

# ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA FORÇA DE DESPRENDIMENTO DOS FRUTOS DO CAFEIEIRO SOB PIVÔ CENTRAL

Vanessa Castro Figueiredo<sup>1</sup>, Gabriel Araújo Silva Ferraz<sup>2</sup>, Fabio Moreira da Silva<sup>3</sup>,  
Fagner Goes da Conceição<sup>4</sup>, Luis Carlos Cirilo Carvalho<sup>5</sup>

(Recebido: 10 de junho de 2016; aceito: 19 de setembro de 2016)

**RESUMO:** Devido à importância do café para a economia do Brasil e o aumento de áreas mesmo em regiões que apresentam déficits hídricos ao longo do ano, faz-se necessário estudar os fatores envolvidos na sua produção, com destaque para a colheita mecanizada e seletiva, pois nesta fase os cafeicultores encontram dificuldades em determinar o momento adequado de iniciar. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a variação espacial da força de desprendimento dos frutos de café (verde e cereja) sob pivô central, por meio de métodos geoestatísticos, análise de semivariograma e interpolação por krigagem, visando uma melhor gestão para a colheita do café. A coleta de dados foi realizada na Fazenda São João Grande, em Presidente Olegário/MG, em um pivô de 50,0 ha. A cultivar utilizada foi a “Catuai Vermelho IAC 144”, plantada de forma circular em dezembro de 2000, no espaçamento 4,0 x 0,5 m. Utilizou-se uma grade amostral com 100 pontos georreferenciados em que cada ponto correspondia a 4 plantas. A determinação da força de desprendimento foi realizada por meio de um dinamômetro digital em cada ponto de amostragem. O estágio verde de maturação apresentou força de desprendimento superior ao cereja. Os semivariogramas e a krigagem possibilitaram caracterizar a variabilidade da força de desprendimento entre os frutos estudados. Os mapas de krigagem possibilitam aos agricultores a escolha do melhor local e momento certo para iniciar a colheita mecanizada e seletiva do café e consequentemente, melhoria na qualidade final do produto e nos lucros.

**Termos para indexação:** Cafeicultura, mapas temáticos, georreferenciamento, *Coffea arabica*

## ANALYSIS OF SPATIAL VARIABILITY OF FORCE DETACHMENT OF COFFEE FRUITS IN CENTRAL PIVOT

**ABSTRACT:** Due to the importance of coffee to the economy of Brazil and the increase of areas even in zone with water deficits during the year, it is necessary to study the factors involved in its production, especially for mechanized and selective harvesting. At this stage coffee farmers find it difficult to determine the appropriate time to start. This research was carried out to evaluating the spatial variation of force detachment of the coffee fruits (green and cherry) under center pivot through geostatistical methods, semivariogram analysis and kriging interpolation, to improve management for harvest mechanical and selective coffee. The test was carried out at Farm Sao Joao Grande, in Presidente Olegario/MG, in a pivot 50.0 ha. The cultivar used was the “Catuai Vermelho IAC 144”, planted in a circular way in December 2000, spaced 4.0 x 0.5 m. The sampling grid was irregular with 100 points georeferenced where each point corresponds to 4 plants. The determination of force detachment was conducted using a digital dynamometer at each sampling point. Within the maturation stages, green fruits presented detachment force greater than the cherry. The semivariogram and kriging allowed to characterize the variability of force detachment between the studied fruits. The kriging maps make it possible to farmers the choice the best place and the right time to start harvest mechanized and selective coffee and consequently, improved final product quality and profits.

**Index terms:** Coffee, thematic maps, georeferencing, *Coffea arabica*.

### 1 INTRODUÇÃO

O café é uma cultura de grande importância para a economia brasileira (SILVA et al., 2015), além disso, é considerado, de acordo com Trabaquini et al. (2010), a base econômica de muitos municípios e regiões do país, porém seu cultivo apresenta um alto custo de produção (RIBEIRO et al., 2009).

Com o aumento das áreas cultivadas com café, mesmo em regiões que apresentam déficits hídricos ao longo do ano e a baixa disponibilidade de mão de obra na área, os cafeicultores vêm implantando lavouras cafeeiras altamente tecnificadas.

No Brasil, o sistema de irrigação por pivô central tem expandido e o plantio cafeeiro de forma circular tem sido uma opção que permite a utilização de pivôs que aplicam a água localizada sobre a fileira de plantas.

Estas áreas sob pivô central geralmente são grandes, necessitando de uma melhor eficiência na atividade e a força de desprendimento dos frutos tem sido um parâmetro útil para esta atividade, garantindo qualidade do produto devido à melhor regulação de equipamentos de colheita mecânica e seletiva.

Silva et al. (2010) observaram diferença da força de desprendimento dos frutos verdes e cerejas entre cultivares e ao longo do período

<sup>1,2,3,4,5</sup>Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia Agrícola/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG  
vcfigueiredo.agro@gmail.com, gabriel.ferraz@deg.ufla.br, famsilva@ufla.br, desenho.fg@gmail.com, lccc.87.ufla@hotmail.com

de maturação. Ainda segundo os autores, essa diferença na força entre os estádios de maturação verde e cereja pode ser um parâmetro para o gerenciamento da colheita mecanizada.

Uma das maiores dificuldades dos produtores é determinar o momento adequado de iniciar a colheita, em razão do formato da planta, da desuniformidade de maturação e do elevado teor de umidade dos frutos, o que prejudica a mecanização das operações, devido à remoção do fruto ser por vibração (FERRAZ et al., 2012).

A análise espacial pode maximizar os retornos econômicos, fazendo uma gestão agrícola mais eficiente (ALVES et al., 2011). Com mapas de variação espacial da força de desprendimento dos frutos, por exemplo, os agricultores podem identificar as áreas onde a colheita deve ser iniciada (FERRAZ et al., 2012).

A Geoestatística é uma importante ferramenta para análise de dados espaciais, estudo das variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis com condicionamento espacial e conhecimentos que podem ser utilizados na agricultura de precisão (LANDIM, 2006).

Análises geoestatísticas foram usadas em lavouras de café para o estudo da distribuição espacial da infestação de pragas, como a broca e o bicho-mineiro (ALVES et al., 2011), infecções de doenças, como a ferrugem e a cercosporiose (ALVES et al., 2009), atributos físicos do solo e características agronômicas da cultura do café (CARVALHO et al., 2013) da produção de café (SILVA et al., 2007, 2008, 2010), da desfolha da planta durante a colheita (SILVA et al., 2010) e fertilizantes no solo (SILVA et al., 2008).

Krigagem é um método de interpolação da Geoestatística que utiliza a dependência espacial expressa no semivariograma entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima. A condição de não tendência significa que, em média, a diferença entre valores estimados e medidos seja nula, e a condição de variância mínima significa que, embora possam existir diferenças ponto por ponto entre o valor estimado e o medido, essas diferenças são mínimas (BURGESS; WEBSTER, 1980).

Assim, este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial da força de desprendimento dos frutos de café (verde e cereja) sob pivô central, por meio de métodos geoestatísticos, análise de semivariograma e interpolação por krigagem, visando uma melhor gestão para a colheita de café mecanizada e seletiva.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda São João Grande, município de Presidente Olegário, Minas Gerais, em uma área cafeeira de 50,0 ha sob sistema de irrigação por pivô, cujas coordenadas geográficas do centro da área são Latitude 18°32'22.18"S, Longitude 46°21'17.16"O e Altitude de 1057 metros. A cultivar utilizada nas avaliações foi a "Catuai Vermelho IAC 144", plantada de forma circular, em dezembro de 2000, no espaçamento 4,0 m entre ruas e 0,5 m entre plantas, com população média de 5000 plantas por hectare.

Foi utilizada uma grade amostral com 100 pontos georreferenciados em que cada ponto correspondia a 4 plantas: duas plantas localizadas na rua do cafeeiro onde o ponto foi georreferenciado e as outras duas plantas localizadas em cada rua lateral mais próxima ao ponto de referência (Figura 1).

Em cada ponto foi realizada a coleta desta força de desprendimento dos frutos de café de acordo com a maturação (verde e cereja). Esta determinação foi realizada por meio de um dinamômetro digital portátil.

Seu princípio de funcionamento baseia-se no alongamento de uma mola, cujo coeficiente de elasticidade é constante (deformação elástica). A aferição do dinamômetro foi realizada por meio da deformação elástica da mola solicitada por corpos com massas conhecidas, mensurado em balança de precisão. A partir desse procedimento, determinou-se o valor da constante elástica da mola, obtendo-se o valor de 0,008375 N.m<sup>-1</sup>. A determinação dessa força de desprendimento baseia-se na Lei de Hooke, que correlaciona a deformação de corpos, com a força exercida sobre o corpo, tal que a força é proporcional ao deslocamento a partir do seu ponto de equilíbrio (SILVA et al., 2010).

Dez frutos por planta em cada ponto georreferenciado foram coletados, com o dinamômetro, sendo 5 frutos maduros e 5 frutos verdes. Para cada estágio de maturação e em cada planta do ponto amostral georreferenciado, foram coletados 2 frutos no terço superior, 1 fruto no terço médio e 2 frutos no terço inferior da planta.

Os dados levantados em campo foram organizados em planilha eletrônica, para determinar a média, mediana, variância, desvio padrão e coeficiente de variação de todas as repetições da força de desprendimento, dentro de cada estágio de maturação, para, posteriormente, confecção de mapas da variabilidade espacial da força de desprendimento dos frutos.

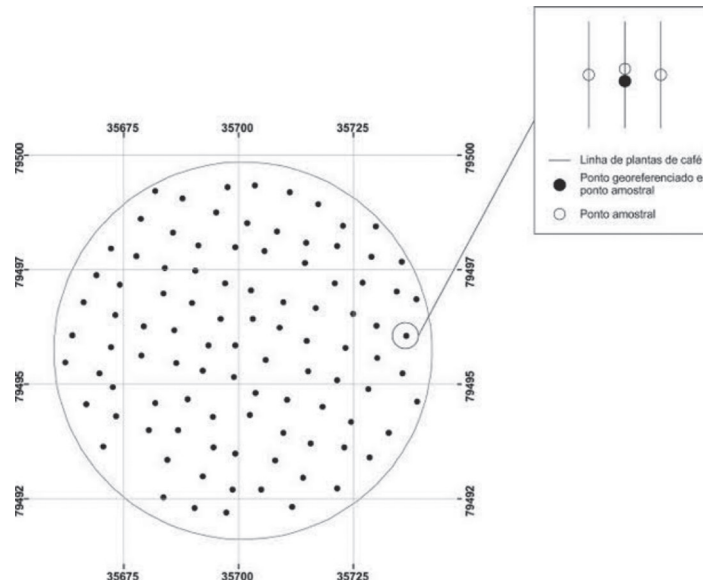


FIGURA 1- Pontos georreferenciados e detalhamento da amostragem.

Para analisar a dependência espacial da força de desprendimento dos frutos foi utilizado o semivariograma o qual é estimado pela equação um:

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

em que  $N(h)$  é o número de pares experimentais de observações,  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  separados por uma distância  $h$ , (CRESSIE, 1993).

O semivariograma é representado pelo gráfico  $\gamma(h)$  versus  $h$ . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\gamma(h)$ , são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma denominado de efeito pepita ( $C_0$ ); patamar ( $C_0 + C_1$ ); e o alcance ( $a$ ), conforme descrito por Bachmaier e Backers (2008). Foi utilizado o método dos mínimos quadrados ponderados e o modelo esférico para os atributos estudados.

Em geral, o modelo de ajuste do semivariograma esférico é o mais utilizado em estudos geoestatísticos segundo afirmam Webster e Oliver (2007) e em estudos aplicados à cultura do cafeeiro (FERRAZ et al., 2012).

Para conhecer a qualidade do ajuste, foi utilizado o grau de dependência espacial dos atributos (GD) como proposto por Cambardella et al. (1994), em que são considerados como dependência espacial forte os semivariogramas com efeito pepita  $< 25\%$  do patamar, moderada entre 25 e 75% e fraca  $> 75\%$ .

Segundo Guimarães (2004), assume-se que sejam conhecidas as realizações  $z(t_1), z(t_2), \dots, z(t_n)$  da variável  $Z(t)$ , nos locais  $t_1, t_2, \dots, t_n$ ; que o semivariograma da variável já tenha sido determinado; e que o interesse seja estimar um valor  $z^*$  na posição  $t_0$ .

$$z^*(t_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(t_i) \quad (2)$$

em que:  $n$  é o número de amostras de  $Z(t)$  envolvidas na estimativa de  $z^*(t_0)$ , e  $\lambda_i$  são os pesos associados a cada valor medido,  $z(t_i)$ .

Guimarães (2004) afirma que se existe a dependência espacial, os pesos  $\lambda_i$  são variáveis de acordo com a distância entre o ponto a ser estimado  $z^*(t_0)$  e os valores  $z(t_i)$  envolvidos nas estimativas. Ocorre a independência espacial, então:  $\lambda_i = 1/n$  e, portanto temos a média aritmética simples.

A melhor estimativa de  $z^*(t_0)$  é obtida quando o estimador é não tendencioso e a variância da  $E \{z^*(t_0) - z(t_0)\} = 0$

estimativa é mínima

$$Var [z^*(t_0) - z(t_0)] = \text{mínimo}$$

Para que  $z^*$  seja uma estimativa não tendenciosa de  $z$ , a soma dos pesos das amostras tem que se igualar a 1  $\sum \lambda_i = 1$ .

Para obter a variância mínima sob a condição de  $\sum \lambda_i = 1$ , introduz-se o multiplicador

de Lagrange para a dedução das equações e o sistema de krigagem resultante

$$\text{é } \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(t_i, t_j) + \mu = \gamma(t_i, t_0), \text{ em que: } \mu$$

é o multiplicador de Lagrange.

A geoestatística incorpora na sua teoria a estrutura de dependência espacial, buscando o melhor ajuste do semivariograma, desta forma fornecendo um preditor espacial ótimo, a krigagem então, permite a confecção de mapas temáticos confiáveis e mais próximos da realidade.

Para Faraco et al. (2008), dentre vários métodos de avaliação de ajustes estudados, a Validação foi o mais adequado para escolha do melhor ajuste do modelo de variabilidade espacial, proporcionando, assim, mapas temáticos mais acurados.

Na autovalidação, tanto a estimação e ajuste de semivariogramas, quanto à comparação por krigagem entre valores preditos e observados são feitas na massa de dados total, sem qualquer divisão (FERRAZ, 2012). Esse método foi utilizado no trabalho.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 refere-se às características de força média de desprendimento dos frutos cerejas, verdes e a diferença entre ambos, para as referidas avaliações. De acordo com os resultados obtidos, observa-se que a força necessária para desprender o fruto verde é maior em relação ao fruto cereja.

A força de desprendimento dos frutos de café cereja foi em média de 2,58 N e coeficiente de variação de 14,95%. Os frutos verdes apresentaram força de desprendimento média de 5,32 N; coeficiente de variação de 25,12%. A diferença entre a força de desprendimento dos frutos verdes e cerejas teve média de 2,73 N com coeficiente de variação de 40,36%.

Resultados encontrados por Ferraz (2012) são semelhantes com os dados encontrados acima, apresentando força de desprendimento do café cereja variando de 4,92 a 8,36 N, com coeficiente de variação de 13,31%. E em relação aos frutos verdes esta força foi de 9,34 a 10,96 N e um coeficiente de variação de 3,44%.

Valores próximos também foram encontrados por Silva (2008), o qual, avaliando

a força média para o desprendimento dos frutos do cafeeiro durante 5 períodos ao longo de uma safra, observou que a força de desprendimento dos frutos verdes na primeira avaliação foi de 7,43 N para a cultivar Mundo Novo; 8,13 N para a Icatu e 7,54 N para a cultivar “Catuaí”. Para os frutos cereja as cultivares “Mundo Novo”, “Icatu” e “Catuaí” apresentaram respectivamente, forças de 5,90 N; 6,71 N e 5,44 N; e coeficiente de variação de 3,72%.

Ainda de acordo com os estudos de Silva (2008), pode ser observado nas 5 avaliações, que a cultivar Icatu apresentou menores valores de força de desprendimento dos frutos cereja no início da safra, o que pode estar relacionado com a sua precocidade. As cultivares “Mundo Novo” e “Catuaí” apresentaram menores forças de desprendimento nos frutos cereja, favorecendo a colheita mecanizada.

Silva et al. (2013) avaliando a força média de desprendimento de 8 progênies (H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7 e H8) observaram na safra de 2008 que as progênies que apresentaram os menores valores de força de desprendimento dos frutos cereja foram (H3), (H6) e (H7), necessitando de 4,83, 6,50 e 5,23 N, respectivamente. A progênie (H4) teve maior valor de força de desprendimento do cereja, necessitando de 10,15 N. Analisando-se a força de desprendimento das progênies (H3), (H6) e (H7), foi possível indicar o início da colheita mecânica e seletiva, afinal, o comportamento da força de desprendimento do cereja relativamente baixa explica a facilidade de derriça.

Esta análise da variabilidade da força de desprendimento dos frutos indica o grau de variação das cultivares de café no local. Os resultados das análises geoestatísticas permitem a compreensão de como essas variáveis mudam espacialmente.

Na Tabela 2 são indicados os parâmetros do modelo esférico do semivariograma da força de desprendimento dos frutos de café cereja, verde e suas diferenças. O parâmetro diferença é a força de desprendimento do fruto cereja menos a força do verde, utilizado por ser um fator que auxilia na possibilidade de fazer a colheita mecanizada e seletiva do café. Auxilia também no sentido de indicar o momento adequado para o produtor iniciar a colheita seletiva, com isto, retirando da planta apenas os frutos no estágio cereja, garantindo qualidade e rendimento.

**TABELA 1** - Análise descritiva da força de desprendimento dos frutos de café Cultivar Catuaí Vermelho (cereja e verde).

	Força de desprendimento		
	Cereja	Verde	Diferença
Mínimo	1,92	2,19	0,18
Mediana	2,56	5,32	2,90
Média	2,58	5,32	2,73
Máximo	4,15	8,78	5,01
Variância	0,15	1,78	1,22
Desvio Padrão	0,38	1,34	1,10
Coefficiente de variação (%)	14,95	25,12	40,36

De acordo com Landim (2006), o efeito pepita é definido como uma descontinuidade do semivariograma na origem, sendo este parâmetro utilizado para explicar duas possíveis fontes de variação: variação do atributo para distâncias menores que é a considerada na malha de amostragem e erros aleatórios de medição.

O grau de dependência espacial encontrado neste estudo foi de 36,36% para a força de desprendimento dos frutos cereja, 13,43% para os frutos verdes e 2,27% para a diferença. Os resultados indicam que a variável força de desprendimento do fruto cereja tem moderada dependência espacial, e as variáveis, força de desprendimento dos frutos verdes e a diferença forte dependência espacial, todas com baixo valor de efeito pepita (Tabela 2).

Para Cressie (1993), o alcance (a) determina a extensão espacial sobre o qual a variável é correlacionada, importante para o planejamento e avaliação experimental, já que pode auxiliar na definição do procedimento de amostragem. Este parâmetro representa a distância, em metros, em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si.

A força de desprendimento dos frutos cereja teve alcance de 162,79 m. Já os frutos verdes e a diferença entre ambos obtiveram alcance de 100,14 m (Tabela 2). A força de desprendimento para os frutos cerejas e verdes apresentaram faixas semelhantes de correlação espacial, o que sugere que o alcance da força de desprendimento dos frutos de café seja independente do grau de maturação dos frutos.

Ferraz (2012) encontrou alcances para a força de desprendimento de frutos verdes e cereja de 145,0 m e 148,0 m; respectivamente.

Na Figura 2, observa-se o ajuste dos semivariogramas pelo modelo esférico, para cada atributo estudado, com base nos parâmetros

de ajuste (Tabela 2); efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C_1$ ) e alcance (a). E a partir do ajuste pelo modelo definido aos semivariogramas individuais descritos, foi possível a construção de mapas para cada atributo, caracterizando assim, o comportamento espacial de cada variável no campo.

Foi realizada a krigagem que é o único método de interpolação que ajusta um modelo para o comportamento da variância espacial dos dados brutos, e usa esse modelo para estimar os valores dos pontos de uma grade.

Pode-se observar nas Figuras 3a, 3b e 3c que os mapas de krigagem das variáveis apresentam uma variação espacial considerável em todas as propriedades estudadas. Esses mapas indicam os potenciais problemas que poderiam surgir quando apenas a média é usada para gerenciar o campo.

Os frutos são também fatores responsáveis pelo menor crescimento vegetativo das plantas. Dessa forma, plantas com mais frutos precisam de mais energia para fazer o fruto crescer. Portanto, essas plantas terão pouca energia para manter os seus frutos e isso se reflete em uma menor força de desprendimento. Por outro lado, plantas com menor produtividade terão mais energia para manter os seus frutos e com isto a força de desprendimento se torna maior (AMARAL et al., 2006).

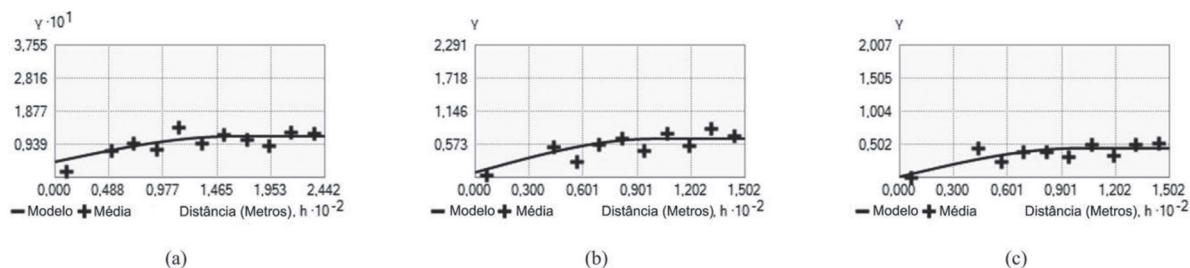
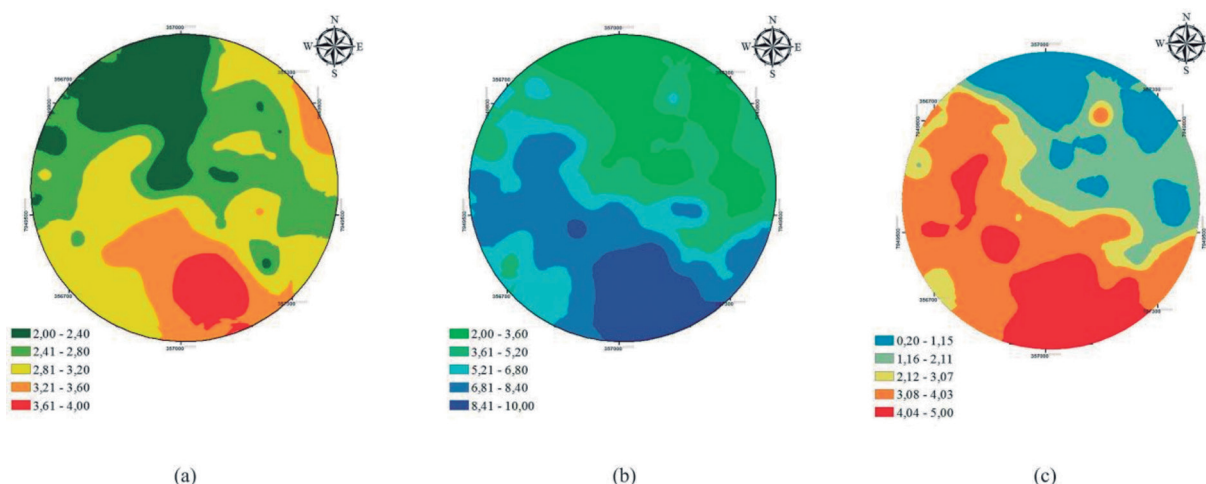
O cafeeiro apresenta desuniformidade na maturação dos seus frutos, que ocorre devido às influências do microclima, sistemas de cultivo, floradas e diversas outras variáveis que apresentam diferenças espaciais. Tal desuniformidade pode ser observada pelos mapas (Figuras 3a, 3b e 3c).

Através das análises geoestatísticas pode-se observar que as forças de desprendimento dos frutos variam espacialmente, mostrando que os diferentes estágios de maturação que compõem a produção, apresentam comportamentos distintos.

**TABELA 2** - Parâmetros do modelo do semivariograma da força de desprendimento dos frutos cereja, verde e a diferença entre eles.

Variáveis	$C_0$	$C_1$	$C_0 + C_1$	a	GDE	
Cereja	0,04	0,07	0,11	162,79	36,36	Moderada
Verde	0,09	0,58	0,67	100,14	13,43	Forte
Diferença	0,01	0,43	0,44	100,14	2,27	Forte

$C_0$  – Efeito Pepita;  $C_1$  - Contribuição;  $C_0+C_1$  – Patamar; a – alcance; GDE – Grau de dependência espacial.

**FIGURA 2** - Semivariogramas ajustados pelo modelo esférico para a força de desprendimento do café cereja (a), café verde (b) e diferença entre eles (c).**FIGURA 3** - Mapas de krigagem das variáveis estudadas: Cereja (a), Verde (b) e Diferença entre eles (c).

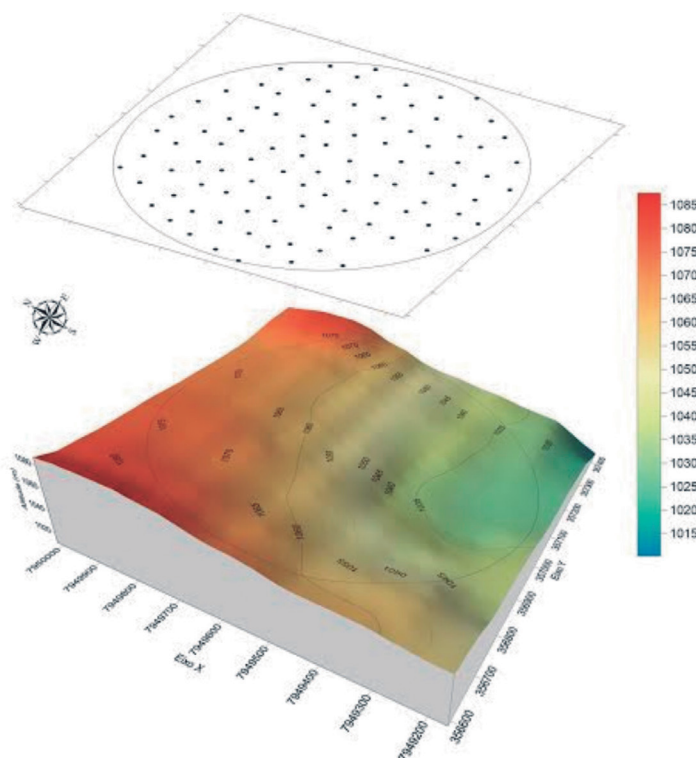
Observando os mapas de krigagem das variáveis estudadas pode-se confirmar que a força para remoção de frutos verdes de café é geralmente maior do que a força necessária para remoção de frutos cereja.

A parte norte dos mapas (Figura 3a e 3b) foi a que apresentou menor força de desprendimento, tanto para os frutos cereja como para os verdes. Ao passo que a área sul dos mapas teve maior força de desprendimento dos frutos. Então, no geral, a força de desprendimento dos frutos cereja corresponde diretamente à força de desprendimento dos frutos verde, ou seja, onde a força do fruto cereja foi elevada o mesmo ocorreu com a força do fruto verde.

A Figura 3c mostra a diferença entre a força de desprendimento do fruto verde e cereja. E de acordo com Silva (2008) a diferença destas forças acima de 3,0 N indica a possibilidade técnica de fazer a colheita seletiva.

A variabilidade entre a força de desprendimento dos frutos verde e cereja pode ser explicada pela Figura 4, caracterizando a altimetria da área.

Sendo a irrigação uma prática nova na cafeicultura, esta deve ser estudada de forma mais detalhada em termos de manejo e desenvolvimento da cultura.



**FIGURA 4** - Representação altimétrica da região do pivô.

O sistema de irrigação sob pivô central tem algumas limitações, como as posições do fim da lateral que, à medida que o sistema se movimenta resulta em variação na vazão, devido à topografia do terreno e a intensidade de aplicação de água nas extremidades pode não atingir valores desejáveis. A baixa uniformidade significa que há sobra de água em certos pontos do campo e falta em outros.

A região norte do pivô apresenta valores mais acentuados de altitude (Figura 4) diminuindo as possibilidades de chegar à mesma quantidade de água nas extremidades. Desta maneira, pode haver maior umidade do solo na região do sul do pivô, pois esta apresenta valores menos acentuados de altitude. De acordo com os resultados de força de desprendimento encontrado, a parte mais baixa do pivô, por apresentar umidade do solo maior, tende a provocar um atraso na maturação, fato observado pela maior força de desprendimento requerida tanto para o fruto cereja, como para o verde.

Rezende et al. (2010) observaram que aspectos fisiológicos da cultura são sensivelmente influenciados pela irrigação e conforme as avaliações de maturação feitas, identificaram indicativos de que a irrigação realizada entre abril e julho retarda a maturação dos frutos.

Silva (2012), avaliando a influência da umidade do solo na força de desprendimento dos frutos, observou que a umidade do solo apresenta correlação positiva com a força de desprendimento dos frutos verdes e tendência positiva para os frutos cerejas.

O mapa de diferença da força de desprendimento entre os frutos (Figura 3c) pode ajudar o produtor a escolher o local ideal e o momento certo para começar a colheita mecanizada do café de forma seletiva, o que, conseqüentemente, implicará em uma melhor qualidade do produto final, pois a presença de frutos verdes será minimizada e isto reduzirá o potencial de fermentação e desenvolvimento de fungos durante o armazenamento e transporte.

Sendo assim, a colheita mecanizada e seletiva do cafeeiro sob pivô central deveria começar pela região sul da área, que apresenta diferença entre a força de desprendimento do fruto verde e cereja dentro dos valores recomendados.

Portanto, a agricultura de precisão faz com que o produtor tenha outro olhar para a sua propriedade, identificando as variabilidades existentes, com isto possibilitando um manejo localizado da cultura e, favorecendo aumento na qualidade do produto final e maior lucratividade.

#### 4 CONCLUSÕES

Dentro dos estádios de maturação, o verde apresentou força de desprendimento superior ao estágio de maturação cereja. A maturação, de uma maneira geral, é influenciada por fatores climáticos, observando força de desprendimento dos frutos verdes e cereja superiores na parte sul do pivô, região com representação altimétrica um pouco menor, quando comparada a parte norte do pivô.

Os semivariogramas e a krigagem possibilitaram caracterizar o grau de variação da força de desprendimento entre os frutos estudados.

O mapa de diferença da força de desprendimento entre os frutos pode ajudar o produtor a escolher o local ideal, o momento certo para começar a colheita mecanizada do café de forma seletiva, melhorando a qualidade final do produto e os lucros.

#### 5 AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelos recursos financiados para execução do trabalho e bolsa de estudos.

#### 6 REFERÊNCIAS

- 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. 12, n. 1, p. 18-31, Feb. 2011.
- \_\_\_\_\_. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, Berlin, v. 82, n. 2, p. 137-148, May 2009.
- AMARAL, J. A. T. et al. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 377-384, mar. 2006.
- BACHMAIER, M.; BACKERS, M. Variogram or semivariogram: understanding the variances in a variogram. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 9, n. 3, p. 173-175, Feb. 2008.
- BURGESS, T. M.; WEBSTER, R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: II., block kriging. **Journal of Soil Science**, Baltimore, v. 31, n. 2, p. 333-341, Feb. 1980.
- CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, Sept. 1994.
- CARVALHO, L. C. C. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e características agrônomicas da cultura do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 265-275, jul./set. 2013.
- CRESSIE, N. **Statistics for spatial data**. New York: Wiley, 1993. 928 p.
- FARACO, M. A. et al. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 463-476, mar. 2008.
- FERRAZ, G. A. S. **Cafeicultura de precisão: malhas amostrais para o mapeamento de atributos do solo, da planta e recomendações**. 2012. 129 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- FERRAZ, G. A. S. et al. Geostatistical analysis of fruit yield and detachment force in coffee. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 13, n. 1, p. 76-89, Feb. 2012.
- GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: Ed. UFU, 2004. 77 p.
- LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, Rio Claro, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.
- REZENDE, F. C. et al. Cafeeiro recepado e irrigado em diferentes épocas: produtividade e qualidade. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 229-237, set./dez. 2010.
- RIBEIRO, M. S. et al. Efeitos de águas residuárias de café no crescimento vegetativo de cafeeiros em seu primeiro ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 569-577, out./dez. 2009.
- SILVA, F. C. **Efeito da força de desprendimento e da maturação dos frutos de cafeeiros na colheita mecanizada**. 2008. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- \_\_\_\_\_. **Influência de variáveis meteorológicas do solo e nutricionais na força de desprendimento dos frutos do café**. 2012. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- SILVA, F. C. et al. Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 468-474, mar./abr. 2010.



\_\_\_\_\_. Desempenho operacional da colheita mecanizada e seletiva do café em função da força de desprendimento dos frutos. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 53-60, jan./mar. 2013.

SILVA, F. M. et al. Efficiency of coffee mechanical and selective harvesting in different vibration during harvest time. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 56-64, Jan./Mar. 2015.

\_\_\_\_\_. 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.

TRABAQUINI, K. et al. Uso da geotecnologia para caracterizar os cafezais no município de Londrina-PR, em relação à altimetria, declividade e tipo de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1136-1147, nov./dez. 2010.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. **Geostatistics for environmental scientists**. 2<sup>nd</sup> ed. Chichester: Wiley, 2007. 315 p.