

Modelo bivariado para delineamento de zonas homogêneas na agricultura de precisão

Danilo Pereira Barbosa¹, Eduardo Leonel Bottega², Cristiane Alvarenga Gajo³, Nerilson Terra Santos⁴

1 - Introdução

A consolidação progressiva da agricultura de precisão deve-se, sobretudo aos novos métodos que permitem mapear variabilidades espaço-temporais no campo. Tais variações decorrem da ação de fatores climáticos, topográficos e biológicos (CÓRDOBA et al., 2013). O mapeamento destas variabilidades aperfeiçoa a gestão no campo, pois permite o delineamento de zonas de manejo (YAO et al., 2014), possibilitando o controle localizado das diferenças observadas de forma a atender a necessidade de cada zona. As zonas de manejo (ZM) são sub-regiões do campo, consideravelmente homogêneas em relação aos atributos físico-químicos do solo (HAGHVERDI et al., 2015; BOTTEGA et al. 2017a).

Além do auxílio à gestão no campo, a utilização das ZM modera consideravelmente a aplicação excessiva de insumos agrícolas. E, conseqüentemente, contribui na redução de impactos ambientais (BOTTEGA et al. 2017a). Para tanto, é de extrema importância identificar com exatidão os atributos necessários e o método no delineamento destas ZM (THÖLE et al., 2013).

A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) revela-se satisfatoriamente neste cenário dos atributos do solo, devido o baixo custo de amostragem, rápida aquisição e forte relação com características do solo relacionadas à produtividade das culturas, de forma tal, a expressar a variabilidade existente em um campo de produção (BOTTEGA et al., 2017b). E dessa forma, é amplamente utilizada para o delineamento das ZM (HAGHVERDI et al., 2015; BOTTEGA et al. 2017a; CORDOBA et al., 2013; CORDOBA et al., 2016; PERALTA et al., 2013; PERALTA et al., 2015; FORTES et al., 2015; DE BENEDETTO, D. et al., 2013; TRIPATHI et al., 2015) com uso de diversos interpoladores geoestatísticos.

Dentre os diversos interpoladores geoestatísticos, há predominância no uso da krigagem ordinária (TRIPATHI et al., 2015; CHANG et al., 2014; ALVES et al., 2013; SAFANELLI; BOESING; BOTTEGA, 2015) com abordagem multivariada (CORDOBA et al., 2016; CORDOBA et al., 2013; SANCHEZ et al., 2013, YAO et al., 2014; PERALTA et al., 2013; PERALTA et al., 2015). Entretanto, estudos relacionados às abordagens uni e multivariadas, para o delineamento das ZM, utilizam as propriedades físico-químicas do solo em um mesmo intervalo de tempo. Isso ocorre devido à instabilidade temporal ser uma das principais causas das dificuldades encontradas no delineamento destas ZM (HAGHVERDI et al., 2015).

¹ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano. email: *danilorv@hotmail.com*.

² Universidade Federal de Santa Maria. email: *bottega.elb@gmail.com*.

³ Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano. email: *cristiane.gajo@ifgoiano.edu.br*.

⁴ Universidade Federal de Viçosa. email: *nsantos@ufv.br*.

Diante deste problema, Haghverdi et al. (2015) salienta a necessidade em utilizar informações de atributos ao longo dos anos. Assim, a variabilidade espacial é melhor explicada e consequentemente fornece ZM mais confiáveis (HAGHVERDI et al., 2015).

Dessa forma, o presente trabalho, tem como objetivo delinear zonas de manejo em uma propriedade agrícola utilizando metodologias geoestatística baseadas em um modelo bivariado fundamentado na teoria da geoestatística baseada em modelos.

2 - Material e Métodos

Utilizou-se 160 pontos georreferenciados da CEa coletados em uma propriedade rural localizada em Ponta Porã – MS. Em cada um desses 160 pontos, por dois anos consecutivos (2012 e 2013), os valores da CEa foram amostrados nas mesmas coordenadas espaciais. Inicialmente procedeu-se a remoção de *outliers*, identificando-os pelo intervalo da média \pm três vezes o desvio padrão. Assim, no mínimo de 89% dos dados estarão contidos no intervalo, conforme teorema de Chebyshev (AMIDAN et al., 2005).

Após a exclusão dos outliers procedeu-se a interpolação espacial aos dados restante. Para tanto, utilizou-se o modelo geoestatístico bivariado (RIBEIRO e DIGGLE, 2016; BOGNOLA, 2008). Com este modelo foi possível interpolar a CEa para o ano de 2013 considerando as amostras dos anos de 2012 e 2013. O mapa obtido foi então utilizado como dado de entrada no programa computacional KrigMe (VALENTE et al., 2012). Neste programa utilizou-se o método de classificação *fuzzy k-means* na delimitação das ZM. Na delimitação das zonas, usou-se do Índice de Performance Fuzzy (FPI – “Fuzziness Performance Index”) e o Índice de Entropia da Partição Modificada (MPE – “Modified Partition Entropy”) apresentados em Bezdek (1981). O número ótimo de zonas é então definido quando estes índices apresentam valor mínimo (SONG *et al.*, 2009).

Posterior à definição do número de zonas, as mesmas foram delineadas e então validadas. Nesta etapa, amostras aleatórias foram obtidas das ZM delineadas, e modelos lineares mistos (MLM) foram empregados na verificação de diferenças significativas entre elas. Estes modelos foram então avaliados quanto ao Critério de Informação de Akaike (AIC). O modelo com menor valor para o AIC foi então selecionado, e posteriormente contrastes entre médias das ZM foram avaliados pelo teste T de Student.

3 - Resultados

Os valores da CEa observados nos 160 pontos, nos anos 2013 (V1) e 2012 (V2) foram avaliados quanto à presença de Outliers (Figura 1). Na variável V1 foram excluídos três valores $[\bar{x} = 1,42 \pm sd = 0,39]$ e na variável V2 também foram excluídos três valores $[\bar{x} = 6,19 \pm sd = 2,13]$ (Figura 1). Além das observações supracitadas, é perceptível a instabilidade dos valores amostrados para a CEa nestes dois períodos. Esta instabilidade, que por vez, notória, corrobora com as explicações de Haghverdi et al. (2015) e dificulta o delineamento das ZM.

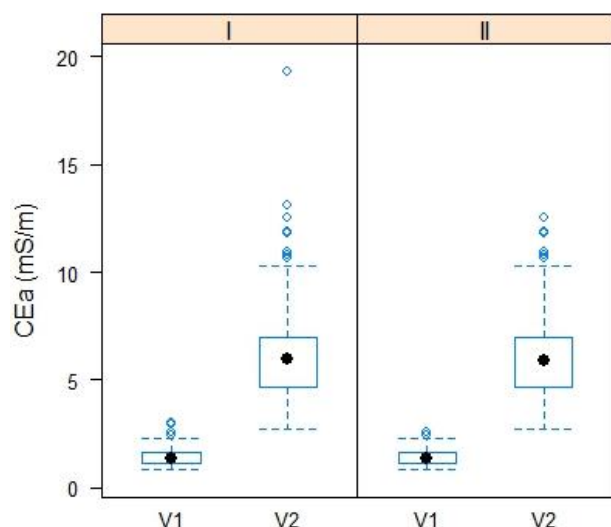


Figura 1 - Box Plot para dados originais (I) e dados após remoção de outliers (II) para a CEA amostrada no ano de 2013 (V1) e para a CEA amostrada no ano de 2012 (V2).

Após exclusão destes pontos, seguiu-se para a interpolação da variável V1. Nesta fase de interpolação espacial, pretendeu-se utilizar informações espaço temporais da CEA para obtenção do mapa de krigagem. Para tanto, utilizou-se a função de correlação exponencial (RIBEIRO e DIGGLE, 2016; BOGNOLA, 2008) obtendo as estimativas dos parâmetros por verossimilhança. Os resultados obtidos desse modelo permitiram por sua vez a produção do mapa de variabilidade da variável V1 por meio da krigagem ordinária.

O mapa de variabilidade espacial foi então submetido à delimitação das ZMs. A determinação do número de grupos (ZM) a serem utilizados foi definida por meio dos índices FPI e MPE (YAO et al., 2014; CÓRDOBA et al., 2016; RAMOS et al., 2017) (Figura 2).

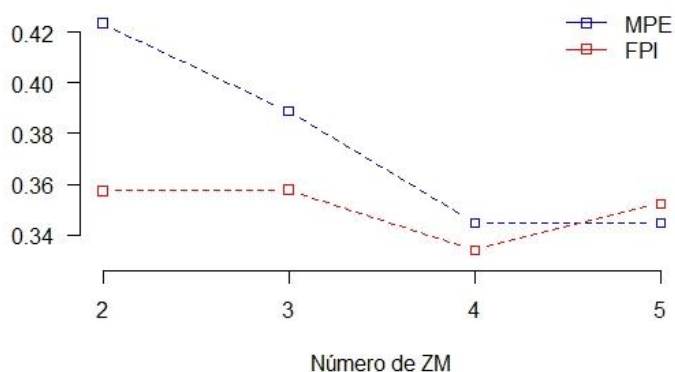


Figura 2 - Índice de Performance Fuzzy (FPI) e Entropia da Partição Modificada (MPE) na definição do número de zonas de manejo (ZM).

Conforme os índices observados (Figura 2), os valores mais baixos ocorreram para quatro e cinco ZM. Dessa forma, definiu-se para as análises subsequentes, quatro ZM. Após identificação e definição do número de ZM, procedeu-se para a comparação entre as mesmas, objetivando verificar diferenças estatisticamente significativas entre médias destas zonas delineadas. Com tal objetivo seguiu-se para a validação das zonas delineadas. Para tanto, selecionou-se o modelo esférico sem efeito pepita por apresentar menor valor de AIC.

O modelo esférico sem efeito pepita foi então utilizado na verificação de diferenças significativas entre médias das ZM estabelecidas. Esse modelo conseguiu distinguir as diferenças entre as médias das ZM (Figura 3), mostrando assim, sua adequabilidade, como também, a sustentação de toda a metodologia apresentada nesta pesquisa, distinguindo zonas homogêneas de manejo.

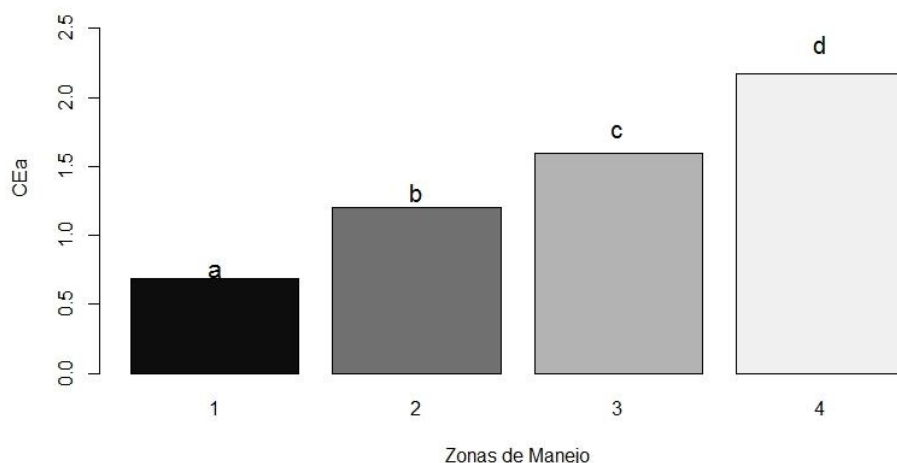


Figura 3 - Diferenças entre médias das quatro zonas de manejo estabelecidas. Letras distintas indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,0001$) pelo teste T de Student.

Dessa forma, com a aplicação da metodologia proposta, foram definidas quatro ZM com uso do modelo bivariado, dotado de informações espaço temporais em dois anos consecutivos (Figura 4).

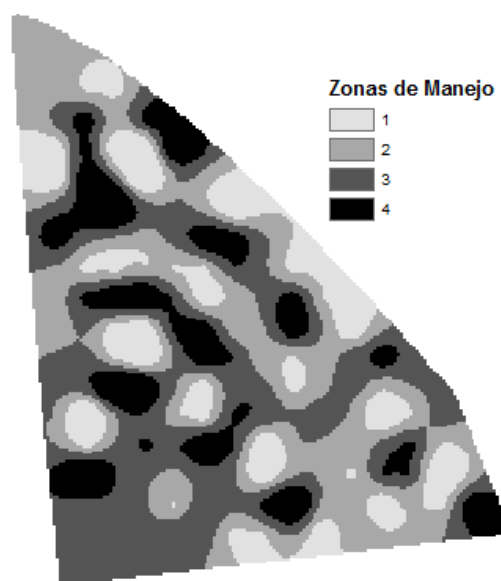


Figura 4 - Mapa de zonas de manejo obtido com uso do modelo bivariado para a CEa amostrada em 2013, condicionada as observações da CEa amostrada em 2012.

4 - Conclusão

Fundamentado nos resultados expostos, em termos teóricos, o ajuste do modelo bivariado mostrou-se promissor na delimitação das ZM para a CEa amostradas nos dois anos consecutivos. E com isso, foi possível delinear quatro ZM cujos valores médios diferem estatisticamente entre si.

5 - Agradecimentos

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano, Universidade Federal de Viçosa.

Referencias Bibliográficas

- ALVES, S. M. et al. Definição de zonas de manejo a partir de mapas de condutividade elétrica e matéria orgânica. **Bioscience Journal, Uberlandia**, v. 29, n. 1, p. 104-114, 2013.
- AMIDAN, Brett G.; FERRYMAN, Thomas A.; COOLEY, Scott K. Data outlier detection using the Chebyshev theorem. In: **Aerospace Conference, 2005 IEEE**. IEEE, 2005. p. 3814-3819.
- BOGNOLA, Itamar Antonio et al. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Floresta**, v. 38, n. 2, 2008.
- BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; SOUZA, C.M.A.; VALENTE, D.S.M. Precision agriculture applied to soybean: Part I - Delineation of management zones. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 05, p. 573-579, 2017a.

- BOTTEGA, E.L.; QUEIROZ, D.M.; PINTO, F.A.C.; VALENTE, D.S.M.; SOUZA, C.M.A. Precision agriculture applied to soybean: Part III - Spatial and temporal variability of yield. *Australian Journal of Crop Science*, v. 11, n. 07, p. 799-805, 2017b.
- CHANG, Dong et al. Delineation of management zones using an active canopy sensor for a tobacco field. *Computers and electronics in agriculture*, v. 109, p. 172-178, 2014.
- CÓRDOBA, M., et al. Subfield management class delineation using cluster analysis from spatial principal components of soil variables. *Computers and electronics in agriculture*, 2013, 97: 6-14.
- CÓRDOBA, Mariano A., et al. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. *Biosystems Engineering*, 2016, 143: 95-107.
- DE BENEDETTO, D., et al. An approach for delineating homogeneous zones by using multi-sensor data. *Geoderma*, 2013, 199: 117-127.
- FORTES, R., et al. A methodology based on apparent electrical conductivity and guided soil samples to improve irrigation zoning. *Precision agriculture*, 2015, 16.4: 441-454.
- HAGHVERDI, Amir, et al. Perspectives on delineating management zones for variable rate irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015, 117: 154-167.
- PERALTA, Nahuel Raúl, et al. Delineation of management zones to improve nitrogen management of wheat. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2015, 110: 103-113.
- PERALTA, Nahuel Raúl I, et al. Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the southeastern pampas. *Canadian Journal of Soil Science*, 2013, 93.2: 205-218.
- RAMOS, Fabricio Tomaz et al. Defining management zones based on soil attributes and soybean productivity. *Revista Caatinga*, v. 30, n. 2, p. 427-436, 2017.
- SAFANELLI, J. L., BOESING, B. F. B., & BOTTEGA, E. L. Estabelecimento de zonas de manejo a partir da resposta espectral do solo relacionada ao teor de matéria orgânica. Anais: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, 2015.
- SANCHEZ, Maria Gabriela Baracat et al. Delineation of specific management areas for coffee cultivation based on the soil-relief relationship and numerical classification. *Precision agriculture*, v. 14, n. 2, p. 201-214, 2013.
- SONG, Xiaoyu et al. The delineation of agricultural management zones with high resolution remotely sensed data. *Precision agriculture*, v. 10, n. 6, p. 471-487, 2009.
- THÖLE, Heinrich; RICHTER, Christel; EHLERT, Detlef. Strategy of statistical model selection for precision farming on-farm experiments. *Precision agriculture*, 2013, 14.4: 434-449.
- TRIPATHI, RAHUL, et al. Delineation of soil management zones for a rice cultivated area in eastern India using fuzzy clustering. *Catena*, 2015, 133: 128-136.
- VALENTE, Domingos Sárvio Magalhães et al. The relationship between apparent soil electrical conductivity and soil properties. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 4, p. 683-690, 2012.
- YAO, Rong-Jiang, et al. Determination of site-specific management zones using soil physico-chemical properties and crop yields in coastal reclaimed farmland. *Geoderma*, 2014, 232: 381-393.