

# VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO E TEOR DE ÁGUA EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, NA CULTURA DA SOJA

## *SPATIAL VARIABILITY OF SOIL RESISTANCE TO THE PENETRATION AND CONTENT OF WATER IN DIRECT PLANTING SYSTEM OF THE SOY*

**Indiamara MARASCA<sup>1</sup>; Carlos Alberto Alves de OLIVEIRA<sup>2</sup>;  
Ednaldo Carvalho GUIMARÃES<sup>3</sup>; João Paulo Arantes Rodrigues da CUNHA<sup>3</sup>;  
Renato Lara de ASSIS<sup>5</sup>; Adriano PERIN<sup>4</sup>; Luiz Antônio Silva MENEZES<sup>5</sup>**

1. Tecnóloga em Produção de Grãos, Doutoranda em Energia na Agricultura, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu, SP, Brasil, bolsista PIBIC / CNPq, [marasca@fca.unesp.br](mailto:marasca@fca.unesp.br); 2. Professor, Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Uberlândia-MG, [carlosoliveira@iftm.edu.br](mailto:carlosoliveira@iftm.edu.br); 3. Professor Doutor, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil; 4. Professor Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, GO, Brasil; 5. Professor Doutor, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Iporá, GO, Brasil.

**RESUMO:** Um fator prejudicial e limitante à produtividade das culturas é a compactação do solo, parâmetro que pode ser quantificado pela resistência do solo à penetração e altamente influenciado pelo teor de água. Estas variáveis apresentam variabilidade espacial e temporal, características que podem ser determinadas pela técnica de geoestatística. Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo estudar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração (RP) e do teor de água no solo (U) na cultura da soja. Os valores de RP nas profundidades de 0,00-0,10; 0,11-0,20 e 0,21-0,30 m variaram de 2,9 a 4,28 MPa e são considerados prejudiciais ao desenvolvimento radicular de leguminosas, embora não tenham influenciado a produtividade da soja que foi de 3887 kg ha<sup>-1</sup>. O teor médio de água do solo ficou entre 0,210 e 0,213 kg kg<sup>-1</sup> para as três profundidades estudadas. A resistência do solo à penetração, expressa por meio dos semivariogramas, apresentou dependência espacial em todas as profundidades, ajustando-se ao modelo esférico na profundidade de 0,00-0,10 m e exponencial nas profundidades de 0,11-0,20 e 0,21-0,30 m. A variabilidade espacial para todas as camadas estudadas apresentaram um alcance em torno de 20 m. O teor de água no solo não apresentou dependência espacial para as profundidades, apresentando distribuição aleatória.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura de precisão. Geoestatística. Compactação do solo.

## INTRODUÇÃO

A compactação é uma alteração estrutural que promove reorganização das partículas e de seus agregados podendo limitar a adsorção, as trocas gasosas, absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, atraso na emergência das plântulas e comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea, resultando em decréscimos na produtividade das culturas (STONE et al., 2002; MODOLO et al., 2008).

O atributo físico adotado como indicativo da compactação tem sido a resistência do solo à penetração (RP), por apresentar relações diretas com o desenvolvimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (Silva et al., 2003). A RP é influenciada pelo teor de água, textura e pela condição estrutural do solo, fatores que estabelecem valores críticos do crescimento radicular e desenvolvimento das plantas (BEUTLER, CENTURION, 2004; BEUTLER et al., 2007).

Segundo Canarache (1990), Torres e Saraiva (1999), Souza et al. (2006), os valores de

RP considerados críticos ao crescimento radicular das plantas variam de 1,5 a 3,0 MPa. Estes valores corroboram aos obtidos por Sene et al. (1985) de 2,5 MPa para solos argilosos, no entanto, os valores críticos da correlação da resistência com o desenvolvimento das raízes para solos de textura arenosa esteve entre 6,0 a 7,0 MPa.

A produtividade das culturas numa área é caracterizada por regiões altamente produtivas e outras com baixa produtividade (MOLIN, 2002), condição que pode ser correlacionada com a variabilidade espacial dos atributos do solo. O estudo da correlação da variabilidade do solo versus produtividade serve como ferramenta extremamente útil na tomada de decisões das práticas de manejo, medidas que potencializam uma exploração mais sustentável e produtividades maiores e mais homogêneas (SILVA et al., 2004; FREDDI et al., 2006).

A variabilidade espacial dos atributos do solo pode ser estudada pela Geoestatística, que trata de um conjunto de técnicas aplicadas a variáveis regionalizadas, que definem a estrutura de dependência espacial de cada variável (VIEIRA, et

al., 1983; VIEIRA, 2000; ZANÃO JÚNIOR et al., 2007; MARINS et al., 2008). Este conceito, além de considerar o valor de cada ponto amostral, também associa a posição geográfica em que se encontra, possibilitando que amostras próximas tenham valores mais semelhantes e sejam mais correlacionadas do que amostras mais distantes do ponto de referência (SILVA et al., 2003).

O presente estudo teve como objetivo verificar o comportamento espacial da resistência do solo à penetração e teor médio da água no solo em sistema de plantio direto na cultura da soja.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Vargem Grande localizada no município de Montividiu – GO entre as coordenadas geográficas de 17°36'41" de latitude Sul e 51°48'06" de longitude Oeste; com altitude média de 970 m e índice pluviométrico anual de 1600 mm. O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (EMBRAPA, 1999), com a distribuição granulométrica com 523, 227 e 250 g kg<sup>-1</sup> de argila, silte e areia, respectivamente e apresentado declividade média de 1%. A área experimental vem sendo cultivada há 13 anos em sistema plantio direto e foi dividida numa malha com 48 pontos, sendo que cada parcela apresentava dimensões de 10×10 m.

No ponto central de cada parcela foi amostrado o teor de água no solo (U) e a resistência do solo à penetração (RP) até a profundidade de 0,30m, estratificada nas camadas de 0,00-0,10; 0,11-0,20 e 0,21-0,30m.

A determinação da RP foi realizada por meio de um penetrômetro de impacto modelo IAA/ Planalsucar-Stolf (Stolf et al., 1983). Os dados obtidos com o penetrômetro foram transformados em RP pelo uso da fórmula proposta por Stolf (1991):

$$RP = \left[ \frac{Mg + mg + \left( \frac{M}{M+m} \times \frac{Mg \times h}{x} \right)}{A} \right] \times 0,098$$

em que,

RP - é a resistência do solo à penetração, MPa;

M - é a massa do êmbolo, 4 kg (Mg - 4 kgf);

g = aceleração da gravidade

m - é a massa do aparelho sem êmbolo, 3,2 kg (mg - 3,2 kgf);

h - é a altura de queda do êmbolo, 40 cm;

x - a penetração da haste do aparelho, cm/impacto;  
A = área da base do cone (cm<sup>2</sup>).

O teor de água no solo (U) foi obtido pelo método gravimétrico, em amostras deformadas (EMBRAPA, 1997). As amostragens de U e RP foram obtidas simultaneamente na fase de campo.

As determinações da RP e U foram realizadas na última semana de outubro e primeira de novembro de 2006. A soja, variedade M-Soy 6101, foi semeada 15 dias antes das determinações. O rendimento de grãos de cada parcela foi avaliado pela média de quatro subamostras de quatro fileiras com 2 m de comprimento, no ponto central de cada parcela da malha experimental. Os resultados de produtividade dos grãos de soja das 48 observações foram obtidos pelo método de pesagem, corrigidos para 13% de teor de água e posteriormente em kg ha<sup>-1</sup>.

A RP e U foram analisados através da estatística descritiva e de técnicas de geoestatística. A dependência espacial dos atributos estudados foi avaliada pelo cálculo da semivariância e do ajuste dos dados ao semivariograma experimental (VIEIRA et al., 1983; GREGO e VIEIRA, 2005). Os semivariogramas são representações gráficas entre a semivariância  $\gamma(h)$  representada na coordenada y, em função de uma determinada distância h, representada na coordenada x. A semivariância pode ser estimada pela equação:

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

em que,

N (h) representa o número de pares de valores medidos, Z(xi) e Z(xi + h), separados por um vetor (h). O gráfico de  $\gamma(h)$  versus os valores correspondentes de h é denominado semivariograma.

Os semivariogramas foram ajustados pelo programa GS+ Versão 7 (Gamma Design Software, 2004). A seleção dos modelos foi realizada com base no melhor coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e na menor soma de quadrados do resíduo, sendo testados os modelos esférico, exponencial, gaussiano, linear, linear sem patamar e efeito pepita puro (SOUZA et al., 2006; ZANÃO JÚNIOR et al., 2007). Nos semivariogramas ajustados foram definidos os seguintes parâmetros: efeito pepita (C0); patamar (C0 + C1) e alcance da dependência espacial (a). A razão entre o efeito pepita e o patamar C0/(C0+C1) permite a classificação do grau de dependência, e por conseqüência, permite inferir comparativamente sobre a dependência entre os atributos do solo. Para analisar o grau da

dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), que considera dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita menor ou igual a 0,25 do patamar; moderada quando está entre 0,25 e 0,75 e fraca quando for maior que 0,75.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de RP nas profundidades de 0,00-0,10; 0,11-0,20 e 0,21-0,30 m foram de 2,9; 3,96 e 4,28 MPa; respectivamente (Tabela 1). Estes valores estão de acordo aos obtidos por SECCO (2003), para a mesma classe de solos em exploração de culturas anuais e no sistema de plantio direto. Este comportamento da RP variando de 2,9 a 4,28 MPa pode ser explicado pelo tráfego excessivo de máquinas ao longo de 13 anos de exploração da área com o sistema de plantio direto. Apesar destes valores da RP, segundo dados mencionados na literatura, causarem impedimento ao desenvolvimento radicular das plantas, esta variável não apresentou influência negativa na produtividade da soja, cujo valor médio obtido foi de 3887 kg ha<sup>-1</sup>. Este comportamento corroboram aos resultados obtidos por SECCO et al. (2004), em estudo com diversas cultivares de soja em área com 7 anos de exploração com plantio direto e condições de solo

compactado. A elevada produtividade da soja na presença de camadas compactadas também foi obtida por Cardoso et al. (2006), que verificaram pouca influência da compactação até certo limite na produtividade do grão, quando não existe restrição hídrica na região.

Os valores de RP e U para média e mediana para todas as profundidades apresentaram um leve afastamento entre si, o que também refletiu nos valores de assimetria e de curtose distanciados do valor de referência zero, indicando que a distribuição apresenta-se com leve afastamento da normal, representando baixa simetria da distribuição dos dados (Tabela 1). Este fato ocorreu em virtude das coletas dos dados de RP e U terem sido realizadas num intervalo de uma semana, período em que ocorreu precipitação, dando origem a uma distribuição com tendência a dois valores modais, no entanto, esta característica foi corrigida na elaboração dos semivariogramas

Os coeficientes de variação da RP para as camadas de profundidades foram relativamente elevados, e de U foram baixos (Tabela 1). Estes comportamentos de RP estão de acordo com os resultados obtidos por Souza et al. (2001) e Souza et al (2006). Os coeficientes de variação de U foram semelhantes aos obtidos por Utset e Cid (2001) e Grego e Vieira (2005).

**Tabela 1.** Estatística descritiva dos parâmetros resistência do solo a penetração (RP) e teor de água no solo (U) as profundidades de 0-0,10; 0,11-0,20 e 0,21-0,30m.

Estatística	RP (MPa)			U (kg kg <sup>-1</sup> )		
	Profundidade (m)					
	0,00-0,10	0,11-0,20	0,21-0,30	0-0,10	0,11-0,20	0,21-0,30
Média	2,90	3,96	4,28	0,210	0,213	0,208
Erro padrão	0,25	0,31	0,28	0,0055	0,0035	0,0031
Mediana	2,16	3,29	3,81	0,218	0,216	0,216
Desvio padrão	1,70	2,14	1,91	0,0383	0,0244	0,0212
C V	58,48	54,01	44,51	18,26	11,42	10,20
Curtose	0,47	-1,02	-1,46	-1,68	-1,80	-0,28
Assimetria	1,09	0,55	0,33	-0,06	-0,05	-0,45
Mínimo	1,10	1,58	2,03	0,1370	0,1790	0,1460
Máximo	7,78	9,06	8,27	0,2720	0,2540	0,2420
Nº de observações	48					

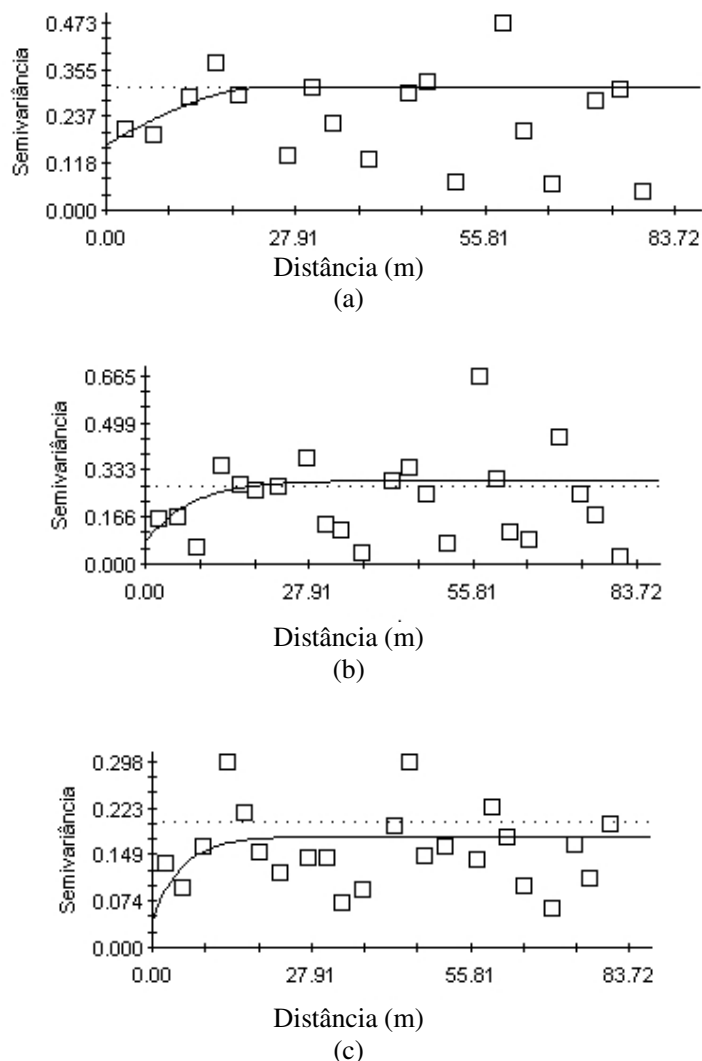
A avaliação da RP expressa por meio dos semivariogramas apresentou dependência espacial em todas as profundidades estudadas. Com ajuste ao modelo esférico na profundidade de 0-0,10 m e exponencial nas profundidades de 0,11-0,20 m e 0,21-0,30 m (Figura 1). A RP apresentou dependência espacial moderada (0,53 e 0,254) nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,11-0,20 m, respectivamente, e forte (0,234) na profundidade de

0,21-0,30 m. Os modelos esférico e exponencial ajustados concordam com os resultados de várias pesquisas que indicam estes modelos como os de maior ocorrência para atributos do solo (SALVIANO et al., 1998; SOUZA et al., 2001).

Os valores do alcance para RP ficaram em torno de 20 m para as três profundidades estudadas (Figura 1). Isto indica que o limite da distância que os pontos estão correlacionados entre si, sendo que

pontos coletados com distâncias maiores que o alcance são independentes, e sua análise é feita pela

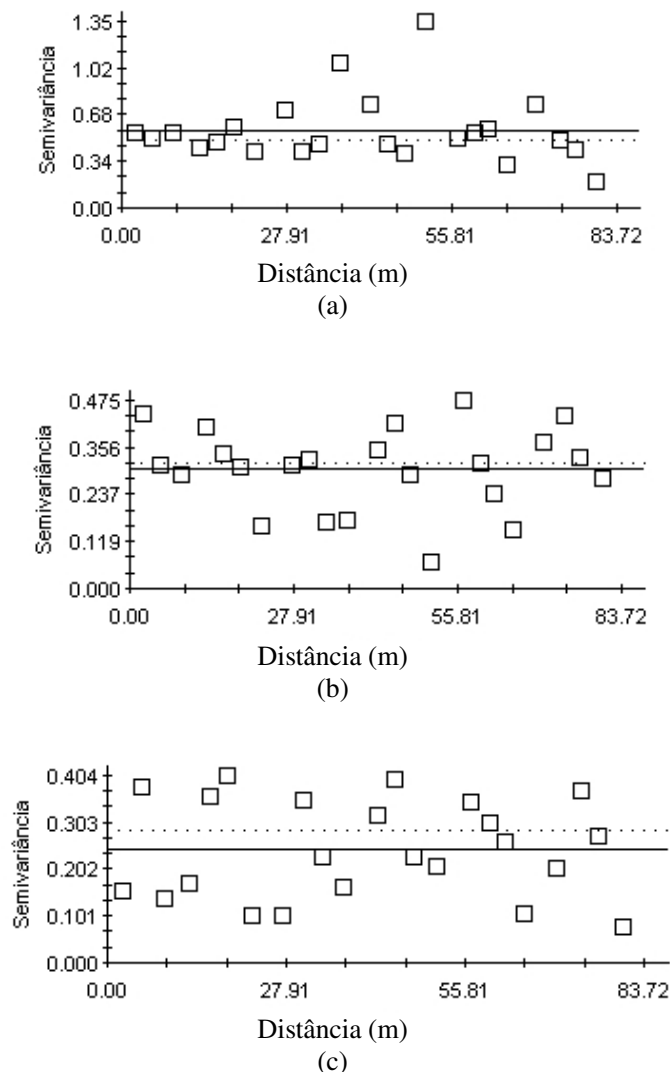
estatística clássica (Vieira et al., 1983; Vieira, 2000).



**Figura 1.** Semivariograma da resistência do solo a penetração (RP): (a) profundidade de 0,00-0,10 m – modelo esférico; (b) profundidade de 0,11-0,20 m – modelo exponencial; (c) profundidade de 0,21-0,30 m – modelo exponencial.

A U não apresentou dependência espacial com as profundidades estudadas, mostrando distribuição aleatória, ou seja, efeito pepita puro que expressa à variabilidade não explicada pelas distâncias amostrais utilizadas (Figura 2). Assim, o esquema amostral de 10 m entre os pontos não foi suficiente para demonstrar a variabilidade espacial do teor de água no solo. Isto talvez seja explicado pelo teor elevado de água em decorrência da precipitação durante o período de coleta, condição que influenciou a avaliação deste parâmetro. A análise geoestatística utilizando os semivariogramas evidenciou que a RP apresentou

dependência espacial nas profundidades estudadas, independentemente do efeito da precipitação ocorrido no período. Estes resultados corroboram aos obtidos por Souza et al. (2006) em estudo da variabilidade espacial da resistência do solo a penetração à 72 horas após a ocorrência de uma chuva. Porém, na análise dos semivariogramas para a variável U não se verificou dependência espacial apresentando distribuição aleatória dentro da malha estabelecida, resultados que poderiam ser modificados com a definição de pontos da malha mais adensados.



**Figura 2.** Semivariograma do teor de água no solo (U): (a) 0,00-0,10 m, (b) 0,11-0,20 m e (c) 0,21-0,30 m – efeito pepita puro para todas as profundidades.

## CONCLUSÕES

A resistência do solo à penetração apresentou variabilidade espacial para todas as camadas estudadas, com alcance em torno de 20 m.

O teor de água no solo não apresentou dependência espacial necessitando de uma malha amostral mais adensada.

A resistência do solo à penetração apesar de ter apresentado valores considerados restritivos ao

desenvolvimento radicular, não foi verificada influência negativa na produtividade da soja

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PIBIC/CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica ao primeiro autor, condição que possibilitou a execução deste trabalho.

---

**ABSTRACT:** A harmful and limiting factor regarding culture productivity is soil compaction, a parameter that can be quantified by the resistance of the soil to penetration and highly influenced by water content. These variables present spatial and temporary variability, characteristics which can be determined by the geostatistical technique. In the light of the above, the present work had as its objective the study of spatial variability of soil resistance to penetration (RP) and water content in the soil (U) in soy culture. The RP values at depths of 0,00-0,10; 0,11-0,20 and 0,21-0,30 m varied from 2,9 to 4,28 MPa and are considered harmful to the root development of legumes, although they have not influenced

soy productivity which was 3887 kg ha<sup>-1</sup>. The medium water content of the soil was between 0,210 and 0,213 kg kg<sup>-1</sup> for the three depths studied. The resistance of the soil to penetration, expressed through semivariograms, presented spatial dependence at all depths, being adjusted to the spherical model at depths of 0,00-0,10m and exponential at depths of 0,11-0,20 and 0,21-0,30 m. The spatial variability for all studied layers presented a range of about 20m. The water content in the soil did not present spatial dependence for the depths, presenting randomized distribution.

**KEYWORDS:** Precision agriculture. Geostatistics. Soil compacting.

---

## REFERÊNCIAS

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-588, 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; LEONEL, C. L.; SÃO JOÃO, A. C. G.; FREDDI, O. S. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um latossolo vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1223-1232, 2007.

CAMBARDELLA, C. A.; MOOMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEM, D. L.; TURVO, R. F.; KONOPA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CANARACHE, A. P. A generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 16, p. 51-70, 1990.

CARDOSO, E. G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J. L.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 493-501, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412p.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESE JUNIOR, V.; CARVALHO, G. J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-121, 2006.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS : Geostatistics for the Environmental Sciences**, 2004.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 169-177, 2005.

MARINS, A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; JOHANN, J. A. Estimadores New1 e New2 no estudo de dependência espacial da produtividade da soja e atributos físicos do solo de uma área comercial. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 1, p. 133-143, 2008.

MODOLO, A. J.; FERNANDES, H. C.; SCHAEFER, G. C. E.; SILVEIRA, J. C. M. Efeito da compactação do solo sobre a emergência de plântulas de soja em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1259-1265, 2008.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S. R.; SPAROVEK, G. Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* (L) em área severamente erodida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 115-122, 1998.

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J. M.; ROS, C. O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5 p. 797-804, 2004.

SENE, M.; VEPRASKAS, M. J.; NADERMAN, G. C.; DENTON, H. P. Relationships of soil texture and structure to corn yield response to subsoiling. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 422-27, 1985.

SILVA, V. R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399-406, 2004.

SILVA, E. A. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V.; SOUZA, E. G. Um Estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta. **Acta Scientiarum**, Maringa, v. 25, n. 2, p. 365-371, 2003.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Sevíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 699-707, 2001.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, Í. H. L.; MARQUES JÚNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. Dependência espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 1, p. 128-134, 2006.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. **Recomendações para o uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar Boletim, 1).

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação de dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 229-235, 1991.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro-1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-12, 2002.

TORRES, E.; SARAIVA, O. F. **Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas**. Londrina: Embrapa Soja, 1999. 58p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 23).

UTSET, A.; CID, G. Soil penetrometer resistance spatial variability in a ferralsol at several soil moisture conditions. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 61, n. 3-4, p. 193-202, 2001.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties, **Hilgardia**, Berkeley, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1, p. 1-53.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidade em um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 1000-1007, 2007.