

Variabilidade espacial da estabilidade de agregados e matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária⁽¹⁾

Simone Valiati⁽²⁾; Rodrigo Gonçalves Trevisan⁽³⁾; Gabriel Casagrande Torres⁽³⁾; Flávio Jesus Wruck⁽⁴⁾; Onã da Silva Freddi⁽⁵⁾

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil, CNPq; ⁽²⁾Graduanda em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT/Sinop/ICAA, Sinop-MT, s_valiati@hotmail.com; ⁽³⁾Graduando em Agronomia, UFMT/Sinop/ICAA; ⁽⁴⁾Eng. Agrônomo, M. Sci. Fitotecnia Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão; ⁽⁵⁾Professor adjunto II, UFMT/Sinop/ICAA.

RESUMO: A estabilidade dos agregados é um dos indicadores de qualidade física que podem ser utilizados para se quantificar os impactos dos manejos adotados em um solo. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da estabilidade de agregados e da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com arroz de terras altas. O estudo foi realizado em 2012, no município de Santa Carmem, norte do Estado de Mato Grosso, adotando-se uma malha regular com 100 pontos distribuídos numa área de 26400 m², nos quais se determinou o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG) e a matéria orgânica do solo (MO). Todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial, com alcances variando entre 31,5 e 79,8 m. A matéria orgânica do solo apresentou-se positivamente correlacionada com os índices de agregação adotados, tanto linear quanto espacialmente. O uso da MO como variável auxiliar para a estimativa da agregação do solo possibilitou o aumento do alcance da dependência espacial, o que pode ser usado objetivando-se redução nos custos de amostragem e melhor confiabilidade nos resultados.

Termos de indexação: diâmetro médio, correlação, geoestatística.

INTRODUÇÃO

Do ponto de vista agrícola, a estrutura do solo é um dos atributos mais importantes, pois está relacionada à disponibilidade de água, de ar e de nutrientes às plantas, podendo ser influenciada por uma série de fatores, em especial, o teor de matéria orgânica (SILVA; KATO, 1997). O estudo da estabilidade dos agregados é uma das formas de se avaliar a estrutura do solo e de se quantificar os impactos causados pelas práticas de manejo adotadas (ROTH et al., 1991). Portanto, a manutenção da estabilidade dos agregados é primordial para que se possam obter altas produtividades (PERIN et al., 2002) e qualquer técnica de manejo que afete o teor de matéria orgânica exercerá efeito sobre a estrutura do solo (CORRÊA, 2002).

O estudo dos atributos do solo é um importante instrumento na escolha e adoção de técnicas de manejo de determinada área (PIERCE; NOWAK, 1999). Porém, há uma tendência de substituição das análises estatísticas clássicas pelas análises geoestatísticas, considerando-se a variância regional e a dependência espacial destes atributos para melhor caracterizar o problema em estudo e possibilitar maiores chances de acerto na tomada de decisões (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade espacial da estabilidade de agregados e da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com arroz de terras altas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em parceria com a EMBRAPA Agrossilvipastoril, na Unidade de Referência Tecnológica em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta, implantada na Fazenda Dona Isabina, no município de Santa Carmem, norte do Estado de Mato Grosso (12° 03' 58" S e 55° 21' 07" O). O local apresenta tipo climático Aw, segundo a classificação de Köppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com precipitação média anual de 2.064 mm, temperatura média de 30°C e altitude de 375 m. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, de textura argilosa.

O solo sob a área do experimento vem sendo usado sob o sistema de integração lavoura-pecuária, com o cultivo de pastagem por dois anos (safras 2006/07 e 2007/08), uma sequência de diferentes culturas agrícolas no período chuvoso e pastagem no período seco. A coleta das amostras foi realizada em março de 2012, quando o solo estava ocupado para o cultivo de arroz de terras altas, em fase final de maturação.

Adotou-se uma malha retangular constituída de 7 linhas e 12 colunas, contendo 84 pontos amostrais, espaçados de 20 em 20 m em ambos os eixos, com mais 16 pontos de refinamento, totalizando 100 pontos numa área de estudo de 26400 m².

Em cada ponto amostral coletou-se uma amostra com estrutura indeformada no formato de torrão, na camada de 0-0,10m, que foram secas ao ar e então pneiradas mantendo-se apenas a fração entre 4,0 e 8,0 mm. Estas amostras foram então utilizadas para separação das classes de tamanhos dos agregados. Após serem reumedecidas por capilaridade sobre um papel filtro, foram submetidas à tamisagem úmida com um conjunto de peneiras de malhas correspondentes a 4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,125 mm, conforme descrito por Yoder (1936). Adotou-se como índice de agregação o diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG), calculados segundo a proposta de Kemper e Rosenau (1986). Nos mesmos pontos, também foi coletou-se uma amostra deformada com trado do tipo Holandês, na camada de 0-0,10 m. Esta foi utilizada para a análise da matéria orgânica, realizada pela oxidação por via úmida com dicromato de sódio em meio sulfúrico e determinação por colorimetria, conforme Raji et al. (2001).

Para cada variável estudada, efetuou-se a análise descritiva clássica e análise de correlação linear, com auxílio do programa R versão 2.15.2 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012). Posteriormente, realizou-se a identificação dos outliers, considerando-se atípicos os valores encontrados além de três vezes o intervalo interquartil no gráfico Box Plot, sendo estes substituídos pelo valor médio de quatro circunvizinhos contidos na malha. Para testar a hipótese de normalidade dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro & Wilk ($p < 0,05$).

Os dados foram, então, submetidos a análise geoestatística, com auxílio do programa GS+ v.7.0 (ROBERTSON, 2004). Realizou-se a modelagem dos semivariogramas simples e cruzados, sendo ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários e como critério para avaliação da dependência espacial utilizou-se a equação e a interpretação propostas por Zimback (2001), segundo o qual $ADE \leq 25\%$ indica variável espacial fracamente dependente; $25\% < ADE \leq 75\%$ indica variável espacial moderadamente dependente; e $ADE > 75\%$ indica variável espacial fortemente dependente.

O critério final de decisão do modelo de semivariograma foi o melhor ajuste obtido pela validação cruzada, ou seja, ajustes com o coeficiente angular mais próximos a 1 e coeficiente linear mais próximos a 0. Uma vez ajustados os semivariogramas, realizou-se a krigagem ordinária dos dados e a geração dos mapas de contorno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme pode ser observado na **Tabela 1**, a estabilidade de agregados, representada pelo DMP e DMG, apresentou valores médios de 4,47 e 3,32 mm, respectivamente, sendo considerados elevados quando comparados aos comumente encontrados em solos de vegetação natural e de plantio direto sem o sistema de ILP (LOSS et al., 2011). Ainda em relação ao DMP, este foi superior a todos os encontrados por Corrêa (2002), que, avaliando 9 condições de cultivo, obteve valor máximo de 4,4 mm para um solo com mata natural, demonstrando a sustentabilidade do sistema de ILP adotado.

Também se pode observar que as três variáveis estudadas apresentaram distribuição do tipo normal e que os maiores CVs foram do DMG (16,2%) e da MO (14,5%), indicando que essas variáveis são mais sensíveis à alterações na qualidade do solo.

Tabela 1 – Análise descritiva inicial dos atributos avaliados em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária. Fazenda Dona Isabina, Santa Carmem-MT, 2012.

Atributo ^(a)	DMP (mm)	DMG (mm)	MO (g kg ⁻¹)
Média	4,47	3,32	32,77
Mediana	4,42	3,25	32,62
Mínimo	3,51	2,03	23,05
Máximo	5,32	4,66	46,15
Desvio padrão	0,38	0,54	4,74
CV (%)	8,4	16,2	14,5
Coef. Curtose	-0,303	-0,413	-0,277
Coef. Ass. ^(b)	-0,194	0,031	0,443
Pr < w ^(c)	0,67	0,93	0,11
DF ^(d)	NO	NO	NO

^(a)DMP, DMG e MO, são, respectivamente, o diâmetro médio ponderado, o diâmetro médio geométrico e a matéria orgânica do solo; ^(b)Ass: Assimetria; ^(c)Estatística do teste de Shapiro-Wilk; ^(d)DF: distribuição de frequências, sendo NO do tipo normal.

A correlação entre os atributos avaliados foi significativa e positiva, demonstrando que há expressão de um mesmo fenômeno, ou seja, a elevação de um gera a elevação do outro (**Tabela 2**). Portanto, o aumento nos teores de MO provoca melhorias na estrutura do solo, o que fica evidente ao se observar as correlações entre MO e DMP ($r=0,20$) e MO e DMG ($r=0,215$). A forte correlação positiva entre DMG e DMP ($r=0,987$) mostra que a avaliação do estado de agregação do solo por ambos os índices é muito semelhante.

Tabela 2 – Matriz de correlação linear dos atributos avaliados em um Latossolo Vermelho–Amarelo sob integração lavoura-pecuária. Fazenda Dona Isabina, Santa Carmem-MT, 2012.

Variável ^(a)	DMP	DMG
DMG	0,987**	
MO	0,200*	0,215*

^(a)DMP, DMG e MO, são, respectivamente, o diâmetro médio ponderado, o diâmetro médio geométrico e a matéria orgânica do solo.

A análise geoestatística das variáveis evidenciou a existência de dependência espacial, sendo esta moderada para DMP e DMG e alta para a MO (**Tabela 3**). O semivariograma do tipo exponencial foi o que melhor se ajustou a variância experimental para as três variáveis estudadas. Quanto ao alcance da dependência espacial, este variou entre 31,5 e 79,8 m, sendo superior para o DMG.

A correlação espacial existente entre os atributos pode ser comprovada pela modelagem dos semivariogramas cruzados. Ao estimar o DMP e o DMG em função da MO, o alcance da dependência espacial foi maior, atingindo 110,0 m para DMG, mostrando a possibilidade de utilização da MO como variável auxiliar para a estimativa do estado de agregação do solo, possibilitando redução nos custos de amostragem e melhor confiabilidade nos resultados.

Todos os ajustes apresentaram bons resultados na validação cruzada, sendo que os valores de b variaram de 0,651 a 0,921 e os valores de r aumentaram na cokrigagem, chegando a 0,44.

A validação cruzada mostrou que os semivariogramas ajustados podem ser usados para prever o valor das variáveis em locais não amostrados, o que permitiu a geração dos mapas apresentados na **Figura 1**.

Na comparação entre os mapas, observa-se que a MO apresentou valores mais elevados na parte inferior, com menores valores na região central da parte superior e que os maiores índices de agregação também foram observados na parte inferior, embora os menores tenham ficado concentrados na lateral direita.

CONCLUSÕES

Todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial, com alcances variando entre 31,5 e 79,8 m.

A matéria orgânica do solo apresentou-se positivamente correlacionada com os índices de agregação adotados, tanto linear quanto espacialmente.

REFERÊNCIAS

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.99-105, 1990.

CORRÊA, J. C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.203-209, 2002.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press, 561p., 1989.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods, **Soil Science Society of America**, p.425–442, 1986.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L.; GIACOMO, S.; PERIN, A. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.658-767, 2011.

PIERCE, F. J.; NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, v.67, p.1-85, 1999.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2012.

RAIJ, B. et al. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 285p., 2001.

ROBERTSON, G. GS+: Geostatistics for the environmental sciences: user's guide. Michigan: Plainwell, 2004.

ROTH, C. H.; FILHO, C. de C.; MEDEIROS, G. B. de. Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um Latossolo Roxo Distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.241-248, 1991.

SILVA, C.L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.213-220, 1997.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Agronomy Journal**, v.28, n.5, p.337–351, 1936.

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

Tabela 3 – Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos avaliados em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária. Fazenda Dona Isabina, Santa Carmem-MT, 2012.

Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	Co	Co+C	Ao (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
DMP	exp(51)	0,074	0,142	35,7	0,52	4,33E-04	47,9	ME	0,34	0,921	0,23
DMG	exp(52)	0,136	0,274	79,8	0,81	1,67E-03	50,2	ME	0,61	0,814	0,31
MO	exp(51)	3,250	19,230	31,5	0,33	3,00E+01	83,1	AL	5,56	0,831	0,22
DMP=f(MO)	gau(50)	0,027	0,426	95,0	0,92	1,69E-02	93,7	AL	1,53	0,659	0,44
DMG=f(MO)	gau(50)	0,104	0,654	110,0	0,93	2,70E-02	84,1	AL	1,16	0,651	0,43

^(a)DMP, DMG e MO, são, respectivamente, o diâmetro médio ponderado, o diâmetro médio geométrico e a matéria orgânica do solo; ^(b)exp: exponencial, gau: gaussiano; parênteses sucedendo o modelo: número de pares do primeiro lag; Co: efeito pepita, Co+C: patamar, Ao: Alcance; ^(c)SQR: soma dos quadrados dos resíduos; ^(d)ADE: avaliador de dependência espacial, sendo AL: alta dependência e ME: moderada dependência.

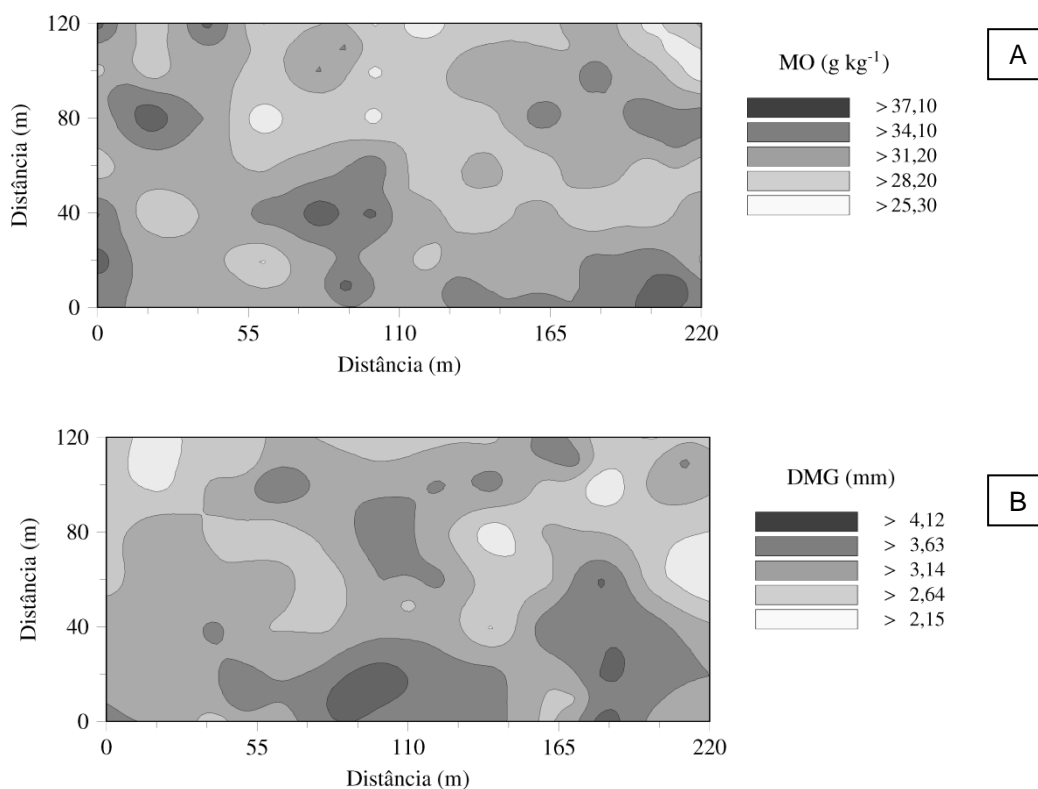


Figura 1 – Mapas de krigagem para (A) a matéria orgânica do solo e (B) o diâmetro médio geométrico dos agregados avaliados no cultivo de arroz de terras altas em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob integração lavoura-pecuária. Santa Carmem-MT, 2012.