

# COMPARAÇÃO ENTRE AMOSTRAGEM FOLIAR CONVENCIONAL E DE PRECISÃO PARA ANÁLISE DE MICRONUTRIENTES NA CAFEICULTURA

Luis Carlos Cirilo Carvalho<sup>1</sup>, Fábio Moreira da Silva<sup>2</sup>, Gabriel Araújo e Silva Ferraz<sup>3</sup>,  
Vanessa Castro Figueiredo<sup>4</sup>, João Paulo Barreto Cunha<sup>5</sup>

(Recebido: 18 de julho de 2016; aceite: 24 de outubro de 2016)

**RESUMO:** Uma das tecnologias que vem se destacando para o gerenciamento das lavouras é a cafeicultura de precisão. Entretanto, ainda há muitos receios por parte dos cafeicultores na sua adoção em virtude da falta de informações que justifiquem seu uso, frente ao manejo convencional vigente. O presente trabalho buscou avaliar a variabilidade espacial de micronutrientes (Zn, Fe, Mn, Cu e B) obtidos por meio de análise foliar de uma lavoura cafeeira, permitindo a criação de mapas temáticos a fim de visualizar a sua distribuição no espaço em diferentes épocas. Objetivou-se também comparar os resultados da cafeicultura de precisão com o manejo convencional, buscando encontrar resultados que justifiquem a adoção da primeira no gerenciamento das lavouras. O experimento foi realizado na fazenda Brejão, localizada no município de Três Pontas - MG, em uma lavoura de café cultivar Topázio. Foram coletadas folhas para análise foliar segundo dois tipos de amostragem: cafeicultura de precisão, com 100 pontos de coleta, e manejo convencional, dividindo a área em dois talhões. A coleta foi realizada em três épocas: Junho/2012, Dezembro/2012 e Junho 2013. Por meio de geoestatística, foi identificada a variabilidade espacial e temporal de todas as variáveis, possibilitando a criação de mapas. Para uma mesma época, verificaram-se diferenças entre os dois tipos de manejos. De modo geral, a cafeicultura de precisão permitiu maior detalhamento da lavoura em comparação com o manejo convencional, permitindo evitar erros de gerenciamento.

**Termos para indexação:** Cafeeiro, diagnose foliar, geoestatística.

## COMPARISON OF SAMPLING LEAF CONVENTIONAL AND PRECISION FOR MICRONUTRIENTS ANALYSIS IN COFFEE CROP

**ABSTRACT:** One of the technologies that has been outstanding for the management of crops is the precision of coffee growing. However, there are still many fears on the part of growers in their adoption due to the lack of information to justify its use, compared to the current conventional management. This study aimed to evaluate the spatial and temporal variability of micronutrients (Zn, Fe, Mn, Cu and B) obtained through foliar analysis of a coffee plantation, allowing the creation of thematic maps in order to visualize their distribution in space. We also aimed to compare the results of precision coffee growing versus conventional management seeking to find results that justify its adoption in managing crops. The trial was carried out in Brejão farm, located in the municipality of Três Pontas - MG, in a coffee crop cultivate Topaz. Leaves were collected for foliar analysis according to two types of sampling: Precision coffee growing, with 100 collection points, and conventional management, dividing the area into two plots. The evaluations were performed at three different times: June / 2012, December / 2012 and June/2013. Through geostatistics, spatial and temporal variability of all variables was identified, enabling the creation of maps. For a given time, there are differences between the two types of management. In general, the accuracy of coffee allowed greater detail crop compared to the conventional management, allowing prevent management errors.

**Index terms:** Coffee plant, foliar diagnosis, geostatistics.

## 1 INTRODUÇÃO

Por ser uma atividade competitiva, a agricultura moderna busca otimizar seu sistema produtivo por meio do aumento da eficiência de suas operações agrícolas. Uma alternativa que vem se destacando é a adoção da agricultura de precisão no gerenciamento das lavouras. Segundo definição do Ministério da Agricultura, Pecuária

e Abastecimento (BRASIL, 2013), a agricultura de precisão é um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente. Já cafeicultura de precisão refere-se ao emprego de técnicas de agricultura de precisão na produção de café (ALVES et al., 2006).

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Santa Cruz/UESC - Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais/DCAA - Rod. Jorge Amado, Km 16 - Salobrinho - Campus Soane Nazaré de Andrade - Pavilhão Jorge Amado, 2º Andar - Sala 3223 - Ilhéus/BA - 45.662-900 Ilhéus - BA - lcccarvalho@uesc.br

<sup>2,3,4</sup>Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia Agrícola/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG - famsilva@ufla.br, gabriel.ferraz@deg.ufla.br, vcfigueiredo.agro@gmail.com

<sup>5</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/UFRRJ - Rodovia BR 465, Km 07, s/n - Zona Rural - 23890-000 - Seropédica - RJ bcunha\_2@hotmail.com

Pesquisas recentes apresentam a identificação da variabilidade espacial e temporal de variáveis de importância para o agronegócio do café, como: atributos químicos/físicos do solo e produtividade (CARVALHO et al., 2013; FERRAZ et al., 2012a; SILVA et al., 2007, 2008; SILVA; LIMA, 2013), força de desprendimento dos frutos (FERRAZ et al., 2012b) e infestação de pragas (ALVES et al., 2009). Alguns trabalhos realizados apresentaram resultados significativos da cafeicultura de precisão comparada com o manejo convencional na recomendação de adubação de potássio e fósforo para o café arábica (FERRAZ et al., 2015) na recomendação da calagem e adubação para a espécie *Coffea canephora* (OLIVEIRA et al., 2008), e a viabilidade econômica (FERRAZ et al., 2011). Entretanto, grande parte dos cafeicultores ainda mantém o sistema de manejo convencional em suas propriedades e tem dificuldades em aceitar a cafeicultura de precisão, principalmente devido aos poucos trabalhos que justifiquem a sua utilização em comparação com o sistema de manejo vigente. Por isso, é fundamental a realização de trabalhos que forneçam informações que permitam a comparação entre os dois sistemas produtivos.

Uma prática que vem se tornando comum por produtores rurais é o monitoramento do estado nutricional foliar das lavouras cafeeiras, visando recomendações balanceadas e econômicas. Apesar da 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 a planta como extrator de elementos químicos do solo (VIEIRA et al., 2010).

No caso dos micronutrientes, a identificação da dependência espacial é de suma importância no planejamento da adubação, uma vez que o limite entre a essencialidade e a toxidez, no solo, é muito estreito (MALAVOLTA et al., 2006). Portanto, o conhecimento do comportamento dos micronutrientes de uma lavoura de café, ao longo da área, aliado a um manejo localizado, podem proporcionar às plantas melhores condições nutricionais e, conseqüentemente, melhor desenvolvimento e maior produtividade.

Objetivou-se neste trabalho, identificar a variabilidade espacial e temporal, por meio de geoestatística, dos teores de micronutrientes (Zn, Fe, Mn, Cu e B) em três épocas (Jun/12, Dez/12 e Jun/13) de uma lavoura cafeeira, determinados por análise foliar, permitindo a sua representação por meio de mapas temáticos. Objetivou-se também comparar os resultados da cafeicultura de precisão com o manejo convencional, a fim de justificar a utilização da cafeicultura de precisão no manejo das lavouras.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na fazenda Brejão, em um LATOSSOLO VERMELHO distrófico - LVd, de textura argilosa, localizada no município de Três Pontas - Sul do Estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas médias 21°25'58'' de latitude Sul e 45°24'51'' de longitude oeste de Greenwich, altitude máxima de 914,7 m. A área experimental possui 22 hectares cultivados com café (*Coffea arabica* L.) cultivar "Topázio", sendo a lavoura implantada em 2005 no espaçamento 3,8 metros entre linhas e 0,8 metros entre plantas.

Excetuando as safras de 2007/2008 e 2008/2009 que receberam adubação diferenciada com base na variabilidade espacial conforme descrito por Ferraz et al. (2011), as demais safras foram manejadas da forma convencional. No manejo convencional, a lavoura é adubada em três épocas ao longo do ano: fevereiro, com 250 Kg.ha<sup>-1</sup>; outubro, com 500 Kg.ha<sup>-1</sup> de 20-05-20; e dezembro, com 350 Kg.ha<sup>-1</sup> de 25-00-25. A correção do solo é feita com aplicação de 1,0 tonelada de calcário dolomítico por hectare, com poder relativo de neutralização total - PRNT de 80%, no mês de agosto. É feita aplicação foliar de micronutrientes em agosto, outubro, dezembro e janeiro, nas dosagens de 0,6, 0,8, 0,8 e 0,6 L.ha<sup>-1</sup>. O controle de plantas daninhas é feito da seguinte forma: em Setembro, aplica-se 2,0 L.ha<sup>-1</sup> de Glifosato®; em dezembro e janeiro são realizadas as roçadas mecânicas. Para o controle de doenças aplica-se em agosto e janeiro 0,6 L.ha<sup>-1</sup> de Azimut®, em outubro e dezembro 0,8 L.ha<sup>-1</sup> de Guapo®.

A área experimental foi demarcada por meio de um GPS topográfico Topcon FC 100 (com erro médio de 10 cm), em uma malha amostral de 100 pontos. Desses, 64 pontos foram georreferenciados a cada 57 metros de distância, formando uma malha regular. No interior desta malha foram criadas mais quatro malhas regulares, com pontos georreferenciados a cada 3,8 metros, denominadas de "zoom". Estas quatro malhas (zoom) foram posicionadas em quatro pontos da malha principal, de modo que cada uma fosse composta por 10 pontos amostrais georreferenciados, sendo um ponto da malha principal (dos 64 pontos) e nove pontos da nova malha (zoom). Cada zoom está destacado por um círculo vermelho na Figura 1.

Os dados foram coletados seguindo dois tipos de amostragem, cafeicultura de precisão e convencional, como pode ser visto na Figura 1, e em três épocas: Junho de 2012; Dezembro de 2012; e Junho de 2013.

Para a amostragem segundo a cafeicultura de precisão, em cada um dos 100 pontos amostrais foi coletada uma amostra de folhas das plantas de café. Foram utilizadas dez plantas para fornecer folhas a fim de constituir uma amostra, dispostas de acordo com a Figura 2. Para cada planta, em seus quatro pontos cardeais, foram coletados o terceiro ou quarto par de folhas no terço superior, livres de lesões ocasionadas por doenças, pragas, fenômenos climáticos e tratos culturais. Dessa forma, cada amostra foi constituída de 80 folhas. Em seguida, elas foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para o laboratório da Fundação Procafé, em Varginha - MG.

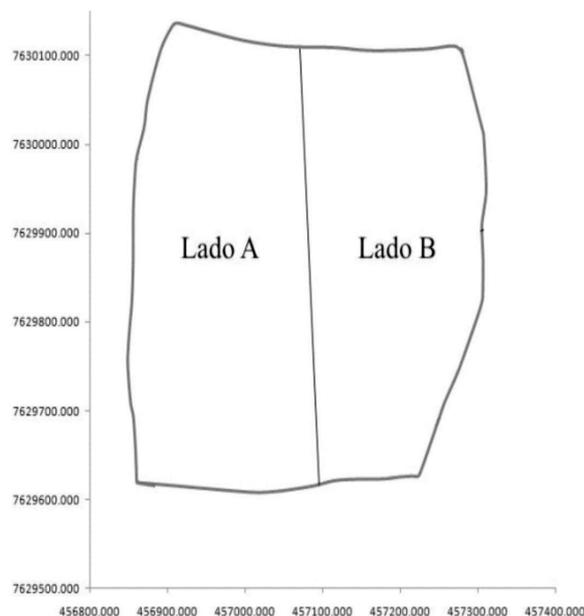
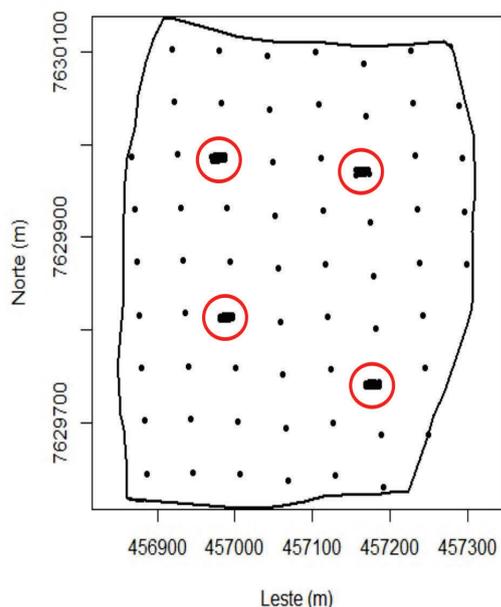
Os dados resultantes do processamento das amostras foram analisados em duas etapas: estatística descritiva e análise geoestatística. A estatística descritiva constitui-se da determinação de: valor mínimo; valor máximo; média; mediana; e desvio padrão. Já a análise geoestatística foi feita por meio da identificação da dependência espacial das variáveis, por meio do ajuste dos semivariogramas, pelo estimador clássico (VIEIRA et al., 1983). Para todas as variáveis, foi utilizado o método dos Quadrados Mínimos Ordinários (ordinary least squares - OLS) e o modelo esférico para o ajuste dos semivariogramas. A escolha do modelo esférico justifica-se por ser o que melhor se adequou aos ajustes em estudos da área de geoestatística relacionados com a cultura do café (ALVES et al., 2009; FERRAZ et al., 2012a, 2012b; SILVA et al., 2007, 2008).

Uma vez identificada a variabilidade espacial da variável, após o ajuste dos semivariogramas, foi realizada a interpolação dos dados por meio de krigagem ordinária, sendo possível a criação de mapas temáticos. Os mapas criados foram gerados em coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) na zona 23K, que é onde se localiza a área experimental, no datum SIRGAS 2000. Foi analisado, também, o grau de dependência espacial (GD) das variáveis, seguindo classificação proposta por Cambardella et al. (1994).

Utilizou-se o software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014), de distribuição livre, por meio do pacote geoR (RIBEIRO JUNIOR; DIGGLE, 2001), a fim de realizar a análise geoestatística e a criação dos mapas temáticos.

Em relação à amostragem convencional, a área experimental foi dividida ao meio em dois lados, lado A e lado B, ( Figura 1). Para cada lado foram coletados o terceiro ou quarto par de folhas na altura do terço médio, nos quatro pontos cardeais, de 10 plantas aleatórias. Posteriormente, estas amostras também foram encaminhadas para o laboratório da Fundação Procafé para processamento.

Por fim, os resultados de ambas as amostragens foram comparados com os padrões recomendados segundo a Fundação Procafé (Tabela 1).



**FIGURA 1** - Croqui da área experimental para a cafeicultura de precisão (esq) e para o manejo convencional (dir) - Adaptado de Ferraz et al. (2015).

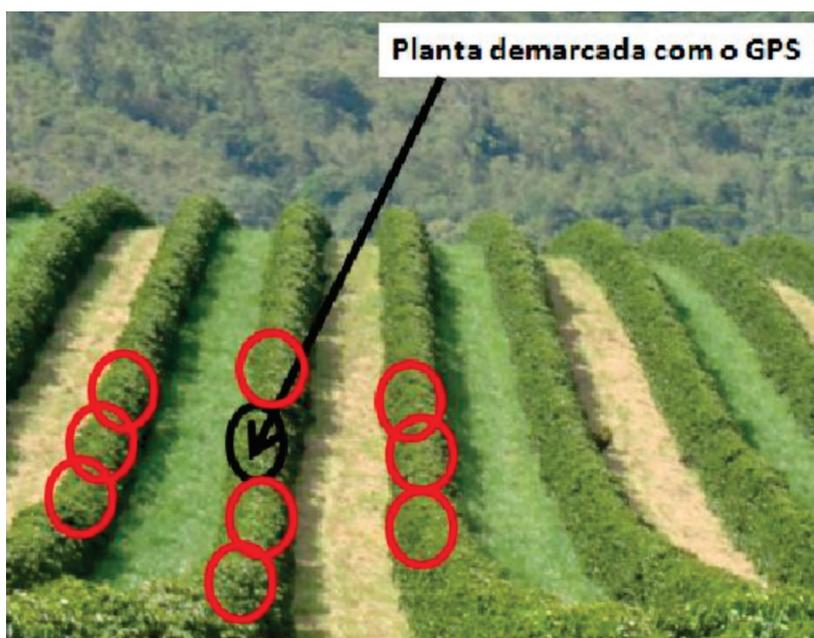


FIGURA 2 - Disposição das plantas para coleta de folhas para análise foliar.

TABELA 1 - Padrões referenciais médios para avaliação de resultados de análise foliar do cafeeiro

Nutrientes (ppm)	Escala nutricional		
	Deficiente (com sintomas)	Limiar	Adequada
Zn	< 7	10	10 - 20
B	< 30	40	40 - 80
Cu	< 4	10	10 - 50
Mn	< 30	50	50 - 200
Fe	<50	70	70 - 200

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva dos dados referentes à análise foliar, de acordo com a amostragem em malha proposta pela cafeicultura de precisão, está apresentada na Tabela 2. Ainda na Tabela 2 encontram-se os resultados da análise foliar segundo a amostragem convencional. As variáveis apresentaram coeficiente de variação variando de moderado a muito alto, segundo classificação proposta por Gomes e Garcia (2002), estando de acordo com o apresentado por Frogbrook et al. (2002), os quais relatam que valores elevados do coeficiente de variação são considerados como os primeiros indicadores de existência de heterogeneidade dos dados

Observa-se que, para cada variável avaliada na cafeicultura de precisão, os valores

médios apresentam diferenças se comparados com a amostragem convencional. Além disso, os valores mínimos e máximos de cada variável (Tabela 2) permitem compreender a variação de valores que são possíveis de serem encontrados ao longo da área. Ainda assim, reconhecer que há uma variação dos dados na área não é suficiente para identificar espacialmente a distribuição da variável. Desta forma, é necessário o uso de uma ferramenta estatística que considere as relações espaciais entre os dados, como é o caso da geoestatística.

Observa-se, pela Tabela 3, dependência espacial para todas as variáveis avaliadas, uma vez que o valor absoluto da diferença entre duas amostras aumentou para distâncias entre coletas cada vez maiores, até chegar a um valor estável.

**TABELA 2** - Estatística descritiva da análise foliar de micronutrientes das plantas de café, em três épocas, por meio da cafeicultura de precisão e do manejo convencional.

Nutriente e época de avaliação	Cafeicultura de precisão - Amostragem em malha (ppm)						Amostragem convencional (ppm)	
	Mín	Máx	Méd	Md	DP	CV	Lado A	Lado B
Zn jun/12	1.00	29.00	12.98	14.00	7.34	56.54	13.00	5.00
Zn dez/12	5.00	97.00	35.89	36.00	21.50	59.90	10.00	10.00
Zn jun/13	3.00	16.00	7.89	6.50	3.37	42.74	6.00	11.00
Fe jun/12	64.00	175.00	93.25	90.50	18.36	19.69	83.00	99.00
Fe dez/12	46.00	103.00	63.21	63.00	8.54	13.51	57.00	51.00
Fe jun/13	77.00	198.00	119.20	115.00	23.60	19.80	107.00	102.00
Mn jun/12	69.00	294.00	139.40	139.00	38.45	27.58	124.00	118.00
Mn dez/12	58.00	219.00	118.00	114.50	29.24	24.78	113.00	133.00
Mn jun/13	49.00	202.00	120.20	120.00	37.39	31.10	93.00	177.00
Cu jun/12	13.00	23.00	17.58	18.00	2.06	11.69	18.00	19.00
Cu dez/12	2.00	23.00	11.70	10.00	5.48	46.81	12.00	7.00
Cu jun/13	9.00	29.00	16.99	17.00	3.53	20.75	17.00	24.00
B jun/12	23.10	95.00	67.88	68.00	13.78	20.31	41.60	66.60
B dez/12	14.20	60.20	30.98	30.25	9.13	29.47	21.20	17.90
B dez/13	20.10	72.40	47.82	47.45	9.52	19.90	50.30	57.60

Mín. - Valor mínimo; Máx. - Valor máximo; Méd. - média; Md. - mediana; DP. - desvio padrão; CV. - coeficiente de variação.

**TABELA 3** - Parâmetros estimados para os semivariogramas ajustados dos micronutrientes Zn, Fe, Mn, Cu e B, em três épocas de amostragem.

Nutriente e época de avaliação	$C_0$	$C_1$	$C_0+C_1$	a (m)	GD	
Zn jun/12	11.6995	46.6822	58.3817	218.8	20.0	Forte
Zn dez/12	111.3006	474.3040	585.6046	343.8	19.0	Forte
Zn jun/13	2.8125	13.8805	16.6930	472.1	16.8	Forte
Fe jun/12	100.4655	301.1499	401.6154	234.0	25.0	Forte
Fe dez/12	27.4392	59.5115	86.9507	152.1	31.6	Moderado
Fe jun/13	187.7928	328.4948	516.2876	147.1	36.4	Moderado
Mn jun/12	305.2311	1,290.1826	1,595.4137	221.9	19.1	Forte
Mn dez/12	0.0000	1,402.6091	1,402.6091	461.1	0.0	Forte
Mn jun/13	202.9291	1,657.5203	1,860.4494	358.9	10.9	Forte
Cu jun/12	2.4073	1.6448	4.0521	111.8	59.4	Moderado
Cu dez/12	7.4193	26.2800	33.6993	180.9	22.0	Moderado
Cu jun/13	9.2314	3.1338	12.3652	103.3	74.7	Frac
B jun/12	80.1596	117.2761	197.4357	143.1	40.6	Moderado
B dez/12	51.4786	47.1295	98.6081	220.7	52.2	Moderado
B jun/13	49.0736	64.6677	113.7413	262.7	43.1	Moderado

$C_0$  - Efeito pepita;  $C_1$  - Contribuição;  $C_0 + C_1$  - Patamar; a - alcance; GD - Grau de dependência espacial

Dessa forma, ocorreu a estabilidade do semivariograma (Figura 3), definindo a distância máxima em que a variável apresenta dependência espacial (alcance).

Excetuando Mn dez/12, todas as demais variáveis possuem efeito pepita ( $C_0$ ) maior que zero, o que indica a variabilidade não explicada, considerando a distância de amostragem utilizada (MCBRATNEY; WEBSTER, 1986).

Seguindo a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), apenas o teor de Cu jun/13 apresentou GD fraco. As demais variáveis apresentaram GD forte ou moderado. Uma vez que o alcance do semivariograma representa a zona de influência de uma observação e separa o campo estruturado (amostras correlacionadas) do campo aleatório (amostras independentes) (ANDRIOTTI, 2003), é possível utilizá-lo como distância de coleta entre pontos para futuras amostragens. Para Junho de 2012, o alcance variou entre 111,8 e 234,0 metros, para Fe e Cu respectivamente. Em relação à Dezembro de 2012, os valores foram de 143,1 metros para o B até 461,1 para o Mn. Em Junho de 2013, o menor alcance foi para o Cu e o maior para o Zn, sendo os valores iguais a 103,5 e 472,1 metros, respectivamente. Mulla e McBratney (2000) sugerem que unidades de amostragem podem ser definidas utilizando 25 a 50% do valor do alcance, que no presente trabalho seria igual a 51,75 metros, ao utilizar o menor valor de alcance encontrado.

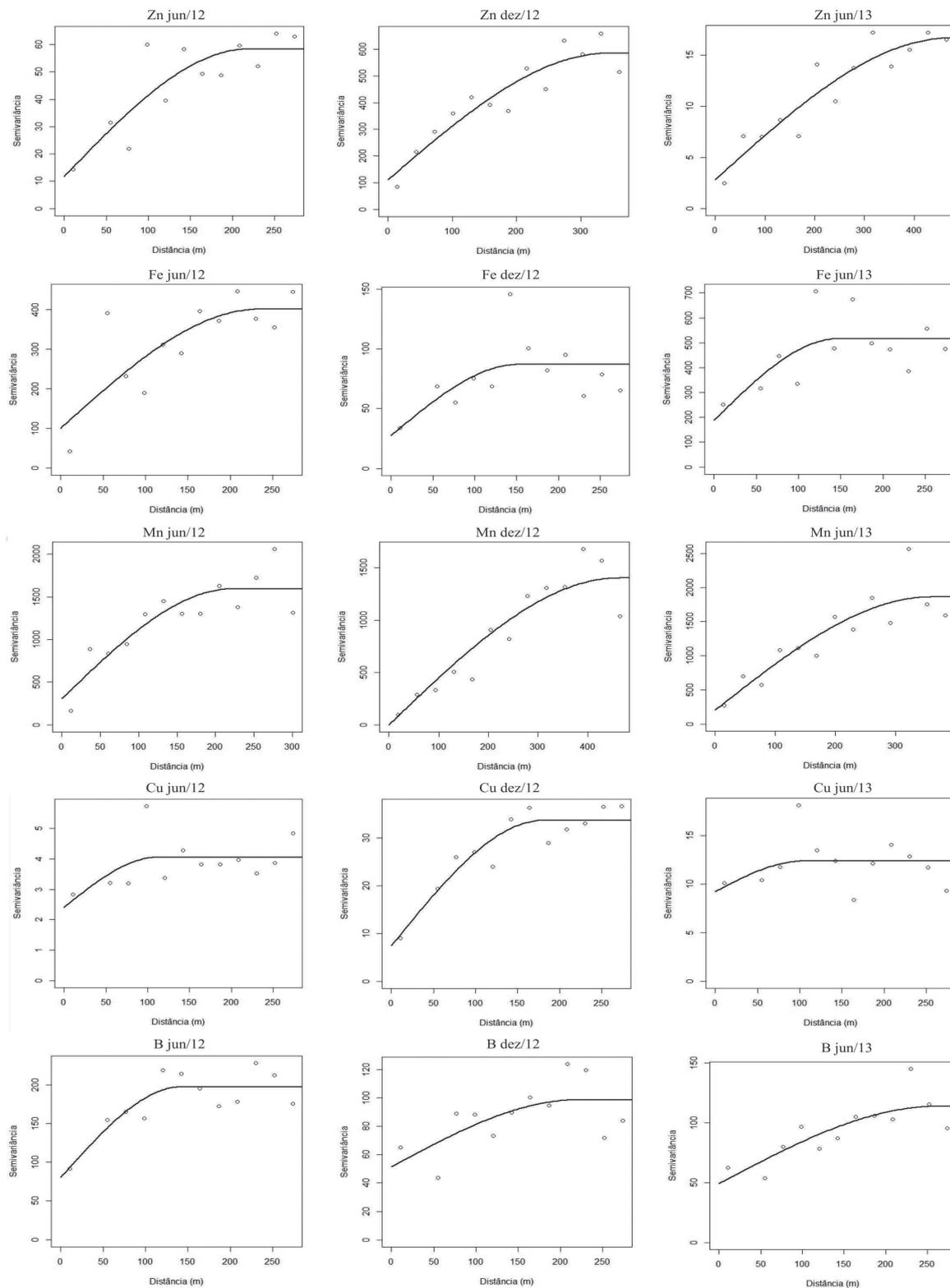
Outros trabalhos também identificaram a variabilidade espacial de micronutrientes, por meio de análise foliar. Avaliando a variabilidade espacial do estado nutricional do cafeeiro canéfora em Dezembro, por meio de uma malha irregular de 60 pontos em uma área experimental localizada no Sul do Espírito Santo, Oliveira et al. (2010) identificaram dependência espacial para B, Cu, Zn e B. Os valores de alcance variaram entre 16,5 metros para o Zn e 47,6 para o B. De acordo com Ferraz et al. (2015), a diferença dos resultados entre os trabalhos pode ser justificada em função de fatores como: tipos de malhas de amostragem; características da área experimental; espécie e cultivar utilizadas; idade da lavoura, fatores climáticos; entre outros.

Assim, foi possível identificar dependência espacial em todas as variáveis (Tabela 3 e Figura 3), e foi feita a interpolação por krigagem ordinária, de modo a permitir a criação mapas de distribuição espacial (Figura 4). Observa-se que no manejo da cafeicultura de precisão foi possível

identificar de forma mais precisa as variações de valores que as variáveis apresentam na área, se comparado com o manejo convencional baseado em um valor médio. Todos os mapas apresentaram variabilidade espacial e temporal, uma vez que a distribuição da variável mudou em relação ao espaço (coordenadas dos mapas) e tempo (épocas de amostragem). As cores mais escuras indicam teores mais baixos dos nutrientes e cores mais claras indicam teores mais altos. É importante destacar que a mesma cor, para diferentes mapas, indica teores diferentes. As informações de deficiência e excesso nos teores dos micronutrientes para o café foram todas obtidas segundo Malavolta et al. (1993).

Observa-se que para o mapa de Zn Jun/12, a região localizada à direita apresenta valores considerados abaixo do adequado ( $> 10$  ppm), representado pela cor preta. Se fosse considerado apenas o valor médio proveniente da amostragem convencional para a avaliação nutricional (Tabela 2), observa-se que o lado A apresenta teor adequado de Zn e o Lado B deficiência. Entretanto, é possível verificar no mapa que existem locais que apresentam teores elevados de Zn ( $> 20$  ppm), mesmo estando do lado B. Para o mapa de Zn Dez/12, observa-se que os maiores valores estão na região central do mapa, com valores considerados elevados. Porém, a amostragem convencional indica que os dois lados estão com valores adequados. Já no mapa de Zn Jun/13, o lado direito apresenta teores adequados, enquanto que o lado esquerdo e a região central apresentam valores que correspondem à deficiência de Zn ( $> 7$  ppm). Na amostragem convencional, o lado A apresenta deficiência e o lado B apresenta teor adequado. Comparando com o mapa, observa-se no lado B a presença de regiões em que há deficiência de Zn. Os sintomas da deficiência de Zn se manifestam com: o encurtamento dos internódios da base do ramo para a ponta, fazendo com que as pequenas folhas estreitas e amareladas fiquem próximas; morte dos ponteiros; e superbrotamento. Já o excesso de Zn ocasiona folhas mais velhas amareladas, quase da cor da gema de ovo.

Observa-se que os mapas do teor de Fe em Jun/12 e Jun/13 apresentam em toda a área valores considerados adequados ( $> 70$  ppm e  $< 200$  ppm). Para ambas as variáveis, na amostragem convencional, os lados A e B também apresentam valores considerados adequados. O mapa referente ao teor de Fe em Dez/12 apresenta grande parte da área com valores abaixo do considerado limiar (70 ppm), exceto pelo centro da área.



**FIGURA 3** - Semivariogramas ajustados dos micronutrientes (ppm) Zn, Fe, Mn, Cu e B, de plantas de café, determinados por meio de análise foliar, em três épocas de amostragem.

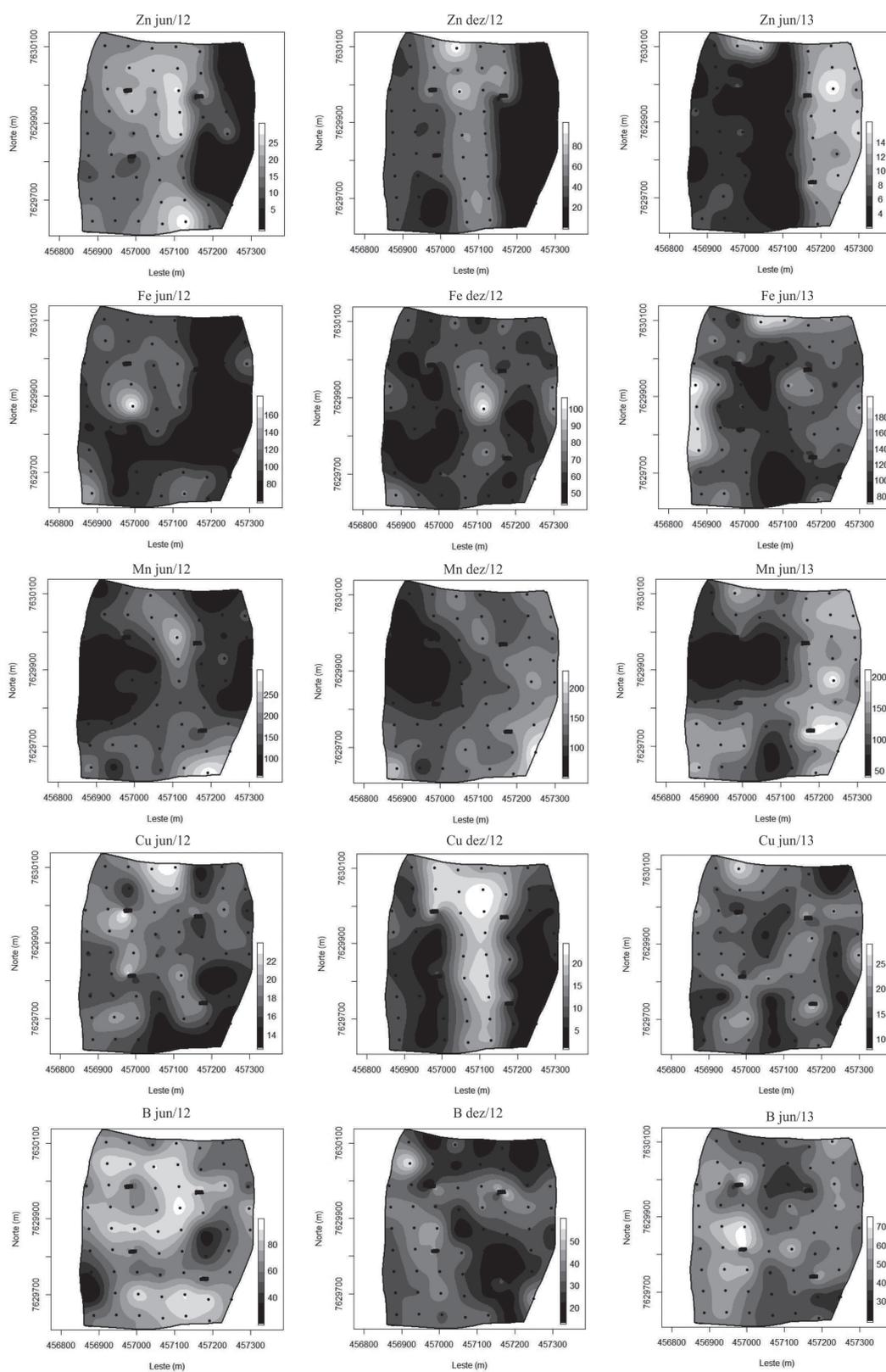


FIGURA 4 - Distribuição espacial dos micronutrientes (ppm) Zn, Fe, Mn, Cu e B, de plantas de café, determinados por meio de análise foliar, em três épocas de amostragem.

Os dois lados da amostragem convencional para este período também apresentam valores abaixo do considerado limiar. Em relação ao teor de Fe, sua deficiência resulta no amarelecimento das folhas mais novas, inicialmente com nervuras verdes.

Para toda a área o teor de Mn é considerado adequado (50 ppm a 200 ppm), em Dez/12 e Jun/13. Em relação à amostragem convencional, os lados A e B apresentaram valores adequados de teor de Mn, para todas as épocas. A deficiência de Mn resulta em muitos pontinhos esbranquiçados nas folhas mais novas os quais depois se juntam tomando uma cor amarelada quase gema de ovo. O excesso de Mn proporciona internódios curtos, folhas pequenas e amareladas.

Para as épocas Jun/12 e Jun/13, o teor de Cu é considerado adequado (10 ppm a 50 ppm) em toda a região. Para Dez/12, apenas a região central apresenta teores considerados adequados. Utilizando a amostragem convencional, observa-se teor abaixo do limiar (10 ppm) apenas para o lado B da coleta feita em Dez/12. O teor de Cu pode fazer com que as nervuras secundárias de folhas mais novas fiquem salientes (costelas), quando deficiente. Em contrapartida, seu excesso faz com que a planta apresente folhas amareladas ao longo da nervura principal, morte das raízes e desfolhamento.

Em relação ao B, apenas pequenas manchas mais escuras nos mapas de Jun/12 e Jun/13 possuem teor de B inferior ao recomendado (40 ppm a 80 ppm). Para ambas as épocas, na amostragem convencional, os lados A e B possuem teores considerados adequados. Em relação à coleta de Dez/12, é possível observar que predominam regiões em que o teor de B está abaixo do considerado limiar (40 ppm). Os resultados da amostragem convencional também indicam a deficiência de B, uma vez que os lados A e B possuem teores deficientes, com presença de sintomas (menores que 30 ppm). Em relação à deficiência de B, as folhas ficam pequenas e apresentam formas bizarras. Em casos severos de deficiência de B, as gemas terminais e a ponta do galho podem secar ou morrer, há superbrotamento, os internódios encurtam e o pagamento da florada é menor. Já o excesso de Boro proporciona amarelecimento malhado nas folhas mais velhas e manchas secas nas bordas e na ponta, ocorrendo, principalmente, após poda drástica da planta.

Como já discutido, em Junho/2012 apenas os mapas dos teores de Zn, Mn e B

apresentaram parecer diferente em relação ao manejo convencional. Para Dezembro/12, o mesmo ocorreu para os mapas de Zn, Fe e Cu. Já em relação a Junho/2013, foram os mapas de Zn e B que apresentaram parecer diferente em relação aos resultados do manejo convencional. Desta forma, para uma mesma época, verifica-se que caso alguma prática fosse realizada para adequar os teores destes nutrientes, segundo os resultados da amostragem convencional, ela seria feita de forma excessiva em algumas regiões e deficiente em outras, para os micronutrientes, quando comparados com os resultados da cafeicultura de precisão. Este resultado evidencia a importância da cafeicultura de precisão para o gerenciamento das lavouras.

#### 4 CONCLUSÕES

Por meio de geoestatística foi possível identificar e quantificar a dependência espacial de todas as variáveis avaliadas.

A amostragem em malha proposta pela cafeicultura de precisão mostrou-se mais eficaz em relação ao método convencional na identificação de desordens nutricionais nas plantas, para as três épocas.

Para identificar a variabilidade espacial dos micronutrientes avaliados, recomenda-se a retirada de amostras a cada 51,75 metros.

#### 5 AGRADECIMENTOS

À Capes e ao engenheiro agrônomo Eric Miranda Abreu, proprietário da Fazenda Brejão.

#### 6 REFERÊNCIAS

- ALVES, E. A. et al. Cafeicultura de precisão. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 189-223.
- ALVES, M. C. et al. Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry borer and leaf miner in a coffee agroecosystem. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 10, n. 12, p. 1-14, Dec. 2009.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Ed. UNISINOS, 2003. 165 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de precisão**. Brasília, DF, 2013. 36 p.

- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, L. C. C. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e características agronômicas da cultura do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 265-275, jul./set. 2013.
- FERRAZ, G. A. S. et al. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 59-67, jan./abr. 2012a.
- \_\_\_\_\_. Geostatistical analysis of fruit yield and detachment force in coffee. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 13, n. 1, p. 76-89, Jan. 2012b.
- \_\_\_\_\_. Variabilidade espacial da dose de P<sub>2</sub>O e K<sub>2</sub>O para adubação diferenciada e convencional em lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 346-356, jul./set. 2015.
- \_\_\_\_\_. Viabilidade econômica do sistema de adubação diferenciado comparado ao sistema de adubação convencional em lavoura cafeeira: um estudo de caso. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 5, p. 906-915, set./out. 2011.
- FROGBROOK, Z. L. et al. Exploring the spatial relations between cereal yield and soil chemical properties and the implications for sampling. **Soil Use and Management**, Oxon, v. 18, n. 1, p. 1-9, Feb. 2002.
- GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**. Piracicaba: Ed. FEALQ, 2002. 305 p.
- MALAVOLTA, E. et al. Micronutrientes e metais pesados: essencialidade e toxidez. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Ciência, agricultura e sociedade**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2006. p. 117-154.
- \_\_\_\_\_. **Seja doutor do seu cafezal**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. (Arquivo do Agrônomo, 3). Encarte técnico.
- MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 617-639, June 1986.
- MULLA, D. J.; MCBRATNEY, A. B. Soil spatial variability. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC, 2000. p. A321-A352.
- OLIVEIRA, R. B. et al. Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conilon. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 176-186, jan./mar. 2008.
- \_\_\_\_\_. Variabilidade espacial do estado nutricional do cafeeiro canephora visando o manejo localizado. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 190-196, set./dez. 2010.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <<http://www.Rproject.org/>>. Acesso em: 24 mar. 2014.
- RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR a package for geostatistical analysis. **R-News**, New York, v. 1, n. 2, p. 14-18, June 2001.
- SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 401-407, mar./abr. 2007.
- \_\_\_\_\_. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, jan./fev. 2008.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Relação espacial entre o estoque de nutrientes e a densidade de solo cultivado com cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 4, p. 377-384, out./dez. 2013.
- VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Oakland, v. 51, n. 1, p. 1-75, 1983.
- \_\_\_\_\_. 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.