

AGRICULTURA DE PRECISÃO E GEOESTATÍSTICA NO ESTUDO DE MÉTODOS DE AJUSTE DE SEMIVARIOGRAMA DE NUTRIENTES DO SOLO E DA PRODUÇÃO DE UMA LAVOURA CAFEIEIRA

GABRIEL ARAÚJO E SILVA FERRAZ¹; FÁBIO MOREIRA DA SILVA²; PEDRO AUGUSTO NEGRINI DA COSTA³; LUIS CARLOS CIRILO CARVALHO⁴; BRUNO CAETANO FRANCO⁵

RESUMO

A cafeicultura tem relevante importância para o agronegócio brasileiro, sendo assim, a adoção de técnicas que possibilitem o melhor gerenciamento das operações de manejo da cultura ganha grande destaque. Neste sentido, surge a Agricultura de Precisão como uma importante ferramenta que a partir do conhecimento de determinadas características do solo pode facilitar a aplicação racional e localizada dos insumos, com resultados ambientais e econômicos positivos. Este estudo utilizou-se de dados de atributos químicos do solo (Fósforo e Potássio), obtidos por meio de amostragens em pontos georreferenciados retirados por um quadriciclo amostrador e dados de produção que foram obtidos através de colheita manual de plantas em torno de pontos, também, georreferenciados de uma lavoura cafeeira. A análise destes dados através das técnicas geoestatística possibilitou caracterizar a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e também da produção da cultura de café e a dependência espacial das variáveis permitiu a produção de mapas de krigagem. Pode-se perceber que as análises de diferentes métodos de ajuste de semivariogramas produziram diferentes mapas de krigagem desta forma critérios de escolha destes semivariogramas devem ser utilizados para a produção de mapas de krigagem mais confiáveis.

Palavras-chave: Cafeicultura de Precisão, semivariograma, krigagem, produtividade.

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão é um conjunto de tecnologia capaz de auxiliar o produtor rural a identificar as estratégias a serem adotadas para aumentar a eficiência no gerenciamento do processo de produção, maximizando a rentabilidade das colheitas e reduzindo os custos de aplicação de insumos, tornando o agronegócio mais competitivo (Silva et al., 2008).

Esta técnica se encontra fortemente difundida em várias culturas destacando-se nas culturas de soja e milho, porém ainda pouco estruturada na cafeicultura (Balastreire et al., 2001). A atividade cafeeira se caracteriza por ser uma das mais importantes do agronegócio brasileiro (Ferraz, 2010). Sendo assim, a atividade cafeeira vem se transformando para se adequar a demanda do mercado, onde a cada dia são exigidos maiores níveis tecnológicos para que se obtenha um aumento de produtividade, redução de custos e também pela crescente busca do manejo sustentável. Dentro deste contexto, a Agricultura de Precisão surge como uma ferramenta para contribuir com os cafeicultores no melhor conhecimento e gerenciamento de vários os processos produtivos que estão envolvidos desde o plantio até a colheita dos frutos do cafeeiro.

A adubação é um fator de máxima importância para o cultivo do café e deve ser feito para que o solo tenha sempre a fertilidade adequada para o bom desenvolvimento da planta. A adubação diferenciada ainda é uma prática pouco estudada e utilizada na cafeicultura. Desta forma a aplicação de técnicas de agricultura de precisão associadas aos recursos da geoestatística, possibilitam a realização de aplicação diferenciada de fertilizantes e análise das respostas de produtividade. Sendo assim, este estudo teve como objetivo utilizar as técnicas de agricultura de precisão aliadas as ferramentas da geoestatística, para avaliar as variáveis fósforo, potássio e produção de café através das análises de diferentes semivariogramas e de mapas de krigagem e demonstrar que estas ferramentas podem ser de grande valia para o manejo da cultura do café.

¹ Engenheiro Agrícola, Doutorando em Engenharia Agrícola, DEG/UFLA, Lavras – MG – gaferraz1@yahoo.com.br

² Engenheiro Agrícola, Professor Doutor DEG/UFLA, Lavras – MG – famsilva@ufla.br.

³ Graduando em Engenharia Agrícola, DEG/UFLA, Lavras – MG – pedro_negrini@yahoo.com.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola, DEG/UFLA, Lavras – MG – lecc.87.ufla@hotmail.com

⁵ Graduando em Engenharia Agrícola, DEG/UFLA, Lavras – MG – caetanoenagrijr@yahoo.com.br

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na fazenda Brejão, localizada no município de Três Pontas, sul de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 21°25'58" de latitude sul e 45°24'51" de longitude oeste de Greenwich, em uma área de 22 ha de lavoura de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) da cultivar Topázio, com 2 anos e 7 meses de idade, no espaçamento de 3,8m entre linhas e 0,8m entre plantas, totalizando 3289 plantas.ha⁻¹. Os pontos limites da área foram obtidos por meio do uso de GPS geodésico. Foram feitas duas malhas irregulares de pontos amostrais, sendo uma com 54 pontos para a produtividade e uma com 22 pontos para os dados de fertilidade (Figura 1). O georreferenciamento destes pontos foi feito utilizando um GPS de navegação (produtividade) e geodésico (atributos do solo), utilizando-se coordenadas UTM na zona 23K.

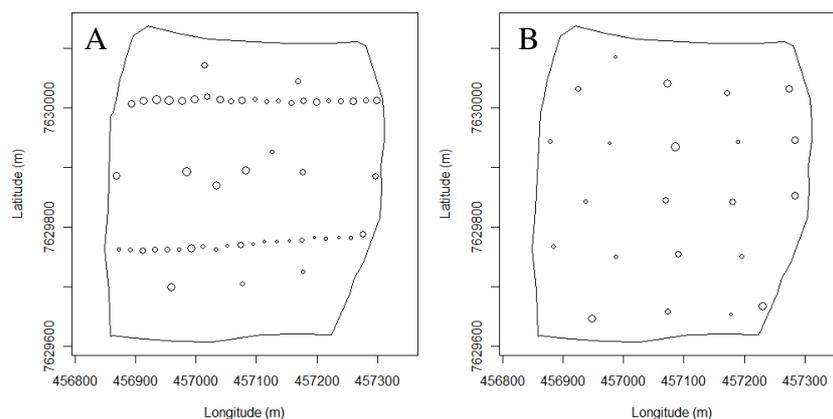


Figura 1 - Grade de pontos amostrais georreferenciados para a coleta dos dados de produtividade nos anos de 2008 (a) e dos dados de solo no ano de 2007 (b).

A produção de café (L.planta⁻¹) ocorreu em julho de 2008, por meio da colheita no pano de 4 plantas em torno do ponto amostral, sendo uma planta no ponto, uma planta no lado direito do ponto (mesma rua), outra planta na rua acima e a outra planta na rua imediatamente abaixo ao ponto. O volume colhido de cada planta, após a abanação, foi medido em um recipiente graduado. Após esta medição foi retirado a média de produção destas 4 plantas.

Para a coleta dos dados de fertilidade do solo foi utilizando um quadriciclo equipado com broca pneumática e GPS geodésico. Em cada hectare foram coletadas 8 sub-amostras que geraram 1 amostra composta. Tais amostras foram retiradas na projeção da saia do cafeeiro de 0 a 20 cm de profundidade, em julho de 2007. As amostras foram encaminhadas para análise de fertilidade no Laboratório de Análise de Solo e Folha da COCATREL, cujos resultados possibilitaram gerar os mapas dos atributos Fósforo e Potássio, gerando também a recomendação de aplicação de insumos para cada localidade. De posse destes mapas e com um GPS de navegação, foi feito a demarcação na área de café para se realizar aplicação de adubos químicos em taxas variadas.

A dependência espacial das variáveis fósforo, potássio e produção de café foram analisadas por meio de ajustes de semivariogramas (Vieira et al., 1983) e interpolação por krigagem. Para analisar o grau da dependência espacial dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994). O ajuste dos modelos de semivariogramas escolhidos de duas formas: em função da máxima verossimilhança dos dados e em função dos mínimos quadrados ponderados. Após o ajuste dos semivariogramas, foi realizada a interpolação dos dados por krigagem ordinária, de forma a possibilitar visualizar padrões de distribuição espacial das variáveis na lavoura.

O georreferenciamento da área foi realizado com base nas coordenadas geográficas obtidas pelo GPS, na fase de demarcação dos pontos amostrais. Para a análise geoestatística e para a plotagem dos mapas foi utilizado sistema computacional estatístico R por meio de sua biblioteca geoR (Ribeiro & Diggle, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise geoestatística mostraram que todas as variáveis analisadas apresentaram dependência espacial tanto para o método da verossimilhança quanto para os mínimos quadrados ponderados (Tabela 1). Para o método da verossimilhança o modelo gaussiano ajustou-se para todas as variáveis em estudo (Figura 2), já para o método dos mínimos quadrados ponderados os modelos que se ajustaram foram o esférico para o fósforo e para a produção e o exponencial para o potássio (Figura 2).

Na análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), a análise da relação $C_0/(C_0+C_1)*100$ das variáveis Potássio (28,02) e Produtividade (36,58) apresentaram grau de dependência espacial moderada e a variável Fósforo (13,29) apresentou um grau de dependência forte para o método da verossimilhança, já para o método dos mínimos quadrados ponderados as variáveis Fósforo (0) e produção (12,79) apresentaram grau de dependência espacial forte e a variável Potássio (39,82) apresentou um grau de dependência moderado.

A variável fósforo apresentou o menor alcance (131,3743 m), já a variável potássio apresentou o maior alcance (538,0936 m) e a variável Produção do cafeeiro apresentou alcance de 212,2599 m no método dos mínimos quadrados ponderados, já para o método da verossimilhança a variável potássio apresentou o menor alcance (88,01 m), já a variável Produção do cafeeiro apresentou o maior alcance (124,3825 m) e a variável fósforo apresentou alcance de 95,24 m (Tabela 1).

Tabela 1 – Métodos, modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis fósforo (mg.dm^{-3}), potássio (mg.dm^{-3}) na profundidade de 0,0-0,2 m e Produção da cultura do café (L.planta^{-1}).

	Modelo	Efeito pepita (C_0)	Patamar (C_0+C_1)	Alcance (a) (m)	Grau de Dependência $[C_0/(C_0+C_1)]x100$
Verossimilhança					
Fósforo	Gaussiano	54,97	413,66	95,24	13,29
Potássio	Gaussiano	108,72	388,02	88,01	28,02
Produção	Gaussiano	0,3514	0,9607	124,3825	36,58
Mínimos Quadrados Ponderados					
Fósforo	Esférico	0	3153863	131,3743	0
Potássio	Exponencial	292,1308	733,671	538,0936	39,82
Produção	Esférico	0,136	1,0633	212,2599	12,79

Os mapas das variáveis Produção da cultura de café em 2008, fósforo em 2007 e potássio em 2007 apresentaram valores variando de 0,025 a 3,95 L.planta^{-1} ; 3 a 75 mg.dm^{-3} e 143 a 226 mg.dm^{-3} respectivamente (Figura 3). Observa-se uma grande amplitude nos atributos químicos estudados, esta grande amplitude revela os problemas que podem ocorrer quando se usa a média dos valores para o manejo da fertilidade, pois em alguns locais da área a aplicação de fertilizante será inferior a dosagem necessária, em outros será aplicado de forma ideal, e em outros poderá haver aplicação excessiva, dessa forma a adubação em taxas diferenciadas surge para corrigir tais problemas.

Observa-se na figura 3 que as cores mais escuras significam menores valores e as cores claras os maiores valores. Nota-se uma correlação forte espacial entre os mapas de fósforo e potássio com o mapa de produtividade, independentemente do método de ajuste escolhido, ou seja, os locais de menores valores no mapa de fósforo e potássio, obtidos no ano de 2007, anterior a aplicação de adubo, coincidem com os maiores valores no mapa de produção da cultura de café em 2008, isto pode demonstrar que a aplicação de adubo em taxas variáveis no ano agrícola de 2007-2008 pode ter surtido efeito na produção da cultura de 2008. Verificou-se ainda na figura 2, poucos pontos em que o mapa de produção em 2008 apresentaram baixa produtividade (cores mais escuras) coincidentes com as baixas taxas existentes nos mapas de atributos químicos do solo (fósforo e potássio) em 2007.

Percebeu-se grande diferença entre os mapas produzidos pelos métodos estudados, sendo que nos mapas que utilizaram os mínimos quadrados ponderados, as variáveis se encontram mais estratificadas quando se comparado aos mapas produzidos por máxima verossimilhança.

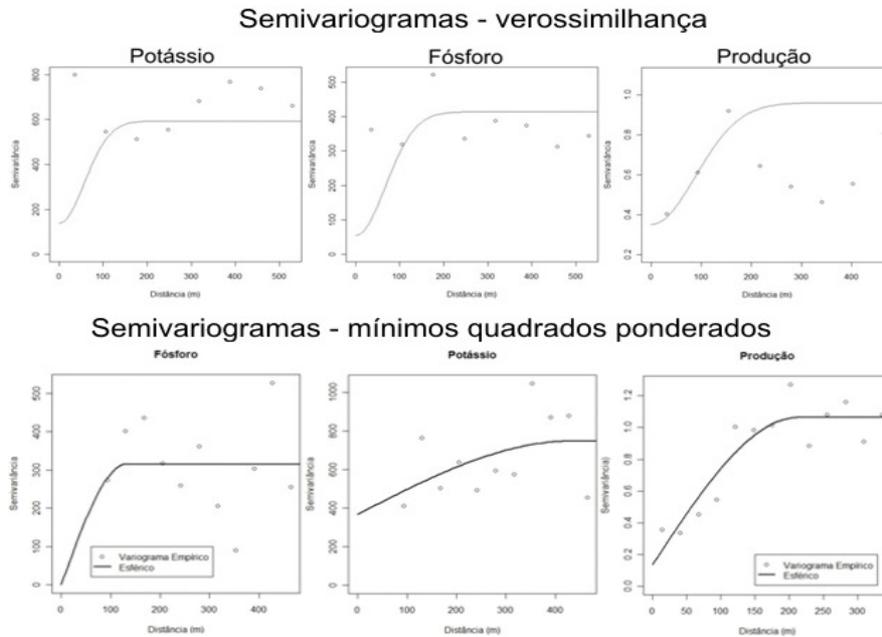


Figura 2 - Semivariogramas das variáveis químicas: potássio (mg dm^{-3}) e fósforo (mg dm^{-3}) na profundidade de 0,0-0,2 m e Produção da cultura do café (L planta^{-1}).

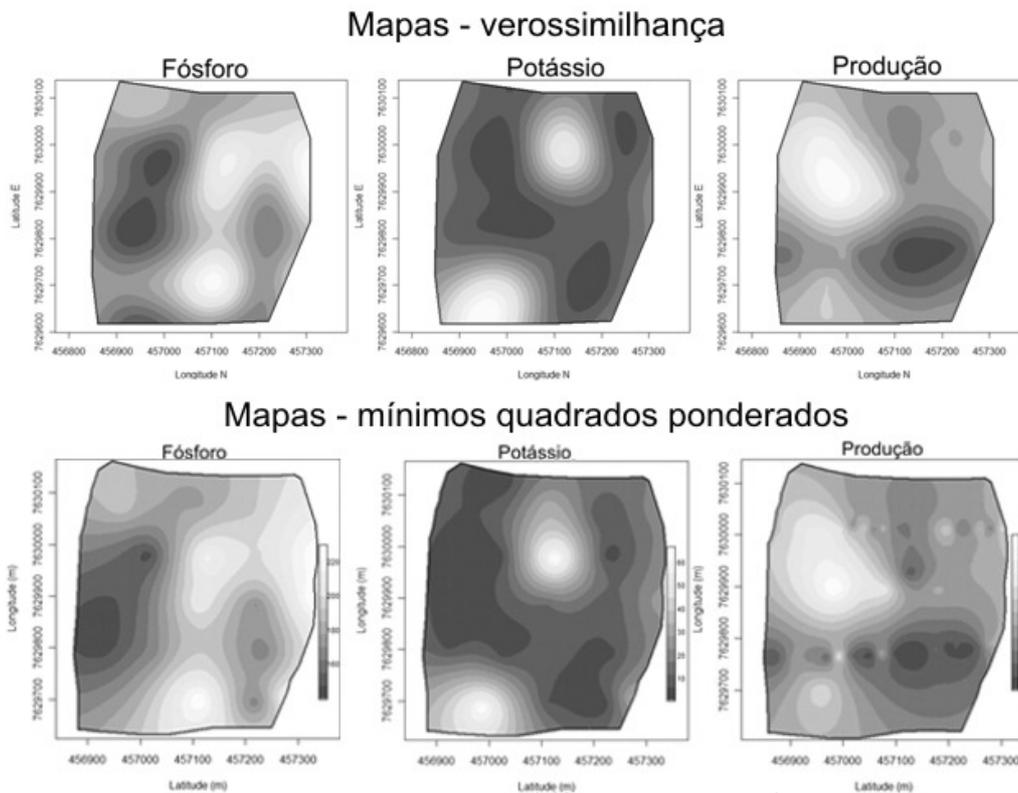


Figura 3 - Distribuição espacial do fósforo (mg dm^{-3}), potássio (mg dm^{-3}) na profundidade 0,0 a 0,2m e Produção da cultura de café em 2008 (L planta^{-1}).

CONCLUSÃO

A análise das variáveis do solo Fósforo e Potássio e da Produção do cafeeiro por meio das técnicas geoestatística possibilitou caracterizar a variabilidade espacial das variáveis e a magnitude da dependência espacial das variáveis, o que permitiu a produção de mapas de krigagem.

Pode-se perceber que as análises dos dois diferentes métodos de ajuste de semivariogramas estudados produziram diferentes mapas de krigagem, sendo assim, critérios de escolha destes semivariogramas devem ser utilizados para a produção de mapas de krigagem mais confiáveis.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

BALASTREIRE, L. A.; AMARAL, J.R.; LEAL, J.C.G.; BAIO, F.H.R. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., Foz do Iguaçu, 2001. **Anais**. Jaboticabal: SBEA, 2001. CD-ROM

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.

FERRAZ, G. A. S. **Cafeicultura de Precisão: Análise Econômica e Uso da Geoestatística**. 2010. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

RIBEIRO JR., P.J.; DIGGLE, P.J. geoR: A package for geostatistical analysis. **R-NEWS** Vol 1, No 2. ISSN 1609-3631, 2001.

SILVA, F. M. da; SOUZA, Z. M. de; FIGUEIREDO, C. A. P. de; VIEIRA, L. H. de S.; OLIVEIRA, E. de. 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.

VIEIRA, S.R.; HATFIELD, T.L.; NIELSEN, D.R. & BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v.51, p.1-75, 1983.