

VARIABILIDADE ESPACIAL DOS TEORES MICRONUTRIENTES FOLIARES NO CAFÉ CONILON

Bruno Sérgio Oliveira e Silva^{1,2}; Diego Capucho Cesana²; Thaisa Thomazini Herzog³; Marcelo Barreto da Silva⁴;
Ivoney Gontijo⁵; Fábio Luiz Partelli⁶

¹ Engenheiro Agrônomo na COOABRIEL. Mestrando em Agricultura Tropical, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) / Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), São Mateus-ES, bruno@agronomo.eng.br

² Mestrando em Agricultura Tropical, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) / Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), São Mateus-ES, capuchoagronomo@gmail.com

³ Discente em agronomia, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) / Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), São Mateus-ES, thaisaherzog@agronoma.eng.br

⁴ Professor, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) / Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), São Mateus-ES, marcelobarretodasilva@gmail.com

⁵ Professor, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) / Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), São Mateus-ES, ivoney@ceunes.ufes.br

⁶ Professor, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) / Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), São Mateus-ES, partelli@yahoo.com.br

RESUMO: Uma das opções de manejo utilizadas para minimizar os efeitos da variabilidade na produtividade das culturas é a agricultura de precisão, que representa um conjunto de técnicas e procedimentos utilizados para que os sistemas de produção agrícola sejam otimizados, tendo como objetivo principal o gerenciamento da variabilidade espacial. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial dos teores foliares de micronutrientes do *Coffea canephora*. O experimento foi conduzido nos anos de 2012 e 2013 em uma propriedade no município de São Mateus, norte do Estado do Espírito Santo, Brasil. Foi instalada uma malha irregular de 10.000 m² com 100 pontos, com distância mínima de 1 m. Em cada ponto amostral, considerado por uma planta, foram coletados 20 pares de folhas no terço médio superior da planta, compondo uma amostra. Os resultados foram submetidos à análise inicial por meio da estatística descritiva, os dados foram também submetidos à análise geostatística, objetivando definir a variabilidade espacial dos teores de micronutrientes foliares, primeiramente por meio dos semivariogramas e em seguida mapeamento dos teores de micronutrientes foliares no café conilon. Os dados dos coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero dos teores de micronutrientes foliares no café conilon, revelam que as variáveis seguem a distribuição normal. Na análise de probabilidade dos teores de Fe e Zn na lavoura ajustou-se o modelo gaussiano. O Fe e Zn apresentaram um padrão de distribuição agregado moderado e forte. Para teores de Cu e Mn ajustou-se o modelo exponencial. O Cu e Mn apresentaram um padrão de distribuição agregado forte. Houve a formação de um padrão de distribuição espacial para os micronutrientes estudados, em especial para os teores de Fe e Zn.

PALAVRAS-CHAVE: nutrição de plantas, geostatística, *Coffea canephora*

SPATIAL VARIABILITY OF LEAF MICRO NUTRIENTS CONTENT IN COFFEE CONILON

ABSTRACT: One of the management options used to minimize the effects of variability in crop yields is precision agriculture, which represents a set of techniques and procedures used for the agricultural production systems are optimized, having as main objective the management of spatial variability. The aim of this study was to characterize the spatial variability of foliar micronutrient *Coffea canephora*. The experiment was conducted in the years 2012 and 2013 on a property in the municipality of São Mateus, north of Espírito Santo, Brazil. It was installed a mesh irregular than 10,000 m² with 100 points, with minimum distance of 1 m. At each sample point, considered by a plant, we collected 20 pairs of leaves in the middle third of the upper plant, comprising a sample. The results were subjected to initial analysis by means of descriptive statistics, the data were also analyzed geostatistics, aiming to define the spatial variability of foliar micronutrient content, primarily through the semivariogram and then mapping the levels of micronutrients foliar conilon coffee. The data of the coefficients of skewness and kurtosis near zero levels of micronutrient foliar cafe conilon reveal that the variables follow a normal distribution. In probability analysis of the levels of Fe and Zn in the crop set the Gaussian model. The Fe and Zn showed an aggregated distribution pattern moderate and strong. For Cu and Mn set the exponential model. The Cu and Mn showed an aggregated distribution pattern strong. There was the formation of a pattern of spatial distribution of the micronutrients studied, especially for the contents of Fe and Zn.

KEY WORDS: plant nutrition, geostatistics, *Coffea canephora*

INTRODUÇÃO

As variações nos teores de nutrientes no solo normalmente resultam em “manchas de fertilidade”, que podem conduzir a um estado de nutrição diferenciado nas plantas, incrementando a variação na produção, tendo em vista a relação entre teor de nutrientes no tecido vegetal e o crescimento e desenvolvimento da planta (BERNARDI et al., 2002). Apesar de a análise química do tecido vegetal fornecer um panorama da nutrição da planta num estágio avançado de desenvolvimento, essa é sem dúvida uma das melhores formas de se avaliar a disponibilidade dos nutrientes no solo, pois utiliza-se a planta como extrator de elementos químicos do solo (VIEIRA et al., 2010).

Uma das opções de manejo utilizadas para minimizar os efeitos da variabilidade na produtividade das culturas é a agricultura de precisão, que representa um conjunto de técnicas e procedimentos utilizados para que os sistemas de produção agrícola sejam otimizados, tendo como objetivo principal o gerenciamento da variabilidade espacial (MOLIN, 2000). Para isso, na agricultura de precisão é importante a caracterização e a descrição da variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade das culturas, visando à correlação desses dados para auxiliar o manejo da adubação, sobretudo no que se refere à aplicação localizada e em taxas variáveis de fertilizantes. (VIEIRA et al., 2010)

A análise geoestatística permite estudar a variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes, e sua utilização fornece informações importantes quanto ao planejamento e manejo das áreas cultivadas (SOUZA et al., 1997; BERNARDI et al., 2002; RESENDE et al., 2005). Apesar da importância da descrição espacial do conteúdo foliar de nutrientes como ferramenta para caracterizar o estado nutricional das plantas por meio de cálculos geoestatísticos, poucos estudos foram conduzidos nesse sentido, principalmente na cultura do café conilon.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar a variabilidade espacial dos teores foliares de micronutrientes do *Coffea canephora*.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nos anos de 2012 e 2013 em uma propriedade no município de São Mateus, norte do Estado do Espírito Santo, Brasil. A lavoura selecionada foi de aproximadamente 1 ha⁻¹ com o cultivo de café conilon (*Coffea canephora*). O clone utilizado foi o Bamburral que é um material genético selecionado pelo produtor rural da região, o senhor José Bonomo. A lavoura foi instalada em março de 2010, com espaçamento 3,0 x 1,0 m (3.333 plantas ha⁻¹), sob o sistema de irrigação por microaspersão. O clima da região é quente e úmido (tipo Aw de Köppen), com estação seca no outono-inverno e estação chuvosa na primavera-verão.

Na implantação da lavoura foi realizada a correção do solo e a adubação de solo baseadas na análise de solo, conforme as Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes no Estado do Espírito Santo (Prezotti et al., 2007).

Em maio de 2012, foi instalada uma malha irregular de 10.000 m² com 100 pontos, com distância mínima de 1 m. Para georreferenciamento dos pontos, foi utilizado um par de receptores GPS TechGeo®, modelo GTR G2 geodésico. Os dados, após serem processados pela Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE, apresentaram precisão de 10 mm + 1 ppm. Em cada ponto amostral, considerado por uma planta, foram coletados 20 pares de folhas no terço médio superior da planta, compondo uma amostra. As análises de tecido foliar foram feitas na FULLIN® - Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Preparo de Soluções Químicas – Linhares, ES.

Os resultados foram submetidos à análise inicial por meio da estatística descritiva, considerando: média aritmética, variância amostral, desvio-padrão, coeficiente de variação, valores máximo e mínimo, coeficiente de assimetria e de curtose e o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov a 5%.

Os dados foram também submetidos à análise geoestatística, objetivando definir a variabilidade espacial dos teores de micronutrientes foliares, primeiramente através dos semivariogramas e em seguida mapeamento dos teores de micronutrientes foliares no café conilon. A análise da dependência espacial foi realizada com auxílio do software GS+ Versão 7® (Robertson, 1998), que realiza os cálculos das semivariâncias amostrais.

O padrão de dependência espacial dos teores de micronutrientes foliares foi analisado pelo estudo do variograma. As avaliações de campo foram consideradas uma função aleatória $Z(x)$ onde (x) indica a posição espacial (equação 2).

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

Em que: $\gamma(h)$ é a semivariância estimada, $N(h)$ é o número de pares de dados observados $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, onde essa função teórica ajusta-se aos valores experimentais para representar as relações espaciais entre os dados.

Neste trabalho utilizou-se o modelo esférico como modelo teórico que melhor se ajustou o variograma experimental (Equação 3):

$$\text{Esférico} = \gamma(h) = c_0 + c \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad (3)$$

Para validar o modelo teórico ajustado ao variograma experimental, foi utilizado o método da validação cruzada que consiste na avaliação do coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados, onde o erro padrão de estimação avalia quantitativamente o ajuste do variograma e os erros decorrentes.

O índice de dependência espacial foi calculada de acordo com Zimback (2001) que descreveu como dependência espacial fraca o índice menor que 25%, dependência espacial moderada de 25 a 75% e dependência espacial forte o índice maior que 75%. (Equação 4).

$$IDE = \frac{C}{C_0 + C} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que: C é a variância estrutural ou a diferença entre o C_0 e o patamar ($C_0 + C$) é o valor de variância correspondente ao ponto em que o mesmo estabiliza.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados dos coeficientes de assimetria e curtose próximos de zero dos teores de micronutrientes foliares no café conilon, revelam que as variáveis seguem a distribuição normal, verificado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5%, exceto os elementos Zn e Cu pois apresentam valores de probabilidade superiores a 0,13 (0,30 e 0,16) (Tabela 1).

Tabela 1. Estatística descritiva dos dados de ferro, cobre, zinco e manganês do café conilon, obtidos a partir de 100 amostras.

Estatística Descritiva	Fe	Zn	Cu	Mn
	----- mg kg ⁻¹ -----			
Média	143,24	23,86	13,07	216,98
Mediana	137,50	17,50	12,00	207,00
DP	23,50	12,03	3,65	61,03
VA	552,25	144,81	13,30	3724,20
Mínimo	96,00	10,00	7,00	93,00
Máximo	210,00	48,00	23,00	438,00
CV (%)	16,41	50,43	27,90	28,13
Ass.	0,71	0,92	0,89	0,67
Curt.	0,36	-0,87	0,15	0,94
KS	0,11	0,30	0,16	0,08
VC - KS (5%)	0,13	0,13	0,13	0,13

DP: desvio - padrão; VA: variância; CV: coeficiente de variação; Ass. : coeficiente de assimetria; Curt.: coeficiente de curtose; KS: valores de probabilidade da estatística Kolmogorov-Smirnov ; VC - KS: valores críticos do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5%

Os valores médio dos teores de micronutrientes foliares foram classificados segundo Prezotti et al. (2007) para o Estado do Espírito Santo como adequados para Fe, Zn e Cu e elevado para Mn (Quadro 1 e 2).

Quadro 2. Teores foliares de micronutrientes considerados adequados, segundo a classificação de Prezotti et al. (2007).

Micronutrientes (mg kg ⁻¹)			
Fe	Zn	Cu	Mn
131	12	11	69

Os micronutrientes Fe, Cu, Zn e Mn apresentaram coeficientes de variação de 16,4; 50,4; 27,9; 28,1, respectivamente (Quadro 1).

Na análise de probabilidade dos teores de Fe e Zn na lavoura ajustou-se o modelo gaussiano com R^2 0,83 e 0,98, respectivamente e coeficiente de regressão da validação cruzada de 0,98 e 1,06 (Quadro 3, Figura 1 e 2). O Fe e Zn apresentaram um padrão de distribuição agregado moderado (IDE 52%) e forte (IDE 77%), com um raio de ocupação de distribuição (alcance) de 30,7 e 53 m, respectivamente (Quadro 3, Figura 1 e 2). Para teores de Cu e Mn ajustou-se o modelo exponencial com R^2 0,75 e 0,92 e coeficiente de regressão da validação cruzada de 0,61 e 0,42 ,

respectivamente (Quadro 3, Figura 1 e 2). O Cu e Mn apresentaram um padrão de distribuição agregado forte (IDE 75% e 92%) com um raio de ocupação de distribuição (alcance) de 22,6 e 15 m , respectivamente(Quadro 3, Figura 1 e 2).

Quadro 3. Parâmetros da análise geostatística dos micronutrientes foliares, obtidos a partir de 100 amostras.

Parâmetros	Fe	Zn	Cu	Mn
Modelo	Gaus.	Gaus.	Exp.	Exp.
Efeito Pepita (C_0)	286,81	41,00	6,91	430,00
Patamar (C_0+C)	581,02	180,10	0,50	3789,00
Alcance (m)	30,73	53,00	22,60	15,00
IDE (%)	0,52	0,77	0,50	0,89
R^2	0,83	0,98	0,75	0,92
SQR	21363,00	565,00	10,20	13741,00
r^2	0,98	1,06	0,61	0,42

IDE: índice de dependência espacial; R^2 : coeficiente de determinação do modelo ajustado; SQR: soma de quadrados do resíduo; r^2 : coeficiente de determinação da validação cruzada. Gaus. = modelo gaussiano; Exp. = modelo exponencial.

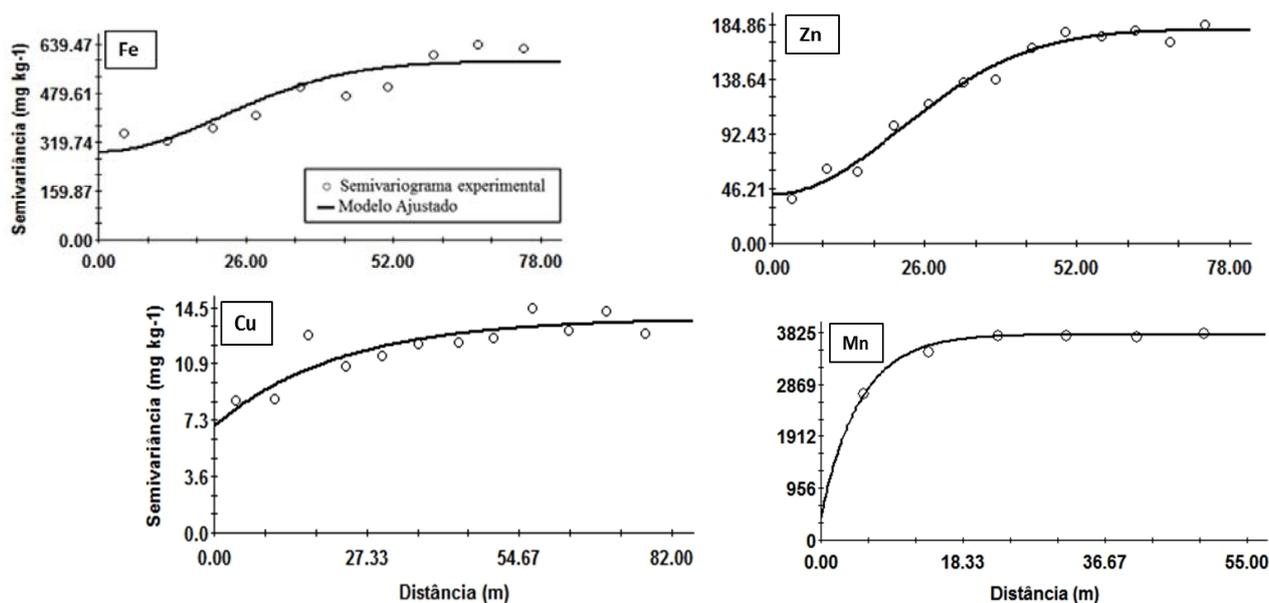
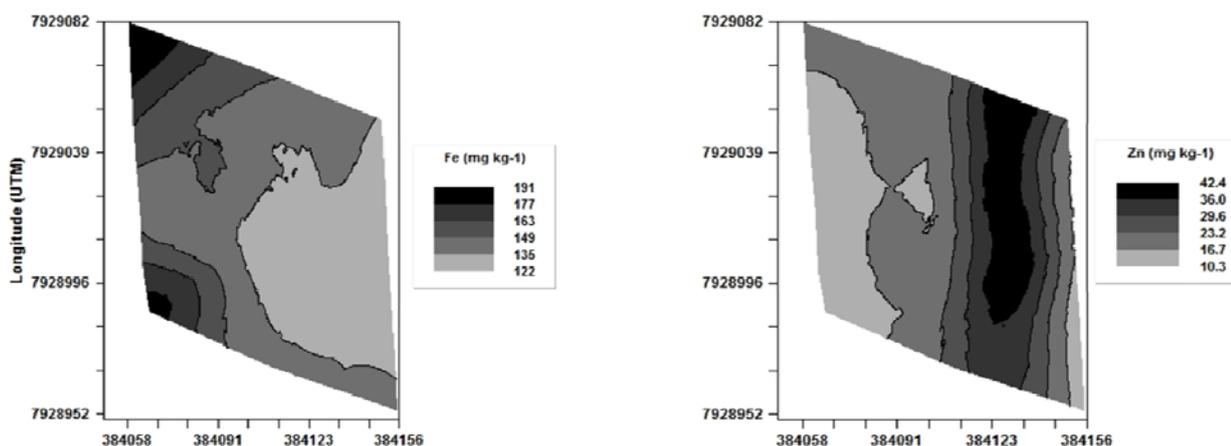


Figura 1. Semivariogramas experimentais ajustados para ferro, cobre, zinco e manganês, no café conilon.



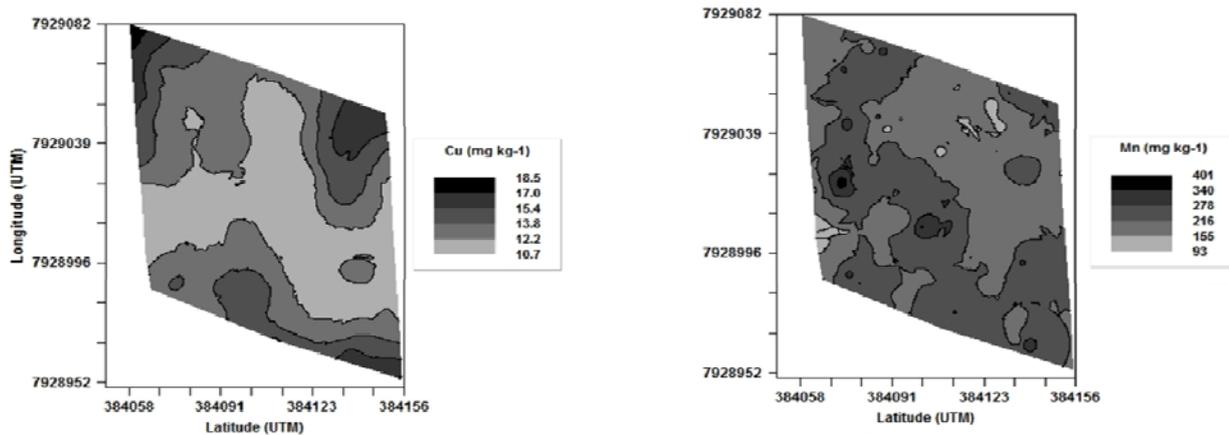


Figura 2. Mapas de distribuição espacial dos teores de micronutrientes foliares: ferro, zinco, cobre e manganês.

CONCLUSÕES

1. Verificou-se neste estudo que a dependência espacial forte e moderada para os micronutrientes estudados.
2. Os modelos gaussiano e exponencial foram os que melhores se ajustaram para as variáveis estudadas.
3. Houve a formação de um padrão de distribuição espacial para os micronutrientes estudados, em especial para os teores de Fe e Zn.

AGRADECIMENTOS

FAPES, CAPES, CNPq, CEUNES/UFES e os Produtores José e Eliseu Bonomo pelos recursos e infraestrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDI, A.C.C.; CARMO, C.A.F.S.; MACHADO, P.L.O.; SILVA, C.A.; VALENCIA, L.I.O. & MEIRELLES, M.S. Variabilidade espacial de teores de nutrientes em folhas de soja como ferramenta para agricultura de precisão. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. 5p. (Comunicado Técnico 17)
- MOLIN, J.P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BORÉM, A., ed. Agricultura de precisão. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.237–257.
- 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,
- RESENDE, A.V.; KRAHL, L.L.; SHIRATSUCHI, L.S.; GOEDERT, W.J. & DOWICH, I. Diagnóstico nutricional de uma lavoura de soja a partir de informações georreferenciadas. Planaltina, DF, Embrapa Cerrados, 2005. 30p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 145).
- ROBERTSON, G.P. GS+. Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.
- SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- VIEIRA, S. R; FILHO, G. O.; CHIBA, M. K.; 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, 2010. ed. 34 p.1503-1514.
- SOUZA, L.S.; VIEIRA, S.R. & COGO, N.P. Variabilidade dos teores de nutrientes na folha, entre plantas, em um pomar cítrico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1997. ed. 21, p.373-377.
- ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade. 2001. 114 p. Tese de Livre-Docência (Livre-Docência em Levantamento do solo e fotopedologia), FCA/UNESP, 2001.