho no ecótono cerrado-pantanal.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, campus de Aquidauana, MS, no período compreendido entre janeiro a dezembro de 2013 em Argissolo Vermelho distrófico.

As avaliações foram realizadas em 50 parcelas experimentais distanciadas 7 m entre linhas e 5 m entre colunas, em área de 3.024 m², sob preparo convencional. A locação dos pontos amostrais para a coleta de dados foi realizada após as operações de preparo do solo, sendo os pontos distribuídos aleatoriamente e georreferenciados por meio de um receptor GPS Garmin etrex®.

Foram coletadas amostras de solo nas camadas 1 (0,0-0,20 m) e 2 (0,20-0,40 m) para avaliação da densidade do solo (DS), conforme Embrapa (1997), densidade relativa (DR) determinada através da relação entre a densidade do solo e a densidade máxima do solo (DS_{máx}), sendo a densidade máxima determinada pelo Ensaio de Proctor Normal, conforme Stolf et al. (2011).



Variabilidade espacial dos atributos

Para cada atributo estudado, realizou-se a análise descritiva clássica, por meio do software estatístico SAS®. Para testar a hipótese de normalidade, foi utilizada a estatística de Shapiro & Wilk a 5% de probabilidade.

Para efetuar as regressões lineares simples para as combinações, duas a duas, foi montada a matriz de correlação entre os atributos do solo que foram avaliados.

Isoladamente para cada atributo, foi avaliada sua dependência espacial, pelo cálculo do semivariograma simples, com base nos pressupostos de estacionaridade da hipótese intrínseca, por meio do software GS+ Versão 7®.

Os ajustes dos semivariogramas, em função de seus modelos, foram efetuados prioritariamente pela seleção inicial de: a) menor soma dos quadrados dos desvios (RSS); b) maior coeficiente de determinação (R^2), e c) maior avaliador da dependência espacial (ADE). A decisão final do modelo que representou o ajuste foi realizada pela validação cruzada, assim como para a definição do tamanho da vizinhança que proporcionou a melhor malha de krigagem, realizadas por meio da krigagem em blocos.

Para análise do alcance da dependência espacial (ADE) que permite classificar a dependência espacial em fraca ($ADE \leq 25\%$), moderada ($25\% < ADE \leq 75\%$) e forte ($ADE > 75\%$) foi determinada conforme Cambardella et al. (1994), sendo utilizada a equação 1:

$$ADE = (C_1/C_0 + C_1) \times 100$$

sendo, ADE: avaliador da dependência espacial; C_1 : a variância estrutural; e $C_0 + C_1$: o patamar.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na **tabela 1** foram apresentados os valores das medidas estatísticas descritivas para densidade relativa e densidade do solo.

De acordo com Warrick & Nielsen (1980), o coeficiente de variação pode ser considerado baixo ($CV \leq 12\%$), médio ($12\% < CV \leq 60\%$) ou alto ($CV > 60\%$). Os valores do coeficiente de variação observados neste estudo tiveram valores próximos com variação 6,416, 4,163, 6,420 e 4,159% para DR1, DR2, DS1 e DS2 respectivamente, permitindo considerar que, em geral, os valores foram baixos para os atributos avaliados.

Para variáveis avaliadas verificou-se que na camada correspondente a 0,00 – 0,20 m, assim como também observado por Souza et al. (2004), os valores do CV tenderam a ser superiores devido,

possivelmente, devido ao efeito das operações de preparo do solo que alteram as propriedades físicas do solo e proporcionam condições mais heterogêneas do que na camada 0,20 – 0,40 m que não sofreu a ação direta dos implementos agrícolas.

O valor médio para DS foi menor na camada 1 ($1,43 \text{ Mg m}^{-3}$), devido provavelmente à ação dos implementos agrícolas que promoveram o revolvimento do solo nesta camada e maior quantidade de matéria orgânica, embora o valor médio observado na camada 2 ($DS2 = 1,70 \text{ Mg m}^{-3}$) não seja restritivo ao crescimento radicular pois, segundo Reinert et al. (2008) o limite crítico de densidade do solo para Argissolo Vermelho é de $1,85 \text{ Mg m}^{-3}$.

Os valores da densidade relativa também aumentaram em camada. Isto evidencia o aumento da condição de compactação, pois considerando os valores médios de DR pode-se constatar que densidade do solo na camada 1 representa 73,4% da densidade máxima do solo, enquanto que na camada 2 passou a ser de 86,8%.

Estes valores indicam que na camada 1 o crescimento das plantas pode ser prejudicado, pois, valores de DR inferiores a 80% podem proporcionar baixo volume de água disponível ao sistema radicular. Em contrapartida, a condição de compactação da camada 2 não é restritiva ao desenvolvimento vegetal, pois segundo Reinert et al. (2008) valores de densidade relativa entre 80 e 90% são adequados ao cultivo vegetal, pois não restringem o fluxo de gases e a disponibilidade de água.

As matrizes de correlação linear de Pearson entre os atributos físicos do solo. Na análise de DS versus DR, em suas respectivas camadas, verificou-se correlação positiva e máxima ($r=1,0^*$), evidenciando a relação direta que existe entre as variáveis que são relevantes na avaliação da condição de compactação do solo. Este fato permite considerar que a estimativa dos atributos físicos pode ser feita com uso de modelos matemáticos que utilizem como variáveis independentes aquelas que apresentam alta correlação com as dependentes.

Na **tabela 2** estão apresentados os parâmetros relativos aos ajustes e os modelos dos semivariogramas. Dentre os atributos avaliados, a DS1 apresentou alcance de 12,4 m e na camada 2 de 18,0 m enquanto que para DR na camadas 1 e 2 foram 13,25 m e 33,92 m, respectivamente. Assim, verificou-se que os menores valores de alcance ocorreram na camada 1 e os maiores na camada 2, indicando a maior continuidade na distribuição espacial das propriedades do solo na camada 2, isso possivelmente ocorreu devido a ausência de revolvimento do solo nesta camada, a baixa



quantidade de matéria orgânica e ao efeito da pressão exercida pelas camadas superiores de solo.

Os alcances (A_0) são de grande importância para o planejamento e avaliação experimental porque, segundo Souza et al. (2004), contribuem na definição do procedimento de amostragem, pois correspondem ao parâmetro que representa a distância entre os pontos amostrais que apresentam dependência espacial.

Em decorrência das análises geoestatísticas evidenciarem a dependência espacial das propriedades físicas do solo, sugere-se a utilização dos valores do alcance para futuras amostragens e práticas de manejo do solo.

Os semivariogramas (**figuras 1**) permitiram identificar visualmente a presença de dependência espacial nas propriedades analisadas a partir dos parâmetros da **tabela 2** e do ajuste do modelo matemático que melhor ilustrasse o comportamento da variabilidade da variável em função da distância. Verificou-se que todos os semivariogramas experimentais apresentaram patamares definidos, permitindo considerar que a dependência espacial tem distância limitada.

Dentre os semivariogramas simples foram modelo gaussiano para DR1 e DS1, esférico para DR2 e exponencial para DS2.

Entre os semivariogramas simples (**figuras 1**), os coeficientes de determinação espacial (R^2) exibiram os maiores valores para DS2 e DR2, sendo 0,99 e 0,97 respectivamente, os menores foram DR1 e DS1 ficando em 0,71 e 0,78 respectivamente. Isto indicou que camada 2, a densidade relativa foi o atributo físico que apresentou a menor variabilidade e maior continuidade espacial, garantindo melhor precisão em locais não amostrados.

Na **figura 1** foram apresentados os mapas de krigagem simples entre os atributos avaliados. Na **figura 1a** verifica-se que os valores de DR1 tenderam a serem superiores nos nômios 3, 6, 7, 8 e 9. Os valores permaneceram abaixo de 0,80 que é considerado como valor do limite inferior para que o sistema radicular possa ter um bom desenvolvimento. Na **figura 1b** nos nômios 1, 2, 4 e 7 verificou os valores mais elevados de densidade relativa para a camada 2, apresentando faixas de valores considerados como adequados ao desenvolvimento vegetal.

CONCLUSÕES

Os atributos densidade relativa, densidade do solo apresentaram correlação espacial, variabilidade de média a muito alta e padrões de distribuição espacial bem definido, não variando aleatoriamente.

A avaliação da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo permitiu a identificação áreas compactada, restringindo o cultivo na área.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor e o FUNDECT pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, p.212, 1997.

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

MORIN, J.; GOLDBERG, D.; SEGNER, I. A rainfall simulator with a rotating disk. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.10, 1967.

PETILIO, A.; PEREIRA, M.; PERÃO, G.; TAMAE, R. Y. Um breve estudo da viabilidade de aplicação de técnicas de agricultura de precisão. Revista Científica Eletrônica de Agronomia. São Paulo: Ed. FAEF, n.11, p.7, jul. 2007.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, 2008.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.28, n.6, 2004.

STOLF, R. Penetrômetro de Impacto Stolf-programa de manipulação de dados em Excel-VBA. UFSCar, 2011. Disponível em: <http://www.cca.ufscar.br/drnpa/Hprubismar.htm>. Acesso em: 16 nov. 2011.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. Applications of soil physics. San Diego: Academic Press, p.319-345, 1980.

TABELA 1. Análise descritiva de atributos físicos de um Argissolo Vermelho.

Atributo ^(a)	Medidas estatísticas descritivas										
	Média	Mediana	Moda	Valor		Desvio Padrão	Coeficiente			Probabilidade do teste ^(b)	
				Máximo	Mínimo		Varição (%)	Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
DR1	0,734	0,729	0,687	0,879	0,659	0,047	6,416	0,475	0,725	0,0979	NO
DR2	0,868	0,869	0,872	0,974	0,805	0,036	4,163	0,538	0,553	0,2812	NO
DS1	1,439	1,429	1,504	1,723	1,292	0,092	6,42	0,473	0,725	0,0952	NO
DS2	1,702	1,704	1,713	1,909	1,578	0,071	4,159	0,542	0,554	0,2805	NO

^(a) Atributos físicos do solo: DR= Densidade relativa, DP= Densidade de partículas ($Mg\ m^{-3}$). 1 = camada 0,00-0,20 m; 2 = camada 0,20-0,40 m; ^(b) DF = distribuição de frequência, sendo do tipo normal.

TABELA 2. Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados ajustados para atributos físicos de um Argissolo Vermelho sob preparo convencional, Aquidauana, MS.

Atributos ^(a)	Parâmetros										
	Modelo ^(b)	Efeito pepita ^(C₀)	Patamar ^(C₁ + C₀)	Alcance ^(A₀) (m)	R ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	B	r
<i>γ(h) simples dos atributos do solo</i>											
DR1	Gau.(63)	$1,42 \times 10^{-4}$	$1,57 \times 10^{-3}$	13,25	0,71	$1,9 \times 10^{-7}$	91	MA	0,89	0,142	0,47
DR2	Esf.(67)	$6,07 \times 10^{-4}$	$1,35 \times 10^{-3}$	33,92	0,97	$5,5 \times 10^{-9}$	55,2	ME	1,15	0,29	0,25
DS1 ($Mg\ m^{-3}$)	Gau.(67)	5×10^{-4}	$7,08 \times 10^{-2}$	12,4	0,78	$2,3 \times 10^{-6}$	92,9	MA	0,94	0,13	0,72
DS2 ($Mg\ m^{-3}$)	Exp.(80)	$4,9 \times 10^{-4}$	$4,94 \times 10^{-2}$	18	0,99	$1,8 \times 10^{-8}$	90,1	MA	1,23	0,29	0,57

^(a) DR1, DR2, DS1 e DS2, são respectivamente densidade relativa e densidade do solo coletados nas camadas de 0,00-0,20 m (1) e 0,20-0,40 m (2). ^(b) exp = exponencial, epp = efeito pepita puro, gau = gaussiano, esf = esférico, com seus devidos pares de lags; ^(c) SQR = soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial, sendo MA = muito alta e ME = média.

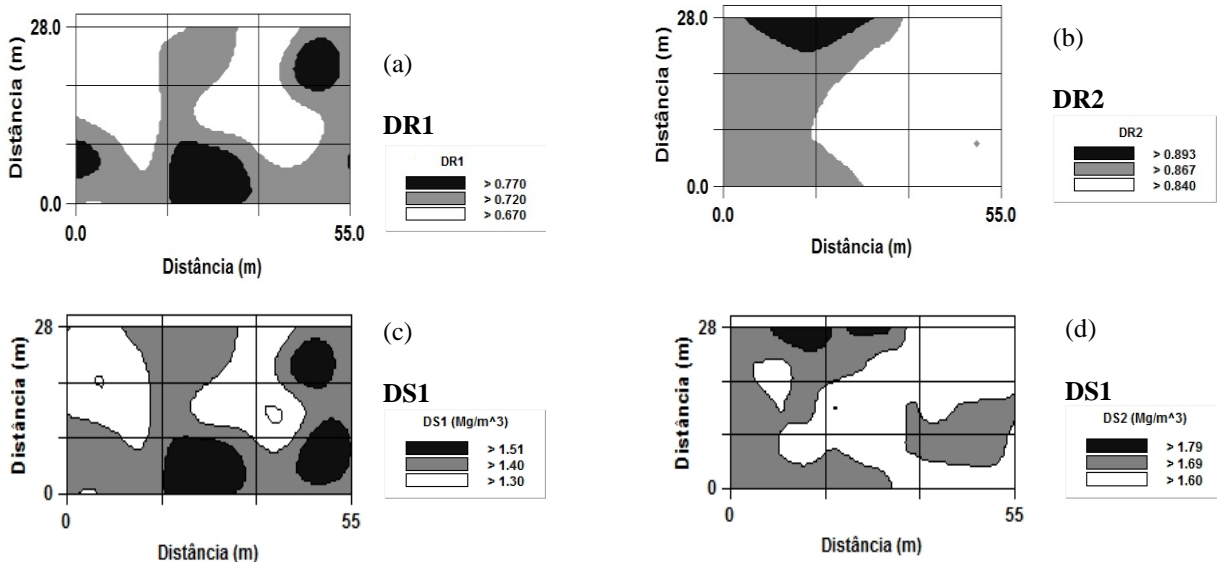


FIGURA 1. Mapas de krigagem dos atributos de um Argissolo vermelho sob preparo convencional. DR = densidade relativa do solo; DS = densidade do solo. (1) camada 0,00-0,20 m; (2) camada 0,20-0,40 m.