

## Geoestatística na determinação da variabilidade espacial do teor de areia e do potencial produtivo do solo para a cultura da cana-de-açúcar.

**José Eduardo Soria<sup>(1)</sup>; Marcelo Andreotti<sup>(2)</sup>; Morel de Passos e Carvalho<sup>(2)</sup>; Nídia Raquel Costa<sup>(1)</sup>; Lucas Fernando Joaquim<sup>(3)</sup>; Henrique Hernandes Berto<sup>(4)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Acadêmicos da pós-graduação em Agronomia (Sistemas de Produção) da FEIS/Unesp, Ilha Solteira, SP; [j.eduardosoria@gmail.com](mailto:j.eduardosoria@gmail.com); [nidiarcosta@gmail.com](mailto:nidiarcosta@gmail.com); <sup>(2)</sup> Professores da FEIS/Unesp; [dreotti@agr.feis.unesp.br](mailto:dreotti@agr.feis.unesp.br) (Bolsista CNPq); [morel@agr.feis.unesp.br](mailto:morel@agr.feis.unesp.br); <sup>(3)</sup> Engenheiro Agrônomo da CSolos Mapeamento e Consultoria, Piracicaba, SP; [lucas@csolos.com.br](mailto:lucas@csolos.com.br); <sup>(4)</sup> Acadêmico da graduação em Agronomia da FEIS/Unesp; [hernandesberdo@gmail.com](mailto:hernandesberdo@gmail.com).

**RESUMO:** O conhecimento da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo auxilia na melhoria do manejo das culturas. Objetivou-se avaliar a variabilidade e caracterizar a dependência espacial do teor de areia do solo e dos ambientes de produção da cana-de-açúcar e suas interações. Para as análises foram utilizados dados do levantamento de solos do Centro de Tecnologia Canavieira realizado na região noroeste do Estado de São Paulo, com fornecimento dos dados das coordenadas geográficas, dos teores de areia e dos ambientes de produção. Foi realizada a análise da estatística descritiva e geoestatística para os atributos, gerando semivariogramas e mapas de krigagem. Os atributos analisados apresentaram média variabilidade dos dados e moderada dependência espacial. A relação entre o teor de areia e os ambientes de produção é linear e inversa, onde os nos piores ambientes de produção foram verificados com os maiores teores de areia, e vice versa.

**Termos de indexação:** *Saccharum* spp.; atributo físico do solo; ambientes de produção.

### INTRODUÇÃO

Em cultivos altamente tecnificados, como no caso da cana-de-açúcar, é fundamental ter o conhecimento da variabilidade espacial de atributos físicos do solo, o que pode contribuir para a redução de custos nos sistemas de produção (Souza et al., 2004a). Sendo assim, a aplicação de tecnologia associada à variabilidade espacial e temporal faz-se necessária para os ambientes de produção, sobretudo na cultura da cana, para correlacionar o solo e a sua capacidade produtiva (Grego & Vieira, 2005). Em estudo realizado por Campos et al. (2009), a distribuição espacial dos atributos granulométricos e químicos do solo permitiu a alocação das variedades de cana de acordo com a fertilidade do solo e teor de argila, onde os mapas de krigagem desses atributos do solo forneceram informações para o estabelecimento dos ambientes de produção. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a variabilidade e caracterizar a dependência espacial do teor de areia e do potencial

de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar, assim como estudar as correlações e identificar interações entre tais atributos na região noroeste do Estado de São Paulo.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na região noroeste do estado de São Paulo, Brasil, entre as latitudes 20°20'20" e 20°45'51" Sul e as longitudes 51°01'10" e 51°31'30" Oeste, englobando os municípios de Castilho, Ilha Solteira, Itapura, Pereira Barreto e Santa Fé do Sul. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é definido como Aw. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1981), a área de estudo encontra-se predominantemente sobre as formações do Grupo Bauru, o qual apresenta o Arenito como principal rocha. Próximo às margens dos rios Paraná, São José dos Dourados e Tiete, tem-se o afloramento do Diabásio, pertencente à formação Serra Geral do Grupo São Bento.

#### Caracterização dos atributos avaliados

Foram utilizados dados do levantamento de solos do Centro de Tecnologia Canavieira – CTC, realizado na região noroeste do Estado de São Paulo. As informações fornecidas consistem em 638 pontos amostrais dos quais são conhecidas às coordenadas geográficas, os valores do atributo do solo estudado (teor de areia total) e a estimativa do potencial de produção para a cultura da cana-de-açúcar. A coleta das amostras de solos foi realizada sob a cultura da cana-de-açúcar, sendo a amostragem realizada com o auxílio de um trado holandês, no meio da entrelinha da cultura. Foram coletadas amostras deformadas na profundidade de 0,25-0,50 m, as quais foram submetidas a análises físicas em laboratório. A análise física consistiu na determinação granulométrica das amostras, realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). A estimativa do potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar foi obtida a partir dos ambientes de produção (Joaquim et al., 1994; Joaquim et al., 1997), sendo os ambientes transformados em valores numéricos (0 a 10) para

análise dos dados, onde os melhores ambientes apresentam valores próximos a 10 e os piores ambientes apresentam valores próximos a 0.

### Análise estatística e geoestatística

A análise estatística foi efetuada com o SAS (Schlotzhaver & Littell, 1997) pela análise descritiva dos atributos. Foi realizada a correlação entre os atributos pesquisados. Objetivou-se detectar a existência de correlações significativas entre o potencial de produção do solo para a cultura da cana de açúcar com o teor de areia do solo na camada de 0,25 a 0,50 m. Seguidamente, efetuaram-se regressões entre os atributos.

A análise geoestatística foi feita com o programa Gamma Design Software 7.0 (GS+, 2004; Dalchiavon & Carvalho, 2012). Para cada atributo foi analisada a dependência espacial, pelo cálculo do semivariograma isotrópico. O avaliador da dependência espacial (ADE) foi classificado como: a) fraco ( $ADE \leq 0,25$ ), b) moderado ( $0,25 < ADE \leq 0,75$ ), e c) forte ( $ADE < 0,75$ ), proposto por Cambardella et al. (1994). Posteriormente, efetuaram-se krigagens ordinárias para os atributos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teor de areia (AR2) da camada 0,25-0,50 m apresentou os seguintes valores na análise da estatística descritiva: a) média de  $671 \text{ g kg}^{-1}$ ; b) mediana de  $706 \text{ g kg}^{-1}$ ; c) valor máximo de  $877 \text{ g kg}^{-1}$ ; d) valor mínimo de  $110 \text{ g kg}^{-1}$ ; e) desvio padrão de  $134 \text{ g kg}^{-1}$ ; f) coeficiente de variação de 20%; g) coeficiente de curtose de 1,879; e, h) coeficiente de assimetria de -1,392; sendo a distribuição indefinida (não normal). O potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar (AMB) apresentou os seguintes valores na análise da estatística descritiva: a) média de 5,3; b) mediana de 5,0; c) valor máximo de 9; d) valor mínimo de 1; e) desvio padrão de 1,8; f) coeficiente de variação de 34,2%; g) coeficiente de curtose de 0,148; e, h) coeficiente de assimetria de 0,331; sendo a distribuição também indefinida (não normal).

Devido a grande extensão da área e a ocorrência de pontos amostrais em vários tipos de solos, não foi possível avaliar de maneira homogênea a área, podendo ser esta a causa da não normalidade dos dados dos atributos analisados. Ambos os atributos (AR2 e AMB) apresentaram variabilidade média dos dados, segundo Warrick & Nielsen (1980). A normalidade dos dados não é uma exigência da geoestatística e valores elevados de CV podem ser considerados os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (Campos et al.,

2009). Souza et al. (2010b), estudando duas áreas de Latossolos, verificaram valores de CV para o teor de areia de 13,7 e 9,3. Já Campos et al. (2009) observaram valor de CV para o teor de areia de 23%, semelhante ao do presente trabalho. De acordo com Souza et al. (2004b), o teor de areia é um atributo estável, ou seja, modifica-se pouco ao longo do tempo por ação do intemperismo, portanto, apresenta baixos valores de CV.

Os semivariogramas dos atributos (AR2 e AMB) apresentaram os seguintes valores dos parâmetros determinados: a) modelo: ambos exponenciais; b) efeito pepita ( $C_0$ ):  $9,83 \cdot 10^3$  e 1,38; c) patamar ( $C_0+C$ ):  $1,97 \cdot 10^4$  e 3,34; d) alcance ( $A_0$ ): 11,8 e 9 Km; e) coeficiente de determinação espacial ( $r^2$ ): 0,750 e 0,862; f) soma do quadrado do resíduo (SQR):  $2,03 \cdot 10^7$  e 0,151; e, f) avaliador da dependência espacial (ADE): 0,500 e 0,586. Quanto às validações cruzadas foram obtidos os seguintes valores para os atributos (AR2 e AMB): coeficiente adjunto (a) igual a -36,14 e 0; coeficiente angular (b) igual a 1,053 e 1,001 e coeficiente de correlação (r) igual a 0,649 e 0,612.

Os atributos estudados (AR2 e AMB) apresentaram moderada dependência espacial, confirmando que suas variações não ocorrem ao acaso. Souza et al. (2010a) e Campos et al. (2009) ajustaram a produtividade da cultura da cana-de-açúcar e o teor de areia ao modelo esférico, e Souza et al. (2010b) observaram forte dependência espacial para os atributos estudados, diferindo do presente trabalho.

A equação de regressão do AMB em função dos teores de AR2 foi a seguinte:

$$AMB = 11,54 - 0,0093 AR2$$
$$(r = 0,684^{**}, n = 638)$$

Observa-se que a relação entre os atributos analisados é linear e inversa, portanto, pode-se aferir o potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar da região estudada pelo teor de areia na camada de 0,25-0,50 m. Souza et al. (2010b) correlacionaram diversos atributos do solo com a produtividade da cana-de-açúcar e constataram baixa correlação entre eles, com exceção da altitude.

Nos mapas de krigagem (Figuras 1 e 2) dos atributos AR2 e AMB, pode-se constatar semelhança entre eles, onde as regiões com maiores teores de areia proporcionam os piores valores para o ambiente de produção, constatando-se a correlação inversa destes atributos. Também Segundo Souza et al. (2010c), a definição da variabilidade espacial de atributos físicos do solo pode possibilitar o melhor controle dos fatores de produção das culturas e proteção ambiental.



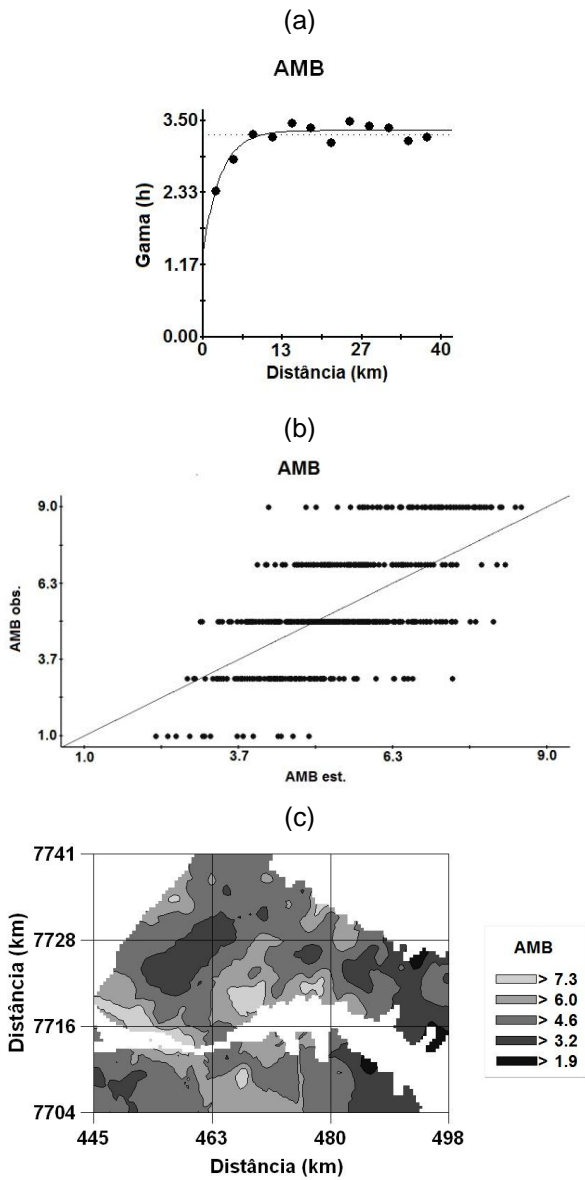
## CONCLUSÕES

O teor de areia do solo na camada de 0,25 a 0,50 m apresenta uma relação linear inversa ao potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar.

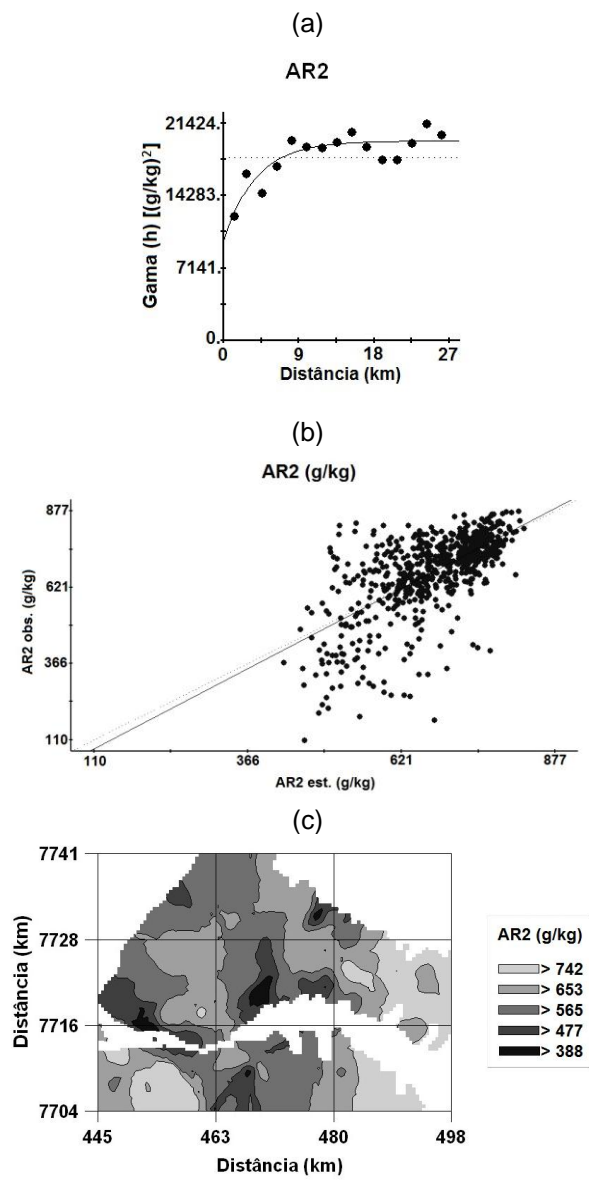
Os atributos estudados apresentam moderada dependência espacial, sendo possível a geração de mapas de krigagem, para auxiliar no manejo da cultura.

## REFERÊNCIAS

- 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 Soil. *Soil Science Society of America Journal*, 58:1501-1511, 1994.
- CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13:297-304, 2009.
- DALCHIAVON, F. C. & CARVALHO, M. P. Correlação linear e espacial dos componentes de produção e produtividade da soja. *Semina: Ciências Agrárias*, 33:541-552, 2012.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/ Centro Nacional de Pesquisa de Solo, 1997. 212p.
- GREGO, C. R. & VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:169-177, 2005.
- GS+: Geostatistics for Environmental Sciences. 7. ed. Michigan, Plainwell: Gamma Design Software, 2004. 159 p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo. São Paulo: São Paulo, 1981, v.1-2.
- JOAQUIM, A. C.; BELLINASSO, I. F.; DONZELLI, J. L.; QUADROS, A. C.; BARATA, M. Q. F. Potencial e manejo de solos cultivado com cana-de-açúcar. In: *Seminários Copersucar de Tecnologia Agrônômica*, 6, Piracicaba, 1994. p.1-9.
- JOAQUIM, A. C.; DONZELLI, J. L.; QUADROS, A. C.; SARTO, L. F. Potencial de produção de cana-de-açúcar. In: *Seminários Copersucar de Tecnologia Agrônômica*, 7, Piracicaba, 1997. p.68-76.
- SCHLOTZHAVER, S.D. & LITTELL, R.C. SAS system for elementary statistical analysis. 2.ed. Cary: SAS, 1997. 441p.
- SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; COLET, J. M.; RODRIGUES, L. H. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; MANDONI, R. J. A. Análise dos atributos do solo e da produtividade da cultura da cana-de-açúcar com o uso da geoestatística e árvore de decisão. *Ciência Rural*, 40:840-847, 2010a.
- SOUZA, Z. M.; CERRI, D. G. P.; MAGALHÃES, P. S. G.; SIQUEIRA, D. S. Spatial variability of soil attributes and sugarcane yield in relation to topographic location. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14:1250-1256, 2010b.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:937-944, 2004a.
- SOUZA, Z. M., MARQUES JÚNIOR, J., PEREIRA, G.T., BARBIERI, D. M. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo Vermelho eutroférico sob cultivo de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v.24, n.2, p.309-319, 2004b.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Geoestatística e atributos do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, 40:48-56, 2010c.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, 1980. 350p.



**Figura 1** – Semivariograma (a), validação cruzada (b) e mapa de krigagem (c) do potencial de produção do solo para a cultura da cana-de-açúcar.



**Figura 2** – Semivariograma (a), validação cruzada (b) e mapa de krigagem (c) dos teores de areia do solo da camada de 0,25-0,50 m.