



VARIABILIDADE ESPACIAL DE MICRONUTRIENTES CATIÔNICOS EM UMA LAVOURA DE CAFÉ CONILON NO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

Eduardo Oliveira de Jesus Santos¹; Ivoney Gontijo²; Lucas Rodrigues Nicole¹; Marcelo Barreto da Silva²

1 Graduando em Agronomia do Centro Universitário do Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo (CEUNES/UFES). Rodovia BR 101 Norte, Km 60, Bairro Litorâneo, CEP: 29.932-540, São Mateus - ES, Brasil. Email: eduardoliviera@hotmail.com

2 Professor, Doutor, CEUNES/UFES. Rodovia BR 101 Norte, Km 60, Bairro Litorâneo, CEP: 29.932-540, São Mateus - ES, Brasil.

Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013

RESUMO

O interesse pelo estudo dos micronutrientes em plantas tem aumentado em função dos recentes avanços alcançados pelas pesquisas que evidenciaram seu papel importante na resistência aos estresses e às doenças das plantas. O planejamento e tomadas de decisões são auxiliadas com a utilização de novas tecnologias para o conhecimento da variabilidade espacial de atributos do solo e da planta. O presente trabalho teve por objetivo caracterizar a variabilidade espacial dos micronutrientes catiônicos do solo Cu, Fe, Mn e Zn em uma lavoura de café conilon, na região norte do estado do Espírito Santo. Conduziu-se o experimento em uma lavoura de café conilon no município de São Mateus - ES, plantada no espaçamento 1,8 x 1,0 m (5.555 plantas ha⁻¹). Instalou-se uma malha retangular de 60 x 20 m (1.200 m²) com 60 pontos com cinco metros de distância entre si. Em cada ponto amostral foram coletadas amostras de solo, na profundidade de 0,0-0,20 m. Os dados foram submetidos à análise geoestatística. Todos os atributos em estudo apresentaram estrutura de dependência espacial, com grau de dependência forte. Os micronutrientes catiônicos do solo apresentaram distribuição distinta dentro da área experimental, possibilitando recomendação de doses de fertilizantes com taxas diferenciadas, proporcionando uma redução do custo de produção e a obtenção de um equilíbrio na disponibilidade de nutrientes às plantas.

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea canephora*, geoestatística, atributos químicos do solo.

SPATIAL VARIABILITY OF CATIONIC MICRONUTRIENTS IN A CONILON COFFEE FIELD IN THE NORTH OF ESPIRITO SANTO STATE

ABSTRACT

The interest in the study of micronutrients in plants has increased due to the recent advances of research which revealed its influence in stress and diseases resistance. The purpose of this work was to characterize the spatial variability of soil cationic

micronutrients Cu, Fe, Mn and Zn in a conilon coffee plantation. The study was carried out in a conilon coffee plantation, in São Mateus, state of Espírito Santo, Brazil, planted in 1.8 x 1.0 m spacing (5,555 plants ha⁻¹). Samples were collected at 60 equally spaced points (5 x 5 m) at a depth of 0 – 0.20 m, in a rectangular mesh of 60 x 20 m (1,200 m²). The data were subjected to geostatistical analysis. All attributes in study showed spatial dependence structure, with strong ratio of spatial dependence. The cationic micronutrients showed distinct distribution within the experimental area, enabling the fertilizers recommendation with different rates, providing a lower cost of production and a better balance in nutrient plants.

KEYWORDS: *Coffea canephora*, geostatistics, attributes soil chemical.

INTRODUÇÃO

As cultivares de café conilon vem adquirido características de altas produtividades por meio de programas de melhoramento, nesse sentido tornando-as cada vez mais exigentes nutricionalmente. Para o planejamento da adubação dessa cultura deve-se levar em consideração o índice de fertilidade do solo para evitar problemas de deficiências nutricionais na lavoura (REIS JÚNIOR & MARTINEZ, 2002).

O estado do Espírito Santo é o maior produtor nacional de café Conilon, concentrado no norte-nordeste do estado. De modo geral, estas regiões possuem solos de baixa fertilidade, fazendo com que uma adubação equilibrada seja prática indispensável na melhoria da produtividade e qualidade do café (SEAG, 2008). Para a cultura do cafeeiro conilon, as exigências nutricionais dos micronutrientes variam principalmente em função da sua fase fenológica e da produtividade esperada. O conhecimento das taxas de acúmulo e do total acumulado pelos órgãos dessa espécie e variedade é de grande importância como subsídio para a recomendação e ajuste do programa de adubação das lavouras, notadamente quando se trabalha com níveis ótimos econômicos de produtividade (BRAGANÇA et al., 2007).

MOLIN & MENEGATTI (2005) relatam que a aplicação de insumos agrícolas em taxas diferenciadas relaciona-se aos conceitos da agricultura de precisão, condicionando o tratamento localizado nas diferenças existentes na planta, entre plantas e dos atributos do solo em uma determinada área. Alguns estudos têm sido desenvolvidos visando conhecer o comportamento espacial da necessidade de insumos a taxas variáveis em diferentes lavouras (BARBIERI et al., 2008; CAMPOS et al., 2008; RAGAGNIN et al., 2010; VIEIRA et al., 2010; DELALIBERA et al., 2012; DALCHIAVON et al., 2013).

Com isso, os recursos de geoprocessamento (SIG) disponibilizam a geoestatística, baseada na teoria de variáveis regionalizadas, em que o valor de uma dada variável em um ponto do campo depende de sua localização determinando o estudo da variabilidade espacial. De acordo com LIMA et al., (2007), o planejamento e tomadas de decisões são auxiliadas com a utilização de novas tecnologias para o conhecimento da variabilidade espacial de atributos do solo e da planta. Segundo SILVA et al., (2007), a aplicação da agricultura de precisão na cultura do cafeeiro ainda não é uma realidade na agricultura brasileira, uma vez que existem poucos trabalhos sendo desenvolvidos nessa área.

Desse modo, o presente trabalho teve por objetivo caracterizar a variabilidade espacial dos micronutrientes catiônicos do solo Cu, Fe, Mn e Zn em uma lavoura de café conilon, na região norte do estado do Espírito Santo.

MATERIAL E METODOS

Conduziu-se o experimento em uma lavoura de café Conilon, plantada no espaçamento 1,8 x 1,0 m (5.555 plantas ha⁻¹), localizada no norte do estado do Espírito Santo, no município de São Mateus. As coordenadas geográficas são 18°42' de latitude Sul e 39° 51' de longitude oeste, com uma altitude de 30 m. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrófico típico (EMBRAPA, 2006).

Foi instalada uma malha de 20 x 60 m (1.200 m²) com 60 pontos, distanciados 5 x 5 m, foi utilizada uma trena para demarcação dos pontos amostrais (Figura 1). Em cada ponto amostral foram coletadas três sub-amostras de solo na projeção da copa do cafeeiro, formando uma amostra composta, na profundidade de 0-20 cm. Em cada amostra de solo procedeu-se a análise química dos micronutrientes cobre, ferro, manganês e zinco, de acordo com EMBRAPA (1997). As análises de solo foram realizadas no Laboratório Agrônomo de Análise de Solo, Folha e Água (LAGRO) do Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

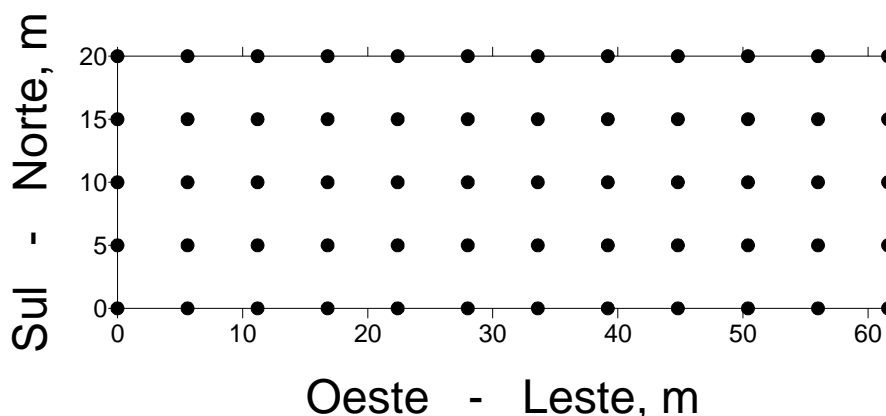


FIGURA 1 – Esquema de amostragem realizada na área experimental, em metros.

Na ocasião da implantação da lavoura foi realizada a correção do solo com a aplicação de 2.000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico. No plantio, para cada metro de sulco, foram aplicados 5 kg de uma mistura curtida nas proporções de 3:2 de palha de café com esterco de galinha, além de 300 g de superfosfato simples. No primeiro ano após o plantio (formação da lavoura), foram feitas adubações mensais do formulado 25-00-25 com doses crescentes de 20 g planta⁻¹ até o limite de 50 g planta⁻¹. As adubações anuais de produção, a partir do segundo ano após o plantio, foram parceladas em quatro aplicações do formulado 25-00-25, conforme recomendações técnicas baseadas em análises de solo.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise exploratória dos dados por meio da estatística descritiva, observados as seguintes medidas: média aritmética, mediana, variância amostral, desvio-padrão, coeficiente de variação, de

assimetria e de curtose. A normalidade foi testada pelo teste Shapiro-Wilk à 5% de probabilidade, por meio do software estatístico Action v. 2.3 (ACTION DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

Os dados foram submetidos à análise geoestatística, com o objetivo de se definir o modelo de variabilidade espacial dos atributos do solo envolvidos nesse estudo, obtendo-se, assim, os semivariogramas, e posteriormente, o mapeamento de cada atributo químico estudado. A análise da dependência espacial foi feita pela geoestatística, com auxílio do programa computacional GS+ Versão 7[®] (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2004), que realiza os cálculos das semivariâncias amostrais, cuja expressão pode ser encontrada em VIEIRA et al., (1983):

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

em que: n(h) número de pares amostrais [z(x_i); z(x_i+ h)] separados pelo vetor h, sendo z(x_i) e z(x_i+ h), valores numéricos observados do atributo analisado, para dois pontos x_i e x_i + h separados pelo vetor h.

Os dados foram interpolados por meio da técnica da krigagem, a qual utiliza os parâmetros do semivariograma. Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada e menor SQR (soma de quadrados do resíduo). Foi calculada a razão de dependência espacial (GD), que é a proporção em percentagem do componente estrutural (C) em relação ao patamar (Co+C), dada pela equação 2:

$$GD = \frac{C}{C_0 + C} 100 \quad (2)$$

De acordo com ZIMBACK (2001), apresenta a seguinte proporção: (a) dependência fraca < 25%; (b) dependência moderada de 25 a 75% e (c) dependência forte > 75%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise descritiva dos teores dos micronutrientes catiônicos do solo estão apresentados na Tabela 1. Os valores médios das variáveis em estudo foram classificados de acordo com PREZOTTI et al., (2007), em teores médio para o cobre (0,8 – 1,8 mg dm⁻³) e elevado para o ferro (> 45 mg dm⁻³), o manganês (> 12 mg dm⁻³) e o zinco (> 12 mg dm⁻³), evidenciando, na lavoura, as pesadas adubações desses elementos.

Verifica-se que os valores de média e mediana dos atributos químicos Fe e Mn estão próximos, caracterizando distribuição normal dos dados, confirmado pelo teste de Shapiro-Wilk, a 5% de probabilidade. Segundo AZEVEDO (2004), a normalidade dos atributos em estudo, não é uma condição necessária para a aplicação da ferramenta geoestatística. ZANÃO JÚNIOR et al., (2007), estudando variabilidade espacial das propriedades químicas do solo sob semeadura direta,

verificou que todos os micronutrientes não apresentaram distribuição normal dos dados.

O coeficiente de variação foi considerado alto para o Cu e Zn e médio para os demais atributos químicos, de acordo com o critério de classificação proposto por WARRICK & NIELSEN (1980). Resultados semelhantes foram obtidos por MACHADO et al. (2007), ZANÃO JÚNIOR et al., (2007) e SILVA et al., (2010) para os micronutrientes do solo Fe e Mn.

TABELA 1 – Estatística descritiva dos dados de teores de cobre, ferro, manganês e zinco obtidos a partir de 60 amostras, de lavoura de café conilon cultivada no município de São Mateus – ES.

Estatística Descritiva	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg dm ⁻³ -----			
Média	1,04	58,06	18,64	7,77
Mediana	0,80	58,60	18,30	4,25
VA	0,80	268,43	59,58	81,28
DP	0,89	16,38	7,72	9,02
CV	85,58	28,21	41,42	116,08
Máximo	5,40	96,0	40,10	50,60
Mínimo	0,10	20,20	5,30	1,40
Assimetria	2,33	0,02	0,53	2,64
Curtose	7,68	- 0,42	- 0,28	7,75
p-valor	5,78 10 ⁻⁸	0,88*	0,10*	1,03 10 ⁻¹⁰

VA – Variância amostral; DP – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação; * - Distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk a 5% de probabilidade.

Verificou-se dependência espacial em todas as variáveis em estudo, expressada por meio dos ajustes aos modelos de semivariogramas (Tabela 2 e Figura 2). Os modelos que melhor ajustaram aos semivariogramas do micronutriente Zn foi o gaussiano, e para os demais atributos ajustou-se ao esférico. Resultados semelhantes foram obtidos por GONTIJO et al., (2012) para o Cu, Fe e Mn, em estudo da variabilidade espacial dos nutrientes do solo em Latossolo sob cultivo da cultura da pimenta-do-reino. A escolha do melhor modelo foi realizada pela seleção inicial de: a) menor soma de quadrado dos resíduos (SQR); b) maior coeficiente de determinação do modelo ajustado (R²); e c) maiores valores do coeficiente de regressão da validação cruzada entre os dados reais e os estimados. FARACO et al., (2008), estudando diversos critérios para validação de atributos do solo, concluíram que a validação cruzada foi o método mais adequado para escolha do melhor ajuste. Assim, a validação cruzada foi utilizada como ferramenta, a fim de validar os modelos dos semivariogramas ajustados para a realização de posterior processo de krigagem.

TABELA 2 – Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para cobre, ferro, manganês e zinco obtidos a partir de 60 amostras, de lavoura de café conilon cultivada no município de São Mateus – ES.

Parâmetro	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg dm ⁻³ -----			
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Gaussiano
EP (C ₀)	0,001	0,1	1,5	0,1
P (C+C ₀)	1,049	255,6	57,99	111,2
GD	0,999	1,0	0,974	0,999
SQR	1,05 10 ⁻³	678	15,4	78,0
rcv	0,625	0,858	0,572	0,825
R ²	0,991	0,915	0,804	0,947
Alcance (m)	11,27	10,90	7,89	9,51

EP – Efeito pepita; P – Patamar; GD – Razão de dependência espacial; SQR – Soma de quadrado de resíduo; rcv – Coeficiente de validação cruzada; R² – Coeficiente de determinação.

Observou-se que os valores do coeficiente de determinação (R²) das propriedades químicas em estudo variaram entre 0,804 e 0,991 e o coeficiente de regressão da validação cruzada (rcv) entre 0,572 e 0,858. De acordo com a classificação proposta por ZIMBACK (2001), observa-se que todos os micronutrientes catiônicos do solo apresentaram estrutura de dependência espacial forte. Corroborando os resultados encontrados por MACHADO et al., (2007) para o Cu, por ZANÃO JÚNIOR et al., (2007) para o Fe e por SANTOS et al., (2011) para Cu, Fe e Zn.

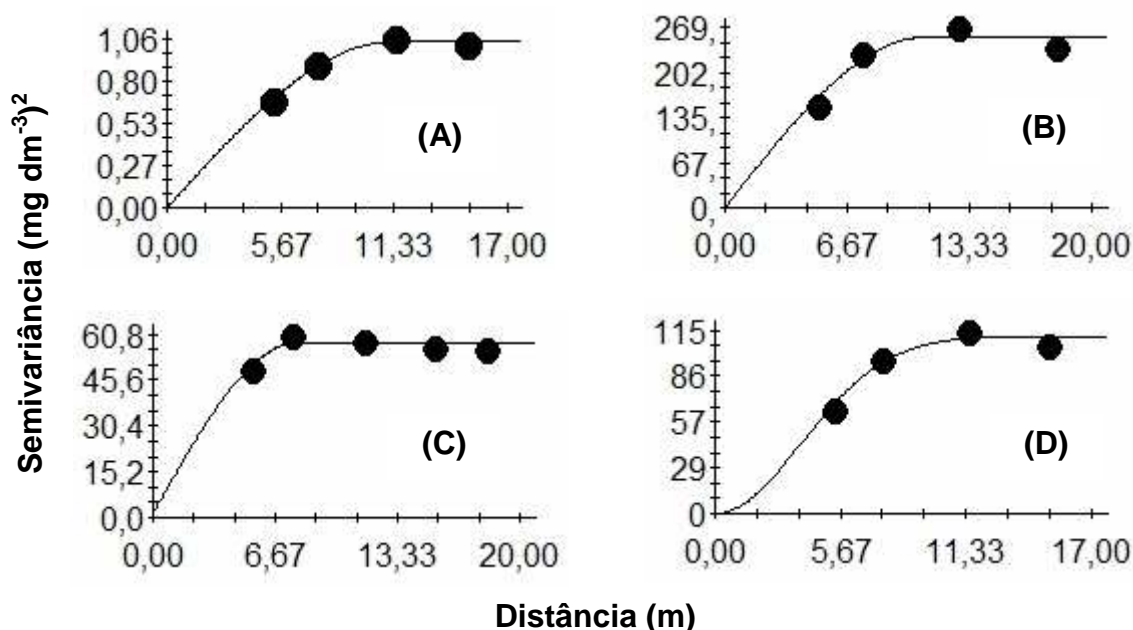


FIGURA 2 – Modelos de semivariogramas ajustados para cobre (A), ferro (B), manganês (C) e zinco (D).

Os valores de alcance variaram 7,89 e 11,27 metros, para Mn e Cu respectivamente. CORÁ et al., (2004) destaca que as propriedades químicas do solo que apresentam maior alcance de dependência espacial tendem a se apresentar mais homogêneos espacialmente, por outro lado, baixos valores de alcance podem

influir negativamente na qualidade das estimativas, uma vez que poucos pontos são usados para realização da interpolação.

Verificam-se na lavoura (Figura 3 A e D) de café conilon baixos teores dos micronutrientes Cu e Zn distribuídos ao longo de toda área, e altos teores localizados na região oeste da lavoura.

Nota-se na região nordeste e sudeste da área experimental altos índices do elemento ferro e baixos valores de manganês (Figura 4 B e C). Enquanto no oeste da lavoura, observam-se os maiores valores dos micronutrientes Mn e níveis intermediários a baixos para Fe.

Esse fato demonstra que existe uma heterogeneidade na área, o que pode comprometer o correto desenvolvimento da lavoura. Desse modo, torna-se necessário implantar um manejo eficiente da fertilidade do solo, fazendo o uso de aplicação de insumos com taxas diferenciadas, de acordo com a real necessidade da lavoura, proporcionando a cultura uma nutrição equilibrada, visando à redução do custo de produção e conseqüentemente o aumento em produtividade.

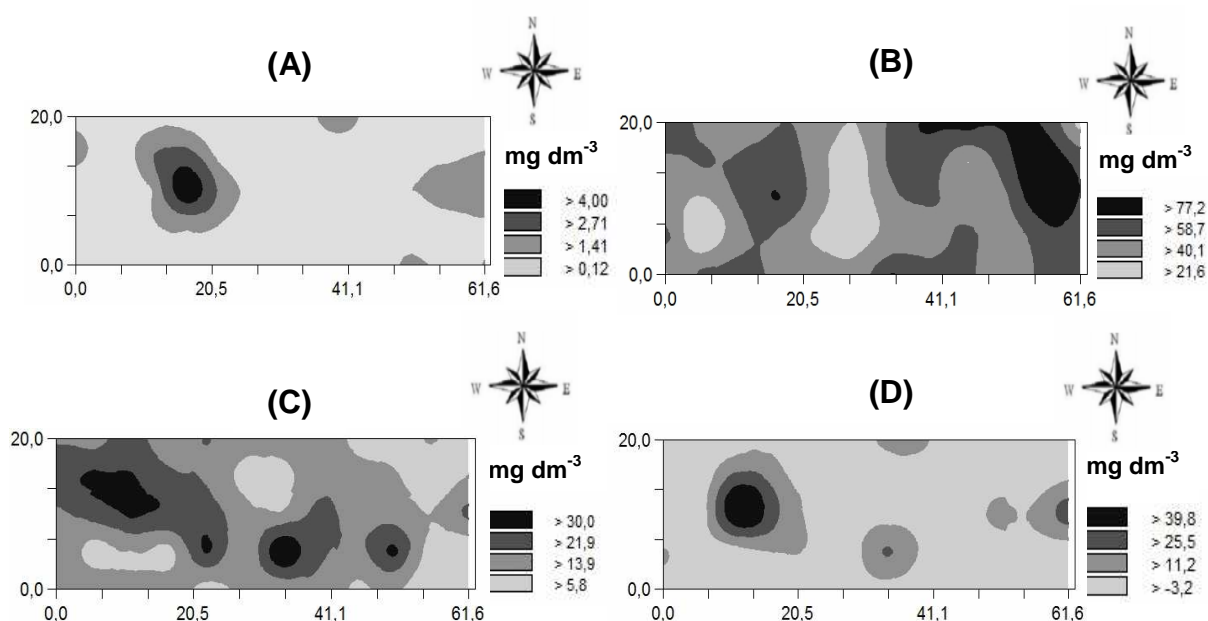


FIGURA 3 – Mapas de isolinhas da distribuição espacial das variáveis cobre (A), ferro (B), manganês (C) e zinco (D). As distâncias estão em metros.

CONCLUSÃO

Todas as variáveis em estudo apresentam distribuição simétrica e estrutura de dependência espacial, com grau de dependência forte.

Verifica-se o menor alcance de dependência espacial para o Mn (7,89 m) e o maior para o Cu (11,27 m).

A variabilidade espacial proporcionou uma visualização dos nutrientes em taxas diferenciadas, que proporcionará economia na aplicação dos fertilizantes, e aumento de produtividade.

REFERÊNCIAS

ACTION DEVELOPMENT CORE TEAM. **ACTION 2.3** - ESTATCAMP - São Carlos, Brasil, 2012.

AZEVEDO, E. C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso**. 2004. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.4, p.645-653, 2008.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. E. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ, V. H.; LANI, J. A. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v.54, n.314, p.398-404, 2007.

CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; BARBIERI, D. M. Aplicação de adubo e corretivo após o corte da cana-planta utilizando técnicas geoestatísticas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n.4, p.974-980, 2008.

CORÁ, J. E.; ARAÚJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1013-1021, 2004.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; MONTANARI, R.; ANDREOTTI, M. Strategy of specification of management areas: rice grain yield as related to soil fertility. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n.1, p.45-54, 2013.

DELALIBERA, H. C.; WEIRICH NETO, P. H.; NAGATA, N. Management zones in agriculture according to the soil and landscape variables. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.32, n.6, p.1197-1204, 2012.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa CNPS, 2006. 306p.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212p.

FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, A. A.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.463-476, 2008

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **Geostatistics for the environmental sciences**. Version 7.0. Michigan, 2004. 1CD-ROM

GONTIJO, I.; NICOLE, L. R.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; SANTOS, E. O. J. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.1093-1102, 2012

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; QUARTEZANI, W. Z. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob cultivo de pimenta-do-reino. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.15, n.3, p. 290-298, 2007.

MACHADO, L. O.; LANA, Â. M. Q.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C.; FERREIRA, C. V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.591-599, 2007.

MOLIN, J. P.; MENEGATTI, L. A. A. Aplicação com taxa variável: tratamento localizado. **Cultivar máquinas**, Pelotas, v.3, n.44, p.22-26, 2005.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação**. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

RAGAGNIN, V. A.; SENA JÚNIOR, D. G.; SILVEIRA NETO, A. N. Recomendação de calagem a taxa variada sob diferentes intensidades de amostragem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.600-607, 2010.

REIS JÚNIOR.; R. A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.59, n.3, p.537-542, 2002.

SANTOS, E. O. J.; GONTIJO, I.; NICOLE, L. R. Distribuição espacial dos nutrientes em um Latossolo cultivado com pimenta-do-reino. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.13, p. 410-419, 2011.

SEAG – SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura: novo PEDEAG 2007-2025**, 2008. Vitória. 84p.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.15-22, 2010.

SILVA, F. M.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P.; MARQUES JÚNIOR, J.; MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.2, p.401-7, 2007.

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.; GUEDES FILHO, O.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; DE MARIA, I. C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.5, p.1503-1514, 2010.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed). **Applications of soil physics**. New York: Academic, 1980. Cap.2, p.319-344.

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

ZIMBACK, C. R. L. **Análise especial de atributos químicos de solo para o mapeamento da fertilidade do solo**. 2001, 114 f. Tese de livre docência - Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu.