



## Produtividade da soja correlacionadas geoestatisticamente com a estabilidade de agregados de um Latossolo do Cerrado<sup>(1)</sup>.

**Lenon Henrique Lovera<sup>(2)</sup>; Jean Sérgio Rosset<sup>(3)</sup>; Elizeu de Souza Lima<sup>(2)</sup>; Rafael Montanari<sup>(4)</sup>;**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos da Fundunesp - Fundação para o Desenvolvimento da UNESP

<sup>(2)</sup> Estudantes de Pós-Graduação em “Sistemas de Produção”, Universidade Estadual Paulista, UNESP/FEIS, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Rua Monção, 226, CEP: 15385-000, Ilha Solteira (SP). E-mail: lenon\_lovera@hotmail.com; elizeu.florestal@gmail.com.

<sup>(3)</sup> Professor Doutor do Instituto Federal do Paraná, Campus De Assis Chateaubriand, PR Avenida Cívica: 475, CEP 85935-000, Assis Chateaubriand-PR, Brasil. E-mail: jsrosset@hotmail.com

<sup>(4)</sup> Professor Assistente Doutor, Universidade Estadual Paulista, UNESP/FEIS, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, DEFERS, Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Rua Monção, 226, CEP: 15385-000, Ilha Solteira (SP). E-mail: montanari@agr.feis.unesp.br

**RESUMO:** A estabilidade dos agregados é um dos fatores condicionantes da erodibilidade dos solos, variando conforme a textura do solo, capacidade de infiltração, conteúdo químico e orgânico. O objetivo deste trabalho foi avaliar a dependência linear e espacial da produtividade da soja e a estabilidade de agregados visando implementar aspectos de manejo e conservação. O experimento foi realizado na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), no ano agrícola 2013/14 localizado no município de Selvíria, MS (latitude 20°18'05”S e longitude 52°39'02”W), em cultivo de soja. Onde foram coletados a produtividade de grãos da soja e alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico, em uma malha de 100 pontos amostrais. Os valores dos alcances geoestatísticos dos atributos estudados ficaram entre 28,3 m (PG) a 43,02 m (DMP), portanto, os valores dos alcances a serem utilizados nos pacotes geoestatísticos não deverão ser menores do que 28,3 m. Valores de DMG (0,582) e DMP (1,423) significa baixa estabilidade e elevada susceptibilidade aos processos erosivos.

**Termos de indexação:** estruturação do solo, qualidade do solo e agricultura de precisão.

### INTRODUÇÃO

A agricultura atualmente tem como objetivo o desenvolvimento sustentável, sem degradar o ambiente, porém com um aumento de produtividade, fato ocorre que uma exploração sustentável requer manutenção e melhoria na estruturação e agregação do solo (STONE & SILVEIRA, 1999)

Para a formação dos agregados, é imprescindível que os colóides do solo se encontrem floculados e sejam estabilizados posteriormente por algum agente cimentante, conferindo resistência as forças desagregadoras que atuam sobre eles. A agregação do solo pode sofrer alterações temporárias ou permanentes em função das práticas

de manejo (WOHLENBERG et al., 2004, TERASSI et al., 2014).

Os agregados que são mais pesados e maiores, garantem maior estruturação, maior porosidade, maior condutividade hidráulica e maior resistência à compressão, características de inúmeras vantagens para a sustentabilidade do sistema de produção agrícola (RIBON et al., 2014).

O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo torna-se importante para definir as práticas agronômicas a serem adotadas (SANA et al., 2014), com isso, a geoestatística, tem papel importante na geração de mapas de variabilidade espacial da produtividade das culturas e dos atributos do solo, utilizando uma amostragem criteriosa e programada (COELHO et al., 1999). Isso permite fazer um acompanhamento sobre aspectos ligados a qualidade do solo e seus impactos no rendimento das culturas. Com isto, pode-se gerar um diagnóstico de problemas específicos dentro de uma lavoura, estabelecendo zonas específicas de manejo visando à conservação do solo, condições necessárias à agricultura de precisão (MENEGATTI & MOLIN, 2004).

Neste sentido, o presente trabalho objetivou avaliar a dependência linear e espacial da produtividade da soja e a estabilidade de agregados visando implementar aspectos de manejo e conservação, com vistas a proporcionar zonas específicas de manejo.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Fazenda de Ensino e Pesquisa – Setor de Produção Vegetal, da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP), no ano agrícola 2013/14 localizada no município de Selvíria (MS), na latitude 20°22’S e na longitude 51°22’W. Sua precipitação média anual é de 1300 mm, enquanto que a temperatura média é de 23,7 °C. O tipo climático é Aw, segundo Koeppen, caracterizado como tropical úmido com estação chuvosa no verão

e seca no inverno. O solo no qual a malha experimental foi instalada é um Latossolo Vermelho Distroférico. A planta-teste pesquisada foi à soja (*Glycine max* - L. Merrill), cultivar Valiosa, com espaçamento entre linhas de 0,45 m, com uma densidade final de 16 plantas por metro na linha de semeadura.

A malha experimental foi constituída de 10 linhas e 10 colunas, de formato quadrado irregular contendo 100 pontos amostrais, totalizando uma área de 7500 m<sup>2</sup>. Os atributos pesquisados do solo e da planta foram: a) Produtividade da soja (PG) (kg ha<sup>-1</sup>), b) Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e c) Diâmetro Médio ponderado (DMP), coletadas em janeiro de 2014 na profundidade 0-0,10 m. Coletaram-se todas as plantas originadas do entorno do ponto amostral estaqueado. A área representativa dessa coleta foi de 3,24 m<sup>2</sup>. Para análise da estabilidade de agregados, usou a metodologia da EMBRAPA (1997).

Para cada atributo estudado foi efetuada a análise descritiva auxiliada pela estatística clássica utilizando o programa SAS (SCHLOTZHAVER; LITTEL, 1997). Para análise geoestatística foi analisada a dependência espacial pelo cálculo do semivariograma, com bases nos pressupostos de estacionariedade da hipótese intrínseca, usando o pacote *Gama Design Software* (GS+, 2004).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva para a produtividade da soja e a estabilidade de agregados para solo estão apresentados na Tabela 1. A produtividade de grãos (PG) apresentou muito alta variabilidade, com coeficiente de variação de 39 % (Tabela 1). Para a estabilidade de agregados, tanto o DMG e o DMP apresentaram alta variabilidade, com coeficiente de 22,14% e 24,64% respectivamente (Tabela 1). Esses dados discordam daqueles encontrados por Aquino et al. (2014), onde encontraram média variabilidade para a DMG (13%) e baixa variabilidade para a DMP (7%).

Tendo por base os estudos geoestatísticos que analisaram as correlações, a produtividade média obtida foi de 1214,8 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 1). Já para DMG (0,582 mm) e DMP (1,243 mm), diferi daqueles encontrados por Souza Neto et al. (2008), o qual encontraram DMG e DMP de 2,70 e 3,82 mm respectivamente. Assim, o presente estudo teve os valores considerados muito baixos em relação ao seguinte autor.

Quando uma variável estatística qualquer possuir distribuição de frequência do tipo normal, a medida de tendência central mais adequada para representá-la deve ser a média. Em contrapartida, será pela mediana caso possua distribuição de frequência do tipo lognormal (DALCHIAVON et al., 2011). Verificou-se normalidade para a PG, assim, para o DMG não apresentou normalidade e o DMP

tendendo a normal (Tabela 1). Assim, Souza et al. (2009), não encontraram normalidade para DMG e DMP, concordando apenas com a DMG do presente estudo. A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, porém é importante que a distribuição não apresente caudas muito alongadas, o que poderia comprometer as estimativas da krigagem, as quais são baseadas nos valores médios (AQUINO et al., 2014).

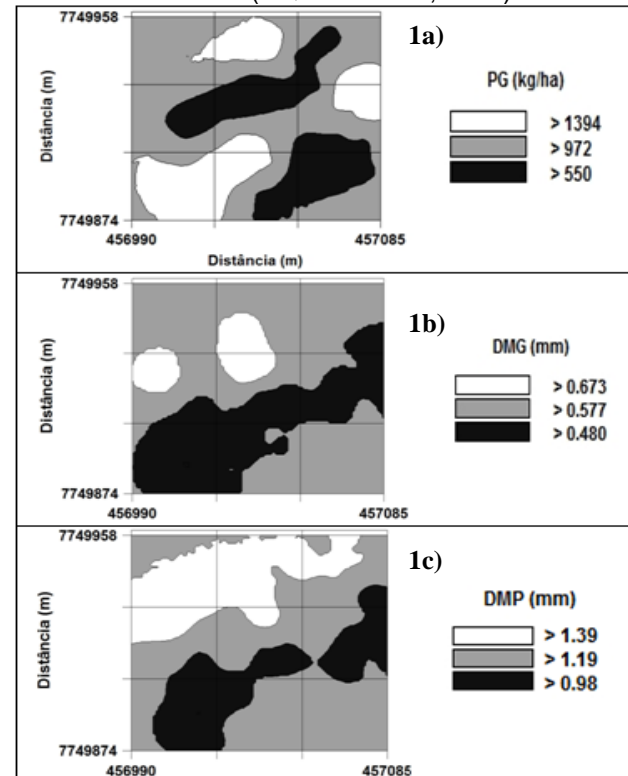


Figura 1 - Mapas de krigagem da produtividade da soja (PG) e da estabilidade de agregados (DMG e DMP).

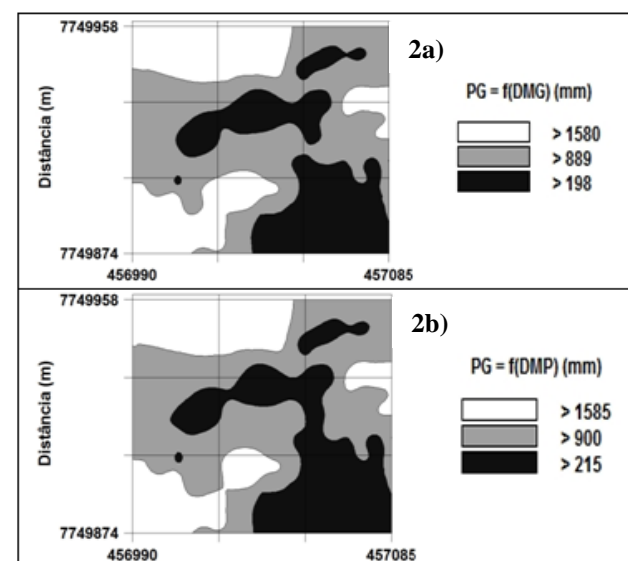


Figura 2 - Mapas de co-krigagem da PG em função da estabilidade de agregados.



Na Tabela 2 estão apresentados os resultados geostatísticos da produtividade da soja e da estabilidade de agregados. Assim, todos os atributos pesquisados exibiram dependência espacial a qual é expressa por meio dos ajustes aos modelos de semivariogramas. Fato o qual a variabilidade pode ser explicado, considerando a distância de amostragem utilizada, no qual a aplicação da geoestatística foi eficaz. Caso não tenha encontrado variabilidade, recomenda-se um ajuste na malha ou mais apropriado o uso da estatística clássica (Souza et al., 2009).

Os ajustes aos modelos matemáticos dos semivariogramas foi esférico para a produtividade da soja e também para a  $PG=f(DMG)$  e  $PG=f(DMP)$  e exponencial para a estabilidade de agregados (Tabela 2). Na análise do grau de dependência espacial das variáveis, os valores da PD, DMG e DMP apresentaram média dependência espacial e o  $PG=f(DMG)$  e  $PG=f(DMP)$  teve muito alta dependência espacial no solo.

O alcance define a máxima distância até onde o valor de uma variável possui relação de dependência espacial com seus vizinhos, parâmetro importante uma vez que indica a zona de influência de uma amostra. Assim, os valores de alcance variaram de 28,3 m (PG) a 43,02 m (DMP) (Tabela 2), indicando que as amostras estão espacialmente relacionadas pois o alcance foi acima do utilizado na malha e assim, apresentam uma maior continuidade na distribuição espacial.

Na Figura 1 e 2 estão apresentados os mapas de krigagem e co-krigagem da PG e estabilidade de agregados do solo. Assim, na figura 1a), observou-se que a produtividade foi baixa em grande parte da área, porém, ocorreu manchas com elevada produtividade, que alcançou 1394 kg/ha. Na figura 1b), 1c), 2a) e 2b) estão os mapas da DMG, DMP,  $PG=f(DMG)$  e  $PG=f(DMP)$ , no qual foram semelhantes, onde na região central e sudeste foram os que apresentaram menores valores para PG em função da DMG e DMP e na região central e sudoeste os menores valores para DMG e DMP.

### CONCLUSÕES

A produtividade média de grãos de soja não atingiu seus maiores valores. Isso porque a estabilidade de agregados presente no solo sob o sistema plantio direto provavelmente desencadeou redução nessa produtividade, devido seus valores ser relativamente baixo quando comparados com a literatura.

A análise da variabilidade espacial e a confecção de mapas mostram-se como umas ferramentas importantes de elevado potencial para investigação de áreas que apresentem baixo rendimento agrícola.

### AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos Primeiros Projetos-FUNDUNESP processo número: 0235/001/14-PROPe/CDC pelo apoio financeiro e os parceiros de trabalho pela ajuda na realização do projeto.

### REFERÊNCIAS

- AQUINO et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de manicoré, AM. *Bioscience Journal*, v.30, p.988-997, 2014.
- COELHO, A.M.; DORAN, J.W.; SCHEPERS, J.S. Irrigated corn yield as related to spatial variability of selected soil properties. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4, 1998, St. Paul. *Proceedings: American Society of Agronomy*, p. 441-452, 1999.
- DALCHIAVON et al. Variabilidade espacial da produtividade do feijoeiro correlacionada com atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistema de semeadura direta. *Bragantia*, v.70, p.908-916, 2011.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de método de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GS+: Geostatistics for environmental sciences. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Desing Software, 2004. 159p.
- MENEGATTI, L.A.A.; MOLIN, J.P. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.126-134, 2004.
- RIBON et al. Changes in the aggregate stability of latosol and podzolic according to the management between the rows of rubber trees (Hevea brasiliensis). *Rev. Árvore*, Viçosa, v.38, p.1065-1071, 2014.
- SANA et al. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo e seus efeitos na produtividade do algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.994-1002, 2014.
- SCHLOTZHAVER, S.D.; LITTELL, R.C. SAS system for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441p.
- SOUSA NETO et al. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. *Pesq. Agropecuária Brasileira*, p.43, p.255-260, 2008.
- SOUZA, Z. M. et al. Spatial variability of aggregate stability in latosols under sugarcane. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v.33, p.245-253, 2009.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.83-91, 1999.
- TERASSI, P. M. B., SILVEIRA, S.; BONIFÁCIO, C. M. Variação da estabilidade de agregados e as suas relações com a vulnerabilidade dos solos ao longo de uma vertente na região noroeste do Paraná. *Boletim de Geografia*, v.32, p.166-176, 2014.
- WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.891-900, 2004.

Tabela 1. Análise descritiva inicial da produtividade da soja e da estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distroférrico.

Atributos <sup>(a)</sup>	Medidas estatísticas descritivas									
	Média	Mediana	Valor		Desvio Padrão	Variação (%)	Coeficientes		Probabilidade do teste <sup>(b)</sup>	
			Mínimo	Máximo			Curtose	Assimetria	Pr<w	DF
<b>Atributos da Planta</b>										
PG (kg ha <sup>-1</sup> )	1214,8	1250,0	169,8	2361,1	473,7	39,0	-0,281	-0,160	0,268	NO
<b>Estabilidade de Agregados</b>										
DMG (mm)	0,582	0,563	0,328	0,964	0,128	22,14	0,731	0,732	0,0061	IN
DMP (mm)	1,243	1,188	0,689	2,137	0,306	24,64	0,148	0,608	0,0235	TN

<sup>(a)</sup>PG=produtividade de grãos de soja; DMG e DMP são respectivamente o diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado, coletados nas camadas do solo; <sup>(b)</sup>DF=distribuição de frequência, sendo NO, TN e IN respectivamente do tipo normal, tendendo a normal e indeterminada.

Tabela 2: Parâmetros dos semivariogramas simples e cruzados de alguns atributos da produtividade da soja e da estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho distroférrico.

Atributos <sup>(a)</sup>	Parâmetros										
	Modelo <sup>(b)</sup>	Efeito pepita (C <sub>0</sub> )	Patamar (C <sub>0</sub> + C)	Alcance (A <sub>0</sub> ) (m)	r <sup>2</sup>	SQR <sup>(c)</sup>	ADE <sup>(d)</sup>		Validação cruzada		
							%	Classe	a	b	r
<b><math>\gamma(h)</math> simples dos atributos da planta</b>											
PG	esf. (233)	9,890x10 <sup>1</sup>	2,330x10 <sup>2</sup>	28,3	0,829	1,240x10 <sup>9</sup>	57,6	ME	19,97	0,991	0,556
<b><math>\gamma(h)</math> simples da estabilidade de agregados</b>											
DMG	exp. (57)	7,780x10 <sup>-3</sup>	1,636x10 <sup>-2</sup>	38,4	0,520	3,290x10 <sup>-5</sup>	52,4	ME	0,17	0,709	0,300
DMP	exp. (58)	4,130x10 <sup>-2</sup>	8,270x10 <sup>-2</sup>	43,2	0,649	4,572x10 <sup>-3</sup>	50,1	ME	0,48	0,612	0,257
<b><math>\gamma(h)</math> cruzado planta x estabilidade de agregados</b>											
PG=f(DMG)	esf. (104)	-1,800	-2,772x10	29,2	0,843	6,550x10	93,5	MA	335,03	0,729	0,555
PG=f(DMP)	esf. (105)	-3,8	-4,488x10	33,3	0,942	6,530x10	91,5	MA	343,65	0,720	0,543

<sup>(a)</sup> PG = produtividade de grãos, DMG e DMP são respectivamente o diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado; <sup>(b)</sup> Modelo - exp = exponencial, exp = exponencial; <sup>(c)</sup> SQR = soma dos quadrados dos resíduos; <sup>(d)</sup> ADE = avaliador da dependência espacial.