

# MAPEAMENTO DA PRODUTIVIDADE DO CAFEIRO A PARTIR DE MODELOS MATEMÁTICOS DE PREVISÃO DE SAFRA

Hélio Gallo Rocha<sup>1</sup>, Adriano Bortolotti da Silva<sup>2</sup>, Denismar Alves Nogueira<sup>3</sup>,  
José Messias Miranda<sup>4</sup>, José Ricardo Mantovani<sup>5</sup>

(Recebido: 10 de maio de 2015; aceito: 31 de julho de 2015)

**RESUMO:** Estimar corretamente a produção futura da safra de café auxilia os setores públicos e privados, na tomada de decisão em diversos âmbitos do planejamento e evitam especulações com esta “commodity”, que podem afetar negativamente o setor. Objetivou-se avaliar o uso da geoestatística aplicada à estimativa de safra em dois modelos matemáticos, que utilizaram como parâmetros índices fenológicos na cultura do café (*Coffea arabica* L.). O experimento foi realizado em área de 1 ha, com a cultivar de café Catuai Vermelho IAC-144, idade de 5 anos. Nesta área, foram coletados 50 pontos amostrais. A estimação de produção e a obtenção da produção real ocorreram no ano de 2013. Procedeu-se à análise das diferenças (resíduos) entre a produção observada (PO) e a produção pelos modelos estimadores, propostos por: Fahl et al. (2005) (M1) e Miranda, Renato e Silva (2014) (M2). Para estimar o semivariograma teórico, foi utilizado o método dos quadrados mínimos ordinários. Nas condições nas quais esta pesquisa foi conduzida, pode-se afirmar que todos os atributos apresentaram dependência espacial, sendo possível a distinção entre áreas com maior e menor variabilidade, observadas através dos mapas de krigagem. Pela análise da estatística descrita e geoestatística, foi possível verificar que o modelo M2 demonstrou ser superior ao M1, podendo ser empregado para estimativa de produtividade de safra do cafeeiro por produtores e empresas que comercializam no mercado futuro.

**Termos para indexação:** Estimativa de safra, geoestatística, krigagem.

## COFFEE PRODUCTIVITY MAPPING FROM MATHEMATICAL MODELS FOR PREDICTION OF HARVEST

**ABSTRACT:** Correctly estimate coffee harvests assist public and private sectors in decision making in various areas of planning and avoid speculation with commodity that negatively affect the industry. The present work aimed to evaluate the use of geostatistics applied to harvest estimate two models using parameters such as phenological indices in the culture of coffee (*Coffea arabica* L.). The experiment was carried out in an area of one hectare cultivated with Red Catuai IAC-144, 5 years-old plants. 50 points of data were collected within this area. Data collection for the estimation models and obtaining the actual production occurred respectively in the months of March and May 2013. Then, the analysis of the residues was done between the observed (PO) and the estimate models, proposed by: Fahl et al. (2005) (M1) and Miranda, Renato and Silva (2014) (M2). The minimum ordinary squares method was used estimate the theoretical semi variation. After being selected and validated, the model became the plot map of estimated by ordinary kriging. Considering the assumptions this research was conducted, it can be affirmed that all attributes presented spatial dependency, allowing distinction between areas of high and low variability observed in kriging maps. Using descriptive statistical analysis and geo-statistics, it was possible to verify that M2 mathematical model presented more accurate estimates than M1, thus being the best choice for estimating coffee productivity harvest conducted by coffee producers and companies that trade this commodity in future markets.

**Index terms:** Forecast harvest, geostatistics, kriging.

### 1 INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos agrícolas de nossa exportação, agregando considerável volume de recursos à balança comercial nacional, com relevante influência nos aspectos sociais, econômicos e no agronegócio do País. A estimativa de safra do café no Brasil é muito influenciada por especulações no mercado interno e no mundo sem embasamento científico, influenciando diretamente no preço da

“commodity”, afetando negativamente a cadeia produtiva do agronegócio (ASSAD et al., 2007). Estas estimativas, juntamente com a agricultura de precisão, podem apoiar o cafeicultor, com relação à produtividade esperada e às empresas que comercializam café em larga escala, na previsão da produção das diferentes regiões cafejeiras e nas tendências de variação de preço do mercado futuro.

Estas ferramentas podem auxiliar o produtor no gerenciamento da propriedade rural,

<sup>1</sup>Instituto Federal do Sul de Minas/IFSULDEMINAS - Campus Muzambinho - Estrada de Muzambinho, km 35 - Bairro Morro Preto - Cx. Postal 02 - 37890-000 - Muzambinho - MG - helio.rocha@muz.ifsuldeminas.edu.br

<sup>2,4,5</sup>Universidade José do Rosário Vellano/UNIFENAS - Rod. MG 179, Km 0 - Campus Universitário - 37.130-000 - Alfenas MG - adriano.silva@unifenas.br, jose.miranda@unifenas.br, mantovanijr@yahoo.com

<sup>3</sup>Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL - Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700 - Centro - 37.130-000 - Alfenas - MG denisnog@gmail.com

levando-se em conta a variabilidade espacial e temporal da cultura e seus fatores, racionalizando o uso de insumos com a diminuição dos custos e do impacto ambiental e ainda fazer parte de trabalhos específicos para a cafeicultura de precisão, mapeando a produtividade da cultura do café (ALVES et al., 2011; FERRAZ et al., 2012a). Apesar de existirem alguns estudos relacionados à previsão de safra na cultura do café, ainda não se tem um consenso sobre a melhor metodologia a ser empregada. Isto é devido, basicamente às características da cultura do café, como a existência de bianualidade, a produção ser afetada pelas condições climáticas e do solo, estado fisiológico da lavoura, arquitetura das plantas, espaçamentos de plantio, bem como ao potencial produtivo das diferentes cultivares, o que dificulta o estabelecimento de um modelo de previsão de safra.

Os modelos de estimativa de safra podem utilizar parâmetros agrometeorológicos de monitoramento e de quebra de produtividade do cafeeiro (SILVA et al., 2011). Nunes et al. (2010) equacionaram modelos fenológico-agrometeorológicos, relacionando condições ambientais e fenologia do estágio floração-maturação de diferentes cultivares de cafeeiro. Miranda, Reinato e Silva (2014) apontam a necessidade de se buscar um método simples e preciso para a estimativa de produção do cafeeiro, em nível de talhão, levando-se em consideração características fenológicas do cafeeiro e cultivares de diferentes portes.

Outro fator a ser levado em consideração, na previsão de safra, seria o emprego da geoestatística, que é uma ferramenta utilizada pela agricultura de precisão, auxiliando na composição de mapas temáticos com capacidade de espacializar as diferenças de diversos atributos, entre eles o produtivo, encontradas dentro de áreas cafeeiras (FERRAZ et al., 2012b).

Objetivou-se, no presente trabalho, comparar dois modelos de estimativa de safra e empregar a geoestatística para estudar a distribuição espacial dos erros de predição destes modelos, em área produtiva de café no sudoeste de Minas Gerais.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no Sítio Córrego das Pedras, Município de Nova Resende, situada na Região Sudoeste de Minas Gerais, sendo georreferenciada pelas seguintes coordenadas

geográficas: 21°11'02" de latitude Sul, 46°21'42" de longitude Oeste, a altitude de 1.001 metros (Datum SIRGAS2000). A classificação climática de Köppen é do tipo CWb, com as seguintes características: clima temperado com inverno seco e verão quente (SÁ JÚNIOR, 2012). O Município de Nova Resende possui uma Estação Meteorologia (modelo Vantage Pro2), apresentando, no período de 2010 a 2013, pluviosidade média de 35 mm mês<sup>-1</sup> (inverno) e de 241 mm mês<sup>-1</sup> (verão) com precipitação concentrada no verão. A temperatura média invernal é de 18°C e de 21,7 °C, para o verão.

O experimento foi realizado em área de 1 ha, com a cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L., cv. Catuai Vermelho IAC-144), idade de 5 anos, plantadas no espaçamento 2,5 x 2,0m, totalizando 2.000 plantas ha<sup>-1</sup>. A condução da lavoura foi realizada com as melhores práticas agrônômicas, sendo que a adubação foi feita, a partir de análise de solo. O controle de plantas daninhas, doenças e pragas foram efetuados de acordo com a necessidade.

Nesta área, foram coletados 50 pontos amostrais, sendo que cada ponto foi definido como parcela. Cada parcela foi composta por seis (6) plantas. As parcelas foram distanciadas entre si, no espaçamento de 10 metros, referente ao intervalo de 4 ruas, por 15 a 20 metros, dentro da linha de plantio.

Todas as parcelas foram georreferenciadas no meio das seis plantas, com a técnica Stop & GO, por um período de cinco minutos, com GPS Topográfico da marca TechGeo, modelo GTR-ABT, com recepção e gravação dos código C/A e portadora L1, com precisão diferencial de 0,5 cm + 1ppm, fixado em haste com dois metros e meio de altura. Os dados foram pós-processados com o uso do software GTR Processor, versão 2.9 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2013). Foram empregados dois modelos matemáticos de estimativa de safra, sendo denominados de M1 e M2. O modelo M1 baseou-se na metodologia de Fahl et al. (2005), onde foram contados os frutos de dez ramos, sendo cinco ramos de cada lado da planta. Os ramos foram selecionados ao acaso, na parte mediana da planta. Em cada um dos dez ramos foram contados os frutos do 4° e 5° internódios produtivos, contados a partir do ápice dos ramos plagiotrópicos.

A metodologia consiste no produto da média do número de frutos, multiplicado pelo dobro da altura média das plantas, multiplicado pelo comprimento em metro de linha de café por

hectare, obtém-se a estimativa de produção, em sacas  $ha^{-1}$ , observada na equação (1)

O modelo M2 é a metodologia proposta por Miranda, Reinato e Silva (2014), onde selecionam-se seis ramos ao acaso, das três partes da planta: terço superior (copa), mediano e inferior (saia). A contagem de frutos é a mesma nos ramos, e é procedida conforme descrito em Fahl et al. (2005). O índice fenológico M2 foi obtido pela equação (2).

$$M1 = (A \times 2) \times MFM \times CML \quad (1)$$

$$M2 = \left[ \frac{(\pi \times D^2 \times A)}{4} \right] / 2 \times MF \times CML \quad (2)$$

em que:  
 M1 e M2 - Índices fenológicos produtivo de um hectare de café;  
 MFM - Média de frutos presentes no 4º e 5º nós produtivos a partir do ápice, dos ramos plagiotrópicos, presentes no terço médio do cafeeiro;  
 MF - Média de frutos presentes no 4º e 5º nós produtivos a partir do ápice, dos ramos plagiotrópicos;  
 A - Altura média das plantas de cada parcela em metros;  
 D - Diâmetro médio das plantas da parcela, medido na altura da saia;  
 $\pi$  - Número irracional de valor aproximado e fixo igual a 3,14;  
 CML - Comprimento (m) de linha de cafeeiro por hectare obtido pela divisão de 10.000 pelo espaçamento (m) entre linhas das plantas.

Para ambas as estimativas de produção, foram contados os frutos e efetuadas as medidas da altura e do diâmetro de cada planta de café, no mês de fevereiro de 2013. Nesta oportunidade, a parcela foi georreferenciada.

A Produção Observada (PO) foi obtida a partir da produtividade média, em litros de café. planta<sup>-1</sup>. A colheita foi obtida pela derriça manual das plantas de cada parcela, no mês de junho de 2013. Estimou-se o resultado da produtividade em sacas de café beneficiado por ha, sendo realizado o cálculo do rendimento.

Para este cálculo, foi separado um litro de café por parcela, totalizando 50 litros na área total.

Procedeu-se à mistura dos 50 litros e separou-se uma amostra de 10 litros. A amostra foi colocada para secar em terreiro (secagem natural), sendo coberta com lona plástica ao anoitecer, até atingir umidade próxima a 11% de base úmida. Procedeu-se ao beneficiamento das amostras, utilizando-se o descascador de amostras. Após o beneficiamento, foi realizada a pesagem da amostra, em balança com precisão de 0,1g, bem como medida a umidade dos grãos (Agrologic, modelo AL-102 ECO). Com os dados de peso e umidade da amostra, fez-se o cálculo do rendimento de grãos, o qual foi convertido para sacas de café beneficiado por ha.

Os modelos e a produção observada foram analisados por meio da estatística descritiva, coeficiente de correlação de Pearson, teste da normalidade de Shapiro-Wilk dos dados e busca de candidatos a *outliers*. Foram analisadas a média dos resíduos calculadas a partir da diferença entre os modelos de estimativa de safra (M1 e M2) e a PO, resultando, respectivamente em R-M1 e R-M2. Calculou-se o Erro Percentual Absoluto Médio (EPAM), de acordo com a metodologia utilizada por Oliveira, Berbert e Martinazzo (2013), com 5% de significância.

Após a realização da estatística descritiva dos dados, realizou-se análise exploratória espacial, utilizando-se metodologia da geoestatística, através do gráfico Box Plot e os gráficos de dispersão dos dados (MELLO et al., 2005). Com a finalidade de detectar presença de anisotropia, calcularam-se semivariogramas direcionais para 0°, 45°, 90° e 135°, em relação ao norte, que foram comparados com o semivariograma isotrópico (ROSSONI; LIMA; OLIVEIRA, 2014).

Após este processo, fez-se o primeiro ajuste do semivariograma teórico ao experimental, denominado de ajuste “a sentimento”. A partir dos valores estruturais do semivariograma ajustado foi utilizado o método dos quadrados mínimos ordinários (OLS – *Ordinary Least Squares*) (MELLO et al., 2005), posteriormente, procedeu-se à interpolação de dados através da Krigagem (ANDRIOTTI, 2003).

Os procedimentos da estatística descritiva e da geoestatística foram processados através do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014), por meio de biblioteca geoR (RIBEIRO JUNIOR; DIGGLE, 2001).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estimativas de produtividade pela metodologia M1 e M2, bem como a produtividade

observada e os parâmetros da estatística descritiva estão apresentados na Tabela 1. De acordo com as análises, os valores de desvio padrão, variaram de 21,11 - 28,25 sacas.ha<sup>-1</sup> para M1 e M2, bem como para a produção observada PO (Tabela 1).

A produtividade média, expressa em sacas BN ha<sup>-1</sup>, na comparação dos estimadores de safra futura (M1 e M2) com a produção observada (PO), verificou-se que o estimador M1 superestimou a produção em 31,81 sacas.ha<sup>-1</sup> (R-M1), enquanto M2, superestimou a produção em 7,71 sacas BN.ha<sup>-1</sup> (R-M2), conforme Tabela 1. O valor estimado de produção (69,98 sacas BN.ha<sup>-1</sup>) foi mais próximo da média da produção observada (62,27 sacas BN.ha<sup>-1</sup>) quando empregou-se o modelo M2. Os valores do Erro Percentual Absoluto Médio (EPAM) foram de 65% e 31% para R-M1 e R-M2, respectivamente. O EPAM é uma medida de erro relativa que informa a porcentagem média absoluta de erro, em relação aos valores observados, ou seja, quanto menor o valor de EPAM, melhor será o ajuste do modelo preditivo, sendo que, no presente trabalho, o modelo M2, representado por R-M2, apresentou o melhor ajuste (Tabela 1).

A produtividade média da região Sul de Minas Gerais está em torno de 21 sacas ha<sup>-1</sup> (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014), entretanto, a produtividade pode variar muito de acordo com o nível tecnológico empregado em cada lavoura, bem como a variedade, espaçamento de plantio e idade da lavoura, atingindo produtividades superiores a 40 sacas ha<sup>-1</sup> na cafeicultura de alta tecnologia (CARVALHO et al., 2012).

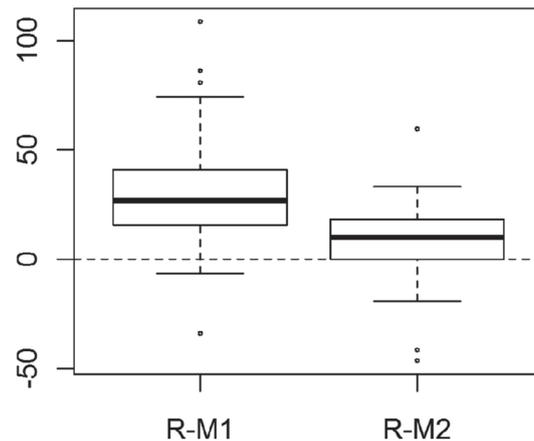
No presente trabalho, pode-se observar que a produtividade foi alta apresentando 62 sacas ha<sup>-1</sup> (Tabela 1), sendo este resultado obtido no ano de alta produtividade. Vale ressaltar que, esse valor de produtividade não está levando em consideração o fator bianualidade típica da lavoura cafeeira, ou seja, nos trabalhos que relatam a produtividade em lavouras de café, geralmente são realizadas a média de, pelo menos, duas safras (CARVALHO et al., 2012; LIMA et al., 2008), sendo uma no ano de alta e outra no ano de baixa produtividade.

Na Figura 1, apresenta-se o gráfico de Box Plot da variável residual de M1 (R-M1) e de M2 (R-M2). Observa-se que a variável R-M1 tem 50% de seus valores entre 16 e 40 sacas de café BN.ha<sup>-1</sup>, mediana próxima à média, e leve assimetria para a direita. Para a variável residual de M2 (R-M2) observa-se, nesta representação gráfica que esta tem 50% de seus valores entre 0 e 20 sacas de café BN.ha<sup>-1</sup>, o valor da mediana mais próximo da média, indicando distribuição simétrica de comportamento normal, confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk (Tabela 1). Como as variáveis analisadas representam o resíduo entre os modelos M1, M2 e PO, pode-se inferir que valores em torno de zero são desejáveis, indicando um melhor ajuste. Sendo assim, o modelo de estimativa de safra M2, a qual R-M2 representa, proporcionou melhor ajuste ao observado (PO). Para variável residual de M1 (R-M1) foi verificado que esta não se distribui como uma normal (Tabela 1), entretanto, a geoestatística, não exige normalidade destes para ser aplicada (MELLO et al., 2005).

**TABELA 1** - Análise estatística descritiva dos modelos através da média de produtividade em sacas BN.ha<sup>-1</sup>, desvio padrão, coeficiente de correlação de Pearson, Estatística do teste de Shapiro-Wilk e erro percentual absoluto médio (EPAM).

Estimadores	M1	M2	PO	R-M1 (PO-M1)	R-M2 (PO-M2)
Média (sacas BN ha <sup>-1</sup> )	94,08	69,98	62,27	31,81	7,71
Desvio Padrão	28,25	22,20	21,11	25,43	18,59
Correlação (valor - p)	0,5 (0,0003)*	0,63 (<0,0001)*	-----	-----	-----
Shapiro-Wilk (valor -p)	0,0312*	0,1244ns	0,1026ns	0,0490*	0,0638ns
EPAM (%)	-----	-----	-----	65,01	30,60

Estimativa de produção pela metodologia de Fahl et al. (2005) (M1); Miranda, Renato e Silva (2014) (M2); produção observada (PO); correlação entre os modelos (M1;M2) e PO; ns: não significativo;\*: significativo a 5% , resíduo de M1 e M2 (R-M1 e R-M2)



**FIGURA 1-** Box Plot de R-M1 e de R-M2. Pontos representam candidatos a *outliers*. Linha tracejada representa o valor zero.

Na observação da anisotropia, faz-se necessário considerar os parâmetros das direções no cálculo das semivariâncias (MELLO et al., 2005). Na Figura 2 AB, estão representados, respectivamente, os semivariogramas direcionais das variáveis R-M1 e R-M2. Para maior clareza da análise, foram representados na figura apenas as direções que apresentaram dependência espacial expressiva. Diante disso, observou-se semelhança entre os semivariogramas direcionais e o isotrópico para as duas variáveis e, portanto, assumiu-se isotropia.

O ajuste do semivariograma teórico ao experimental, procedeu-se com o uso do método dos quadrados mínimos ordinários (OLS) (MELLO et al., 2005), a partir dos cálculos das semivariâncias das variáveis R-M1 e R-M2. A análise variográfica constatou que as variáveis apresentam estrutura espacial com semivariância de comportamento modelável. Na Tabela 2, encontram-se o efeito pepita, patamar, alcance e modelo, os quais foram usados para a modelagem e elaboração dos mapas de krigagem.

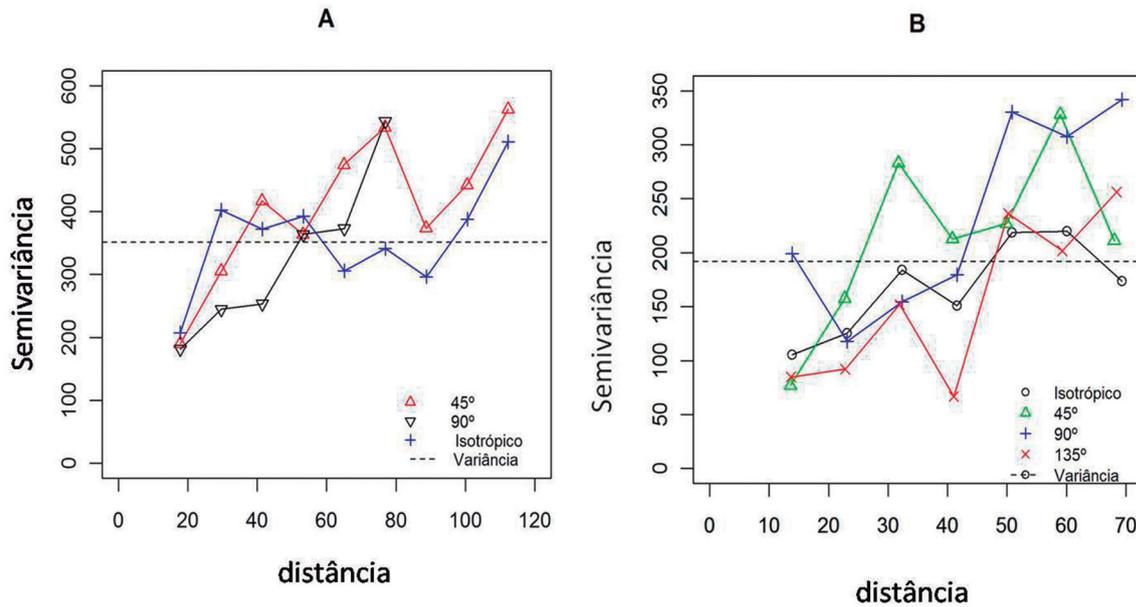
Nas Figuras (3A) e (3B), os semivariogramas teóricos (linha contínua) estão ajustados aos experimentais (pontos), sendo complementados pela variância (linha tracejada), respectivamente para as variáveis R-M1 e R-M2.

Os semivariogramas apresentaram patamar para R-M1 e R-M2, sendo que, em ambos os casos, o patamar ficou abaixo da linha de variância (Figura 3AB). Quanto menor for o efeito pepita do semivariograma, menor será a variância da estimativa. Mais precisamente, quanto menor for a proporção do efeito pepita para o patamar

do semivariograma, maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa ou maior a confiança que se pode ter na estimativa (ANDRIOTTI, 2003). Em ambos os modelos, no presente estudo, observou-se uma diferença acentuada entre o efeito pepita e o patamar, indicando confiança na estimativa (Tabela 2 e Figura 3 AB), sendo importante fator na estimativa da krigagem.

A krigagem estima valores da variável em locais não amostrados, sendo representada pelas regiões em cinco tons de cinza, agrupados pelos quintiles, variando do branco ao negro, indicando a variação das regiões de valores residuais inferiores para superiores. As linhas de contorno auxiliam na leitura, pois apresentam os valores da krigagem para as zonas de transição entre as classes. Os pontos representam a localização georreferenciada da parcela. Para a variável, valores negativos indicam locais onde o modelo de estimativa de safra subestimou e valores positivos quando superestimou, sendo desejável valores próximos do zero.

Seguindo esta orientação, pode-se observar que a krigagem da variável R-M1 (Figura 4A) apresentou maior variabilidade espacial do que a krigagem da variável R-M2 (Figura 4B). Observou-se, ainda que as duas variáveis apresentaram um padrão de krigagem entre regiões de maior e menor resíduos, mas de forma geral, a variável R-M1 (Figura 4A) apresentou regiões de menor valor residual (áreas brancas), concentradas numa pequena área localizada na região sul do mapa de krigagem.

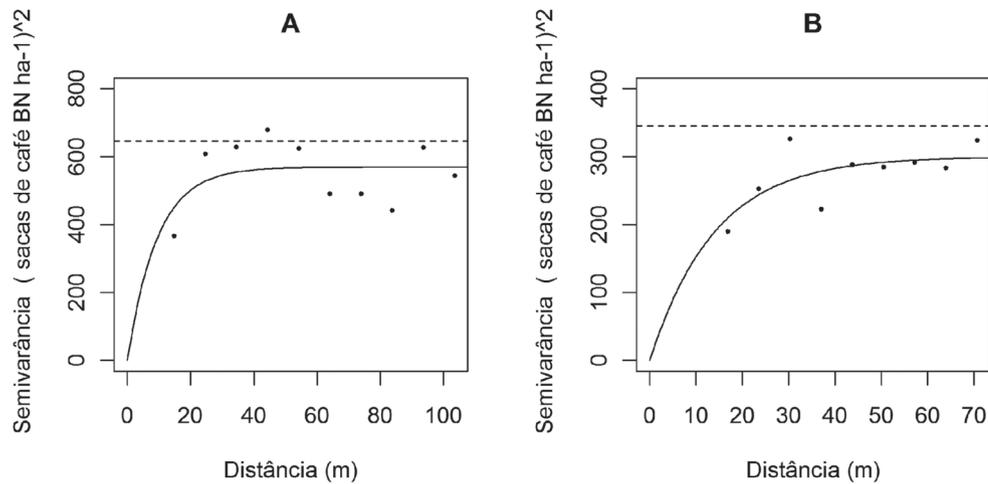


**FIGURA 2** - Semivariograma Anisotrópico para as quatro direções 0°, 45°, 90° e 135° juntamente com o semivariograma isotrópico (pontos ligados por linha contínua) de: (A) R-M1; (B) R-M2.

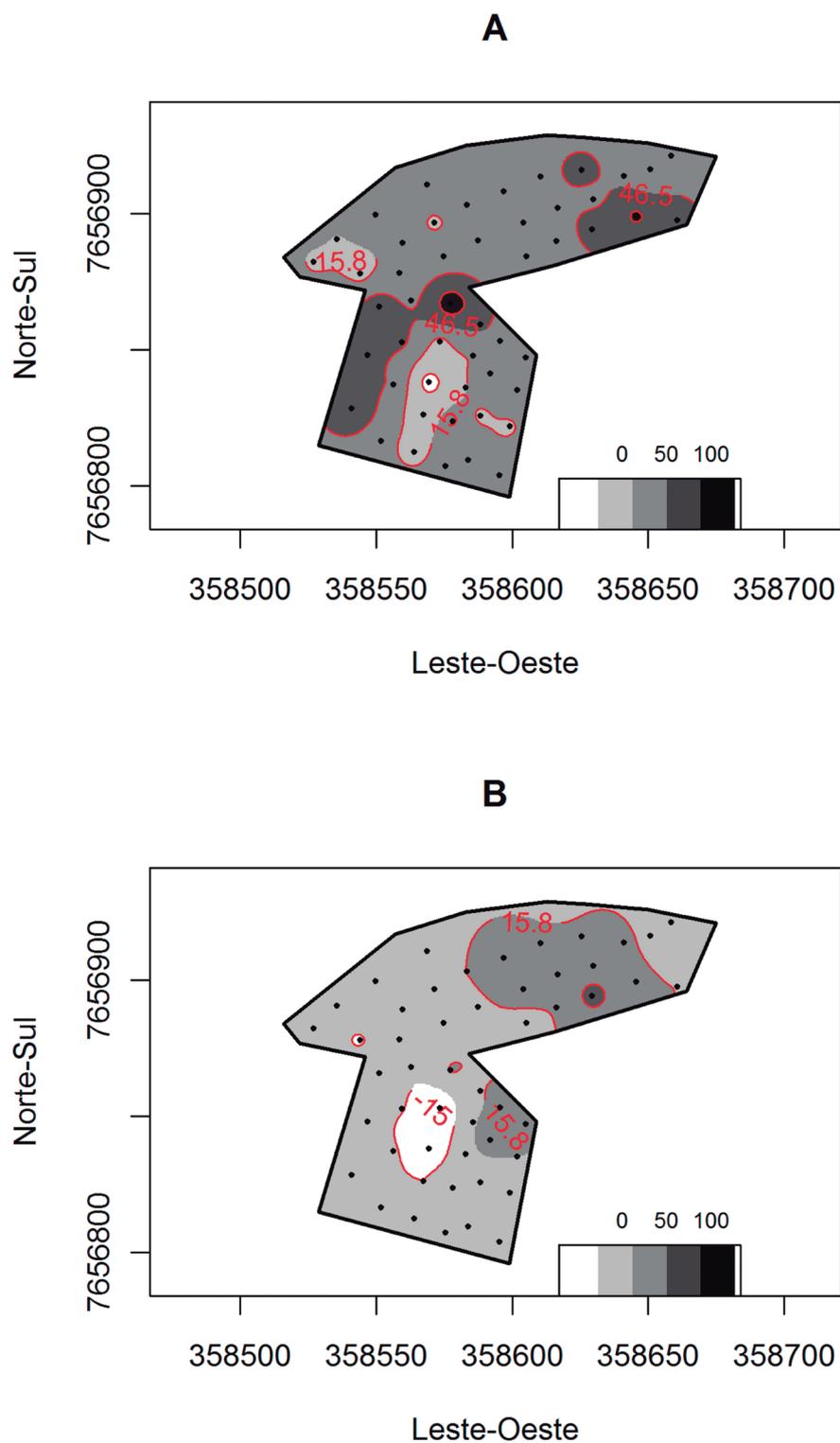
**TABELA 2** - Estimativa dos parâmetros estruturais dos semivariograma teóricos ajustados aos semivariogramas experimentais por OLS, modelo Matern, das variáveis R-M1 e R-M2.

Modelo de estimativa	Efeito Pepita <sup>(1)</sup>	Patamar <sup>1)</sup>	Alcance (m)
R-M1	0,00	569	28
R-M2	0,00	310	45

<sup>(1)</sup>unidade da variável ao quadrado



**FIGURA 3** - Semivariogramas teóricos ajustados por OLS (linha contínua) aos experimentais (pontos) e a variância (linha tracejada): (A) R-M1; (B) R-M2.



**FIGURA 4** - Mapa da krigagem, em sacas de café BN ha<sup>-1</sup>: (A) variável R-M1; (B) variável R-M2. A localização dos pontos amostrais indicados pelos pontos. Linhas de contorno com valores do desvio padrão da krigagem, divididos em cinco classes.

A variável R-M2 (Figura 4B) apresentou maior área com valores residuais em torno de zero, observados nas regiões em tons de cinza claro, indicando que o modelo R-M2 apresenta melhor estimativa, quando comparado ao modelo R-M1 (Figura 4 AB). Este comportamento observado foi basicamente devido ao menor erro percentual absoluto médio (EPAM), observado em R-M2 (30,60%), quando comparado ao modelo R-M1 (65,01%) (Tabela 1). Outro fator que contribuiu para este resultado foi alcance (A), Tabela 2, com valor de 45 metros, indicando maior homogeneidade da previsão do modelo M2 que, por consequência, foi menos influenciado por fatores externos ligados à arquitetura da planta, quando comparados com M1, que apresentou menor alcance e maior variabilidade da previsão (Tabela 1 e 2).

A agricultura de precisão e a geoestatística, como ferramenta no estudo da variabilidade espacial, auxiliam o cafeeiro na previsão de sua safra, bem como indicam regiões na sua área, onde ocorreram variações no comportamento produtivo das plantas (Figura 6B). O mapa ainda pode orientar a tomada de decisão, direcionando as próximas análises de solo, corrigindo problemas relacionados com adubação, controle de pragas e doenças, podendo tornar a atividade mais competitiva (CARVALHO et al., 2004; FERRAZ et al., 2012a; LIMA et al., 2013).

Miranda, Renato e Silva (2014), comparando três estimadores de safra, em diferentes cultivares de café, relataram que o seu modelo matemático, descrito no presente trabalho como M2, foi mais eficiente que os demais, inclusive ao proposto por Fahl et al. (2005). No mesmo trabalho, os autores afirmaram que o modelo M2 pode ser empregado para qualquer cultivar de porte alto ou baixo, apresentando melhor ajuste do modelo por levar em consideração um fator importante para avaliar produtividade do cafeeiro, que está relacionado diretamente com sua arquitetura que tem volume de copa variando entre um cilindro para as cultivares de porte alto, até uma pirâmide para as cultivares de porte baixo, sendo esta a principal variação entre os métodos. Isto, provavelmente, contribuiu de maneira decisiva no melhor desempenho de M2, quando comparado a M1, tanto na estatística descritiva como na geoestatística.

## 5 CONCLUSÕES

Nas condições, em que esta pesquisa foi conduzida, pode-se afirmar que:

1. Os atributos produtivos apresentaram dependência espacial, sendo possível a distinção entre áreas com maior e menor variabilidade, observadas através dos mapas de krigagem.

2. Os mapas são úteis no apoio à tomadas de decisão nos locais, onde devem ser realizadas as futuras intervenções na lavoura cafeeira.

3. O modelo M2 apresenta melhor estimativa que o M1 na estatística descritiva, bem como na geoestatística, que estima de forma satisfatória a área estudada, podendo ser empregadas nos trabalhos de previsão de produtividade da safra do cafeeiro, apoiando cafeeiros e empresas que comercializam café no mercado futuro.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C. de et al. Geostatistical analysis of the spatial variation of the berry borer and leaf miner in a coffee agroecosystem. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 12, n. 1, p. 76-89, 2011.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: UNISINOS, 2003. 165 p.
- ASSAD, D. E. et al. Sistema de previsão de safra de soja para o Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 615-625, 2007.
- CARVALHO, A. M. et al. Desempenho agrônomico de cultivares de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 481-487, 2012.
- CARVALHO, L. G. et al. A regression model to predict coffee productivity in Southern Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 204-211, 2004.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. Brasília, 2014. 58 p.
- FAHL, J. I. et al. Desenvolvimento e aplicação de metodologia para estimativa da produtividade do cafeeiro, utilizando as características fenológicas determinantes do crescimento e produção. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília, 2005. 1 CD-ROM.

- 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.
- \_\_\_\_\_. Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 140-150, jan./fev. 2012b.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual do usuário aplicativo online IBGE-PPP**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual\\_ppp.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- LIMA, J. S. S. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 16-23, jan./mar. 2013.
- LIMA, L. A. et al. Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeiras safras irrigado por meio de pivô central em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1832-1842, nov./dez. 2008.
- MELLO, J. M. et al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariogramas visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 69, p. 25-37, dez. 2005.
- MIRANDA, J. M.; REINATO, R. A. O.; SILVA, A. B. da. Modelo matemático para previsão da produtividade do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 353-361, abr. 2014.
- NUNES, F. L. et al. Modelos agrometeorológicos de estimativa da duração do estágio floração-maturação para três cultivares de café arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 1011-1018, dez. 2010.
- OLIVEIRA, M. T. R.; BERBERT, P. A.; MARTINAZZO, A. P. Avaliação de modelos matemáticos na descrição das curvas de secagem por convecção de *Pectis brevipedunculata* (Gardner) Sch. Bip. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 1-12, 2013.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014.
- RIBEIRO JUNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. GeoR, a package for geostatistical analysis. **R-News**, New York, v. 1, n. 2, p. 15-18, June 2001.
- ROSSONI, D. F.; LIMA, R. R.; OLIVEIRA, M. S. Proposta e validação de testes bootstrap para detecção de anisotropia em fenômenos espacial contínuos. **Revista de Estatística**, Ouro Preto, v. 3, n. 2, p. 210-227, 2014.
- SÁ JÚNIOR, A. de et al. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatolog**, Dordrecht, v. 108, n. 1, p. 1-10, Apr. 2012.
- SILVA, S. de A. et al. Modelo agrometeorológico na estimativa da produtividade de duas variedades de café arábica considerando a variabilidade espacial. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 1-10, jan./mar. 2011.