



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

ANÁLISE ESPACIAL DOS TEORES DE COBALTO EM LATOSSOLO SOB SISTEMAS DE CULTIVO COM SOJA¹

José Márcilio da Silva²

RESUMO

Com o objetivo caracterizar a variabilidade espacial dos teores de cobalto em duas profundidades em sistema de cultivo direto e convencional, em área de cerrado, através da estatística clássica e da geoestatística na análise dos dados, coletou-se amostras de solo em duas profundidades em dois talhões de 40 x 55m definidos com malha regular de 44 pontos espaçados 5m. O Cobalto (Co) apresentou coeficiente de variação (CV) com alta variabilidade nos dois sistemas e nas duas profundidades, sendo o maior encontrado na profundidade de 0-05 cm no plantio direto (80,03%) e o menor na profundidade de 05-15 cm no preparo convencional (58,57%). O atributo avaliado se ajustou ao semivariograma de modelos esférico e exponencial no preparo convencional nas duas profundidades, e esférico no plantio direto na profundidade de 05-15 cm, apresentando entre moderada e alta variabilidade espacial, respectivamente.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill; geoestatística; dependência espacial; manejo do solo.

SPATIAL ANALYSIS OF COBALT LEVELS IN LATOSOL UNDER CULTIVATION SYSTEMS WITH SOYBEAN

ABSTRACT

Aiming characterize the spatial variability of levels of cobalt in two depths in cultivation system, no-tillage and conventional-tillage in savannah area through the classic statistics and the geostatistic in the analysis of the data, was collected soil depths in two plots of 40 x 55m regular grid with 44 points spaced 5m. The coefficient of variation Cobalt showed high variability in the two systems and two depths, the largest found in the 0-05 cm depth in no-tillage (80,03%) and lowest in the 05-15 cm depth in conventional-tillage (58,57%). The attribute is set to the estimated semivariogram spherical and exponential models at two depths in conventional-tillage, e spherical in no-tillage at a depth of 05-15 cm, with moderate to high spatial variability, respectively.

Key words: *Glycine max* (L.) Merrill; geostatistic; spatial dependence; soil management.

Trabalho recebido em 17/01/2012 e aceito para publicação em 15/12/2012.

¹ Parte da Dissertação do Primeiro Autor apresentado ao PPGPV, CCA-UFES, Alegre-ES.

² Prof. M.Sc. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), *Campus* Barreiros, Fazenda Sapé S/N, Caixa Postal 21, Zona Rural, CEP 55560-000. e-mail: marcilio@barreiros.ifpe.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), uma das espécies cultivadas mais antiga do mundo, tem sido conduzida com alto nível tecnológico em todas suas operações, constituindo-se em uma “commodity” de grande importância comercial para o desenvolvimento da agricultura brasileira, sendo cultivada em todas as regiões.

O sistema plantio direto (PD) é uma das mais eficientes estratégias para a melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo agrícola (AMADO et al., 2007), pois representa a mais significativa alteração no manejo de solos da história moderna da agricultura. Este sistema envolve o uso de técnicas para produzir, preservando a qualidade ambiental, fundamentando-se na ausência de preparo do solo e na presença de cobertura permanente sobre o terreno, através de rotação de culturas (MACHADO et al., 2004).

O sistema de preparo convencional (PC), por sua vez, promove maior aeração, quebra dos agregados do solo e a incorporação dos resíduos vegetais provocando rápida decomposição e perda do carbono orgânico, assim como uma mineralização do nitrogênio e do fósforo orgânico existente no solo. O PC do solo, normalmente, consiste na combinação de uma aração e duas gradagens feitas com a

finalidade de criar condições favoráveis para o estabelecimento e desenvolvimento da cultura.

Enquanto os sistemas tradicionais tratam as propriedades agrícolas de forma homogênea, tomando como base as condições médias das extensas áreas de produção para programar as ações corretivas dos fatores limitantes, a agricultura de precisão contempla a variabilidade espaço-temporal desses fatores para a tomada de decisão (MANTOVANI et al., 2009), com aplicação de insumos em locais específicos, dividindo-se os campos inteiros em zonas de manejo menores e homogêneas (DOERGE, 2006).

A análise geoestatística constitui importante ferramenta na análise e descrição da variabilidade das propriedades do solo (VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002; VIEIRA et al., 2002). e o uso de métodos geoestatísticos contribui para mostrar que o manejo adotado no solo influencia de forma diferente a variabilidade espacial dos atributos do solo (SILVA et al., 2008).

O Cobalto (Co) é um elemento essencial aos microorganismos fixadores de N₂, a necessidade de Co para a cultura da soja é muito pequena e sua deficiência se apresenta sempre nas folhas mais novas, sendo essa uma característica de sintomas

produzidos por elementos de baixa mobilidade nas plantas.

Neste aspecto, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial dos teores de cobalto em duas profundidades em sistema de cultivo direto e convencional, em área de cerrado, sob a égide da estatística clássica e da geoestatística na análise dos dados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Monte Alegre, localizada no município de Rio Verde, Goiás, em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, textura argilosa (EMBRAPA, 2006), cujas coordenadas estão situadas geograficamente entre 17°29'24'' a 17°30'36'' de Latitude Sul (S) e 51°23'24'' a 51°24'36'' de Longitude

Oeste (W), com altitude média de 748 m e topografia plana a levemente ondulada com declividade próximo de 3%. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima predominante na região é do tipo tropical de Savana (Aw), com precipitação média anual de 1.500 mm.

Foram selecionados dois talhões com 2.200 m² cada, sendo um conduzido em plantio direto (PD) e o outro com preparo convencional do solo (PC) (Figura 1). Realizou-se para cada talhão levantamento por amostragem em uma malha regular com as dimensões de 40 x 55m, totalizando 44 pontos em cada área, sendo que a menor distância entre amostras foi de 5m. O espaçamento de 5m foi adotado para se garantir a existência de estacionaridade intrínseca e gerar um número mínimo de 30 pares para cada distância estudada, para utilizar a geoestatística (CRESSIE, 1991).

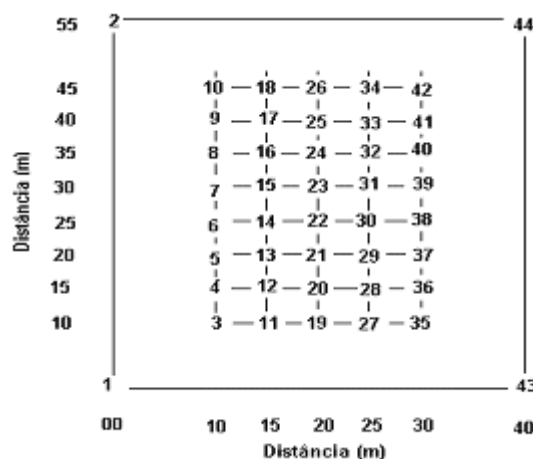


Figura 1. Grade de distribuição dos pontos de amostragem nas áreas de manejo em plantio direto (PD) e preparo convencional (PC) do solo.

A área estava sendo cultivada com soja (*Glycine max* (L.) Merrill) por dez anos em monocultivo, sob PD. Após este período, antes da semeadura da soja, foram selecionados dois talhões; no primeiro, continuou-se com o PD e no segundo, foi realizado o preparo do solo com auxílio de uma grade aradora na profundidade de aproximadamente 0,20 m. Nos últimos cinco anos, na área sob PD, a soja foi cultivada no verão e sucedida pelo milho na safrinha.

Para cada ponto do *grid* foram coletados amostras de solo deformadas utilizando a pá de corte reta, pelo método regionalizado nas profundidades de 0-5 cm e 5-15 cm, segundo metodologia adotada por Silva (2006). Na caracterização química do solo foi determinado o micronutriente Cobalto (Co), conforme Embrapa (2005).

A estatística clássica foi aplicada às variáveis estudadas, antes da análise geoestatística, para obtenção das medidas de posição (média, mediana, valores máximo e mínimo) e dispersão (variância, desvio padrão e coeficiente de variação, assimetria e curtose). Para análise da hipótese de normalidade dos dados foi utilizado o teste Shapiro-Wilk's (W) ($p \leq 0,05$). Os valores do atributo químico (Cobalto) do solo nos dois sistemas e nas diferentes profundidades foram comparados pelo teste t-Student ($p \leq 0,05$).

O grau de dependência espacial foi realizado utilizando-se o *software* GS⁺ (ROBERTSON, 2000) para determinação dos semivariogramas experimentais (Equação 1).

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

em que: $\gamma^*(h)$ é a semivariância estimada, obtida pelos valores amostrados $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$; $N(h)$ é o número de pares de valores medidos; h é a distância entre pontos amostrais.

No ajuste dos semivariogramas teóricos aos dados testaram-se os seguintes modelos: esférico, exponencial, gaussiano e linear. Os semivariogramas foram escalonados pela variância dos dados no sentido de padronizar a escala, determinando os seguintes parâmetros: efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$) e alcance (a). Os valores do grau de dependência espacial, são apresentados como porcentagem do patamar para facilitar a comparação do grau de dependência espacial (GD) que foi classificado segundo Cambardella et al. (1994), na qual um atributo pode ser considerado exibindo alta (forte), moderada ou baixa (fraca) dependência

espacial, em função da relação entre o efeito pepita e o patamar de seu semivariograma ajustado. Valores inferiores a 25% caracterizam alta dependência espacial, entre 25% e 75% moderada e superior a 75%, baixa dependência espacial. O coeficiente de variação (CV) foi classificado segundo proposta de Warrick e Nielsen (1998), na qual um atributo apresenta-se com baixa variação para $CV < 15\%$, média para o intervalo ($15\% \leq CV < 50\%$) e alta variabilidade quando $CV \geq 50\%$.

Verificada a dependência espacial entre as variáveis estudadas, fez-se interpolação pelo método de krigagem ordinária para estimar valores em locais não amostrados, considerando *pixel* de 50 cm x 50 cm. A partir da krigagem foram gerados mapas para os atributos que apresentaram variabilidade espacial para identificar as diferentes zonas homogêneas de manejo. Para a variável que apresentar efeito pepita puro (EPP), ou seja, ausência de dependência espacial e aquelas com alcance reduzido realizou-se o teste t-Student em nível de 5% de probabilidade, com intuito de comparar as médias de tais variáveis entre as duas profundidades estudadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da distribuição de frequência e da análise descritiva dos

parâmetros: média, mediana, mínimo, máximo, desvio-padrão (s), coeficientes de variação (CV), curtose (C_k), assimetria (C_s) e o teste Shapiro-Wilks (W) para o micronutriente Cobalto (Co) nos sistemas de plantio direto e preparo convencional, estão apresentados na Tabela 1.

A normalidade dos dados foi confirmada pelo teste Shapiro-Wilk's ($p \leq 0,05\%$), onde os valores comparados a partir da média de 44 pontos de amostragem apresentaram distribuição normal nas duas profundidades avaliadas nos dois sistemas.

Segundo Carvalho; Silveira e Vieira (2002), valores de assimetria e curtose de zero e três, indicam a normalidade dos dados, respectivamente. Entretanto, de acordo com Cressie (1991), a normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística, é conveniente apenas que no gráfico de distribuição normal, os atributos não apresentem extremidades muito alongadas, o que poderia comprometer as análises.

Nos dois sistemas, os valores da média e mediana estão próximos, indicando distribuição simétrica. O teor de Cobalto no solo, nas duas profundidades e nos dois sistemas, apresenta média maior que a mediana, portanto, assimetria positiva. A curtose apresentou valores não muito altos, sendo, portanto, leptocúrtica

nas duas profundidades e nos dois sistemas, exceto no preparo convencional na profundidade de 05-15 cm (platicúrtica).

Verificou-se que o coeficiente de variação (CV) apresentou alta variabilidade ($CV \geq 50\%$) nos dois sistemas e nas duas profundidades avaliadas, onde o maior CV foi observado no sistema PD (80,03%) na profundidade de 0-05 cm

(Tabela 1), segundo a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1998).

Os resultados obtidos neste trabalho para o atributo químico Co (Tabela 1), apresentam-se nas duas profundidades e nos dois sistemas com valores baixos, este fato é esperado porque a disponibilidade do atributo avaliado é maior em solos com condições de acidez.

Tabela 1 - Estatística descritiva do atributo Cobalto (Co) em plantio direto (PD) e preparo convencional (PC) do solo em duas profundidades.

Variáveis	Sistema	Média	Mediana	δ	Valores		Coeficientes		W	
					Mínimo	Máximo	CV	C _s		C _k
Profundidade de 0-5 cm										
Co (mg dm ⁻³)	PD	0,08a	0,07	0,07	0,01	0,25	80,03	1,34	1,24	*
	PC	0,07a	0,06	0,05	0,01	0,22	69,59	1,40	1,58	*
Profundidade de 5-15 cm										
Co (mg dm ⁻³)	PD	0,06b	0,05	0,05	0,01	0,23	72,15	1,79	3,83	*
	PC	0,10a	0,10	0,06	0,02	0,23	58,57	0,45	-0,92	*

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem significativamente entre si, ao nível de 5%, pelo teste t.

δ : desvio padrão; CV: coeficiente de variação; C_s: coeficiente de assimetria; C_k: coeficiente de curtose; *: distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk's ao nível de 5% de probabilidade. **: distribuição não definida.

Nas Figuras 2 e 3 observa-se a análise espacial dos modelos e parâmetros de ajustes dos semivariogramas escalonados para o atributo químico Cobalto (Co) no PC e PD nas duas profundidades, respectivamente. O Co ajustou-se aos modelos esférico (ESF) e exponencial (EXP) nas profundidades de 0-05 cm e 05-15 cm, com alcance de 15,90

m e 15,80 m, apresentando moderada dependência espacial entre 25% e 75% e alta variabilidade espacial com valor do efeito pepita inferior a 25% do valor do patamar, respectivamente (Figura 2), segundo metodologia adotada por Cambardella et al. (1994). Na Figura 3 verifica-se que o Co se ajustou ao modelo esférico (ESF) na profundidade de 05-15

cm, com alcance de 10,80 m, apresentando alta variabilidade espacial, enquanto que na profundidade de 0-05 cm o atributo avaliado apresentou efeito pepita puro (EPP), ou seja, ausência de dependência espacial, para distâncias maiores que a

menor adotada na amostragem (SILVA et al., 2008), indicando que o tamanho da amostra não foi suficiente para exibir a estacionaridade intrínseca dos dados (VIEIRA et al., 2002).

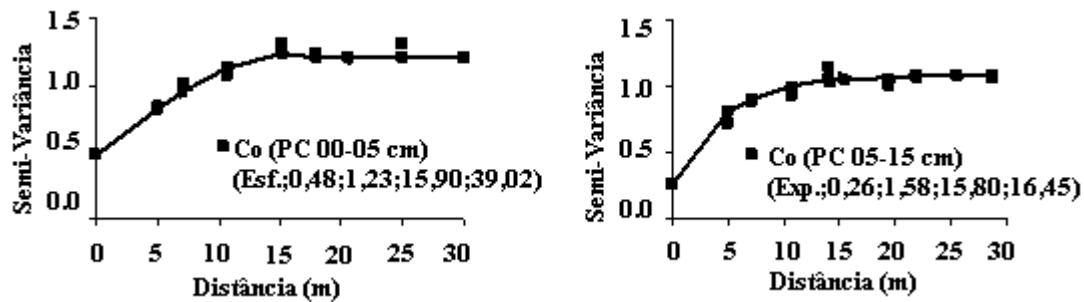


Figura 2 – Modelos e parâmetros (C_0 ; $C_0 + C_1$; a; GD) dos semivariogramas escalonados do Co (mg dm^{-3}) no preparo convencional (PC) nas profundidades de 0-05 cm e 05-15 cm.

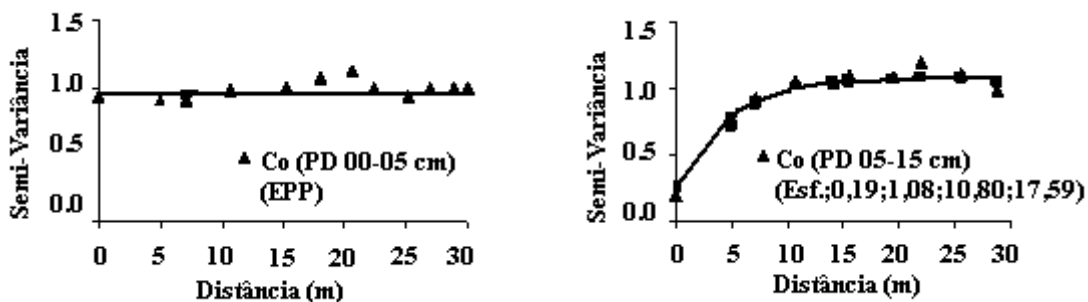


Figura 3 – Modelos e parâmetros (C_0 ; $C_0 + C_1$; a; GD) dos semivariogramas escalonados do Co (mg dm^{-3}) no plantio direto (PD) nas profundidades de 0-05 cm e 05-15 cm.

As Figuras 4 e 5 apresentam os mapas interpolados, no sistema preparo convencional (PC) nas profundidades de 0-05 cm e 05-15 cm e no plantio direto (PD) na profundidade de 05-15 cm da variabilidade espacial do teor de Cobalto (Co) no solo, respectivamente. Observa-se na Figura 4, que as regiões de maiores

valores de Co no solo encontram-se na parte superior e direita de cima para baixo da área, com maior concentração na profundidade de 05-15 cm. De acordo com Silva et al. (2008), o revolvimento do solo na profundidade de trabalho da grade aradora no PC (0-20 cm) pode ter

contribuído para a diminuição do teor de Co nas duas profundidades estudadas.

O teor de Co (Figura 5) se apresenta em pequena quantidade com maior concentração no setor esquerdo da área e pequena distribuição no setor direito, de baixo para cima, devido, provavelmente, ao não revolvimento do solo na camada superficial (até 20 cm) e uma distribuição com maiores valores de compactação do solo no setor esquerdo da área. Estes dados assemelham-se com os encontrados por Silva et al. (2008), em estudo da variabilidade espacial dos atributos físicos

em um latossolo sob plantio direto e preparo convencional no cultivo da soja no cerrado, e por Silva et al. (2009), em estudo da análise espacial da densidade, umidade e resistência mecânica do solo à penetração sob sistemas de cultivo. Resultados semelhantes foram encontrados por Zanette et al. (2007), em estudo da umidade do solo, na profundidade de 15 cm e 30 cm, cultivado com soja sob sistema de manejo plantio direto e preparo convencional.

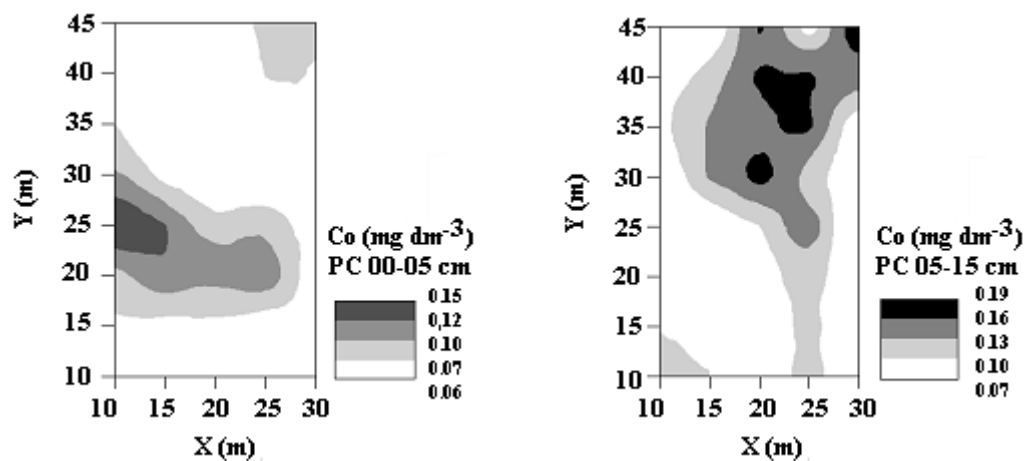


Figura 4 – Mapa de krigagem do teor de cobalto no solo (Co) no preparo convencional (PC) nas profundidades de 0-05 cm e 05-15 cm.

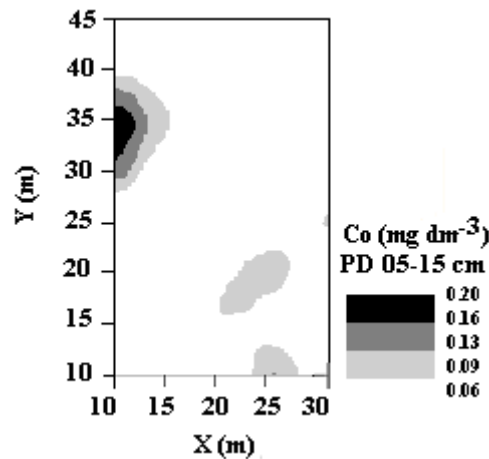


Figura 5 – Mapa de krigagem do teor de cobalto no solo (Co) no plantio direto (PD) na profundidade de 05-15 cm.

4. CONCLUSÕES

O atributo químico Cobalto (Co) apresentou alta variação no coeficiente de variação (CV) nos dois sistemas e nas duas profundidades avaliadas, com o maior CV no sistema PD (80,03%) na profundidade de 0-05 cm, e o menor no PC (58,57%) na profundidade de 05-15 cm.

No preparo convencional o Co apresentou entre moderada e alta variabilidade espacial nas duas profundidades avaliadas, e no plantio direto alta variabilidade espacial na profundidade de 05-15 cm, ajustando-se ao semivariograma de modelos esférico e exponencial no preparo convencional nas duas profundidades, e esférico no plantio direto na profundidade de 05-15 cm.

5. REFERÊNCIAS

AMADO, NICOLOSO, R.; LANZANOVA, M.; SANTI, A. L.; LOVATO, T. Variabilidade espacial e temporal da

produtividade de culturas sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 42, n. 8, p. 1101-1110, 2007.

CAMBARDELLA, C.A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.05, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, J. R. P.; SILVEIRA, P. M.; VIEIRA, S. R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, 2002.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: John Wiley, 1991. 900p.

DOERGE, T. A. **Management zone concepts: site-specific management guidelines**. p. 4, 1999. Disponível em: <http://www.farmresearch.com/SSMJ/ssmg-02/SSMG02.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2006.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 1. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 2005. 212p.

- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA Serviço de Produção de Informação, Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306 p.
- MACHADO, P. L. O. de A.; SILVA, C. A.; CARMO, C. A. F. S. do; MEIRELLES, M. S. P.; MANZATTO, C. V. Estudo de caso em agricultura de precisão: manejo de lavoura de soja na região de campos gerais, PR. In: MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDI, A. C. de C.; SILVA, C.A. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. (Ed.). Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2004. p. 93-113.
- MANTOVANI, E.C.; COELHO, A. M.; MATOSO, M. J. Agricultura de precisão. In: EMBRAPA. **Artigos...** Disponível em: <http://www.embrapa.br/noticias/artigos/folder.2005-02-02.1550581232/ArtigoAgriculturaPrecisao/mostra_artigo>. Acesso em: 29 abr. 2009.
- ROBERTSON, G.P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences-GS+ User's Guide Version 5**. Plainwell, Gamma Design Software, 2000. 200 p.
- SILVA, J.M. **Métodos geoestatísticos no estudo de atributos químicos e físicos do solo em dois sistemas de cultivo da soja no cerrado**. Alegre - ES, 2006. 106f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Área de concentração: Fitotecnia. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.
- SILVA, J.M.; LIMA, J.S.S.; PIRES, F.R.; ASSIS, R.L. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um latossolo sob plantio direto e preparo convencional no cultivo da soja no cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 50, p. 167-180, jul./dez. 2008.
- SILVA, J.M.; PASSOS, A. da L.R.; BELTRÃO, F.A.S. Análise espacial da densidade, umidade e resistência do solo à penetração sob sistemas de cultivo. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**, v. 6, n. 3, p. 103-118, set/dez. 2009.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2000, v. 1, p. 1-54.
- VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2002, v. 2, p. 1-45.
- 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**, Campina Grande, v.11, n.3, p.239-247, 2007.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York: Academic, 1998. p.655-675.