

Geoestatística aplicada a condutividade elétrica do solo e altitude do solo cultivado com cana-de-açúcar

Célia Regina Grego^{1*}, Ladislau Marcelino Rabello^{2*}, Sandro Roberto Brancalhão^{3*}, Sidney Rosa Vieira^{4*}, Alex de Oliveira^{5*}

¹ Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por satélite, Av. Soldado Passarinho, 303, Jardim Chapadão, CEP 13070-115, Campinas, SP, Brasil

² Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, Rua XV de Novembro, 1452, São Carlos, SP, Brasil, CEP 13560-970, São Carlos, SP, Brasil

³ Pesquisador do Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana do IAC, Caixa postal 206, CEP 14001-970, Ribeirão Preto, SP, Brasil

⁴ Pesquisador do Centro de Solos e Recursos Agroambientais do Instituto Agronômico de Campinas, Av. Theodoro de Almeida Camargo, 1500, CEP 13075 630, Campinas, SP

⁵ Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Rod. Dom Pedro I Km 136, Parque das Universidades, CEP 13086-900 Campinas, SP, Brasil

*e-mail: crgrego@cnpem.embrapa.br; rabello@cnpdia.embrapa.br; brancaliao@iac.sp.gov.br; sidney@iac.sp.gov.br; alexoliveira@cnpem.embrapa.br

Resumo: A utilização de sensores para coleta de dados possibilita a redução de custos e melhor interpretação de mapas relacionados a produção das culturas, como no caso da cana-de-açúcar, de maneira mais eficiente e com maior acurácia. O objetivo do trabalho foi verificar a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo e da declividade do solo cultivado com cana-de-açúcar sob sistema de plantio direto. A área localiza-se na Fazenda Aparecida em Mogi mirim, SP e possui 17 ha. Foram obtidas a condutividade elétrica ($mS.m^{-1}$) com o sensor por contato direto Veris, ambos de 0-30 e 0-90 cm de profundidade e a cota topográfica (m) com nível topográfico. Foram obtidos os parâmetros estatísticos descritivos e realizada a análise geoestatística através do semivariograma, interpolação dos dados por krigagem e construção de mapas de isolinhas. Os semivariogramas mostraram dependência espacial para todas as variáveis. A condutividade elétrica apresentou correlação espacial para o mesmo local da área, correlacionando também com a cota topográfica. Conclui-se que a variabilidade espacial encontrada nos resultados de condutividade elétrica correspondem as diferenças de altitude e são úteis para diagnosticar características do solo e da planta que variam conforme a topografia do terreno.

Palavras-chave: cotas topográficas, variabilidade espacial, Veris.

Geostatistics applied to electrical conductivity of soil and altitude of the soil cultivated with sugar cane

Abstract: The use of sensors to collect data you can reduce costs and better interpretation of maps related to crop production, as in the case of cane sugar, more efficiently and with greater accuracy. The objective of this study was to determine the spatial variability of electrical conductivity of soil and slope soil tients with cane sugar under no-tillage system. The area is located in Aparecida farm in Mogi Mirim, SP and has 17 ha. We obtained the electrical conductivity ($mS.m^{-1}$) with the sensor by direct contact Veris, both 0-30 and 0-90 cm depth and topographic elevation (m) with level topography. Parameters were obtained and descriptive statistical analysis was performed using the geostatistical semivariogram, kriging interpolation of the data and construction of maps. The semivariograms showed spatial dependence for all variables. The electrical conductivity was correlated to the same spatial location of the area, also correlated with topographic elevation. We conclude that the spatial variability found in the results of electrical conductivity correspond to differences in altitude and are useful for diagnosing soil characteristics and plant which vary according to topography of the land.

Keywords: topographic elevation, spatial variability, Veris.



1. Introdução

Na agricultura atual, busca-se cada vez mais a utilização de equipamentos que permitam obter dados mais precisos e com maior eficiência para que possam ser correlacionados com outras propriedades de difícil obtenção, visando à redução de gastos e aumento de produtividade. Recursos mais avançados da eletrônica e computação, como os sistemas de posicionamento global (GPS), os sistemas de informação geográfica (SIG), os sistemas de controle, a aquisição e a análise de dados que considera a variabilidade espacial, como a Geoestatística, estão cada vez mais presentes no campo através da agricultura de precisão (MOLIN, 1997; VIEIRA, 2000).

A análise de distribuição espacial das propriedades dos solos, dos parâmetros de plantas e da produtividade, pode ser feita pela geoestatística, que se apresenta como importante ferramenta para análise da estrutura da dependência espacial das variáveis. Segundo Vieira (2000) a variabilidade de propriedades físicas do solo deve ser considerada, pois partir do princípio de que são homogêneas pode mascarar os resultados dos tratamentos aplicados.

O conhecimento dos níveis de condutividade elétrica do solo, determinada sem limitação de densidade amostral, permite correlação com outros fatores do solo onde sua variação espacial e temporal pode ser atribuída às variações nos teores de água, de argila, de sais dissolvidos no solo (AUERSWALD; SIMON; STANJEK, 2001), servindo para classificar o solo quanto a sua capacidade de produção (ANDERSON COOK et al., 2002). A condutividade elétrica do solo tem chamado a atenção, principalmente por ser obtida através de métodos eficientes e rápidos como pelos sensores de contato direto encontrados no mercado. Com todas estas informações, os mapas das culturas poderão ser melhor interpretados, como para a cultura da cana-de-açúcar.

O trabalho teve o objetivo de verificar a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo e das cotas topográficas numa área cultivada com cana-de-açúcar sob sistema de plantio direto em Mogi Mirim, SP.

2. Material e métodos

A área de estudo localiza-se na Fazenda Aparecida, no município de Mogi Mirim, Estado de São Paulo, com coordenadas de referência UTM zona 23 S, 7505136 N, 299621 E. O clima da região é Cwa na classificação de Koppen, o relevo local e regional é suave ondulado e o solo é o Latossolo vermelho escuro. A área amostrada ocupa aproximadamente 17 ha e apresenta o seguinte manejo: cultivo com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) em sistema de plantio direto por 12 anos.

O equipamento utilizado para medir a condutividade elétrica foi o sensor por contato direto Veris, composto de seis discos de corte, ou seja, quatro sensores que penetram no solo e dois eletrodos que injetam a corrente elétrica, acoplado no trator equipado com GPS e receptor de dados. Os sensores transmitiram valores de 0-30 e de 0-90 cm de profundidade. Discos percorreram superficialmente o solo obtendo-se uma medição de condutividade elétrica por segundo ($\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$). As cotas (m) foram obtidas com nível topográfico em 202 pontos de amostragem.

Inicialmente os dados foram analisados pela estatística descritiva obtendo-se a média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo, assimetria e curtose. Para verificar a variabilidade espacial das variáveis, os dados foram analisados pela geoestatística, através da construção e ajuste de semivariogramas, krigagem para interpolação de dados e construção de mapas de isolinhas, descritos em Vieira (2000). Os programas utilizados para as análises foram desenvolvidos segundo Vieira et al. (2002), e os mapas foram gerados no programa Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

3. Resultados e discussão

De acordo com a Tabela 1 verifica-se que a variável que apresentou maior coeficiente de variação foi a condutividade elétrica de 0-90 cm, seguida da condutividade elétrica de 0-30 cm, sendo considerados altos segundo a classificação de Warrick e Nielsen (1980), o que pode ser melhor examinado pelos valores máximos e mínimos em relação aos da cota topográfica. Assimetria e curtose

indicam a proximidade da distribuição de frequência de dados normal, pois seus valores se aproximam de 0, com exceção da condutividade elétrica de 0-30 cm, por existir valores discrepantes. Percebe-se também pelos valores máximos e mínimos que a condutividade elétrica foi maior na superfície (0-30 cm) do que em profundidade (0-90 cm).

Os semivariogramas (Figura 1) mostraram dependência espacial para todas as variáveis analisadas. Os ajustes foram todos gaussianos, sendo que para a cota topográfica (Figuras 1c), trabalhou-se com o resíduo da retirada de tendência linear. Os alcances variaram de 175 a 240 m (Figura 1), indicando as distâncias máximas para atingir o patamar (C1) da dependência espacial. Para valores de distância maiores do que o alcance, os dados são considerados aleatórios.

Os mapas de isolinhas para as variáveis as quais foi verificada a variabilidade espacial estão apresentados na Figura 2. Foi possível construir mapas de isolinhas (Figura 2) devido à interpolação por krigagem ordinária, que segundo Vieira (2000), possui a vantagem de interpolar sem tendência e com variância mínima.

A condutividade elétrica do solo (Figuras 2a e b) apresentou espacialmente as disposições das manchas semelhante para as duas profundidades (0-30 cm e 0-90 cm) e também para a cota topográfica (Figura 2c). Segundo Auerswald, Simon e Stanjek (2001) a variação espacial da condutividade elétrica do solo pode ser atribuída às variações topográficas do terreno o que confirma o resultado deste trabalho. As disposições das manchas semelhantes indicam que as causas da variabilidade espacial encontrada nos resultados de

Tabela 1. Estatística descritiva para condutividade elétrica e altimetria da Fazenda Aparecida, Mogi Mirim, São Paulo.

Variáveis	Média	Variância	Desvio padrão	CV (%)	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
Condutividade elétrica								
0-0,30 m (a)	2,27	0,60	0,77	33,99	0,40	11,30	1,72	12,46
0-0,90 m (b)	2,13	0,88	0,94	44,03	0,25	8,25	0,71	1,17
Altimetria								
Cota (metros)	666,90	114,20	10,68	1,60	651,00	688,40	0,20	-1,27

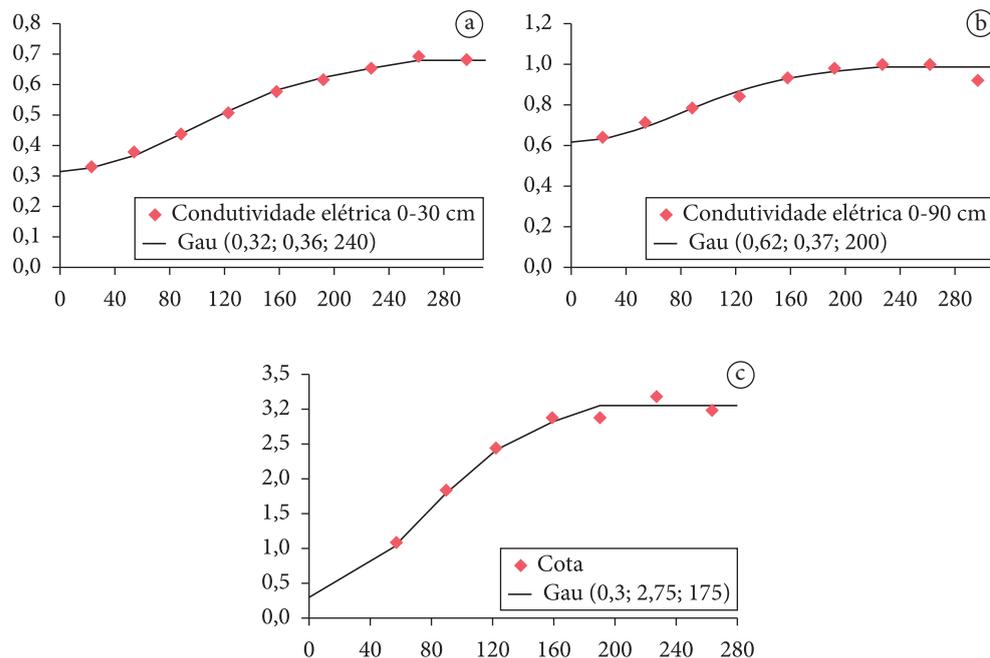


Figura 1. Semivariogramas ajustados para a) condutividade elétrica 0-30 cm; b) condutividade elétrica 0-90 cm; c) cota altimétrica da área em metros.

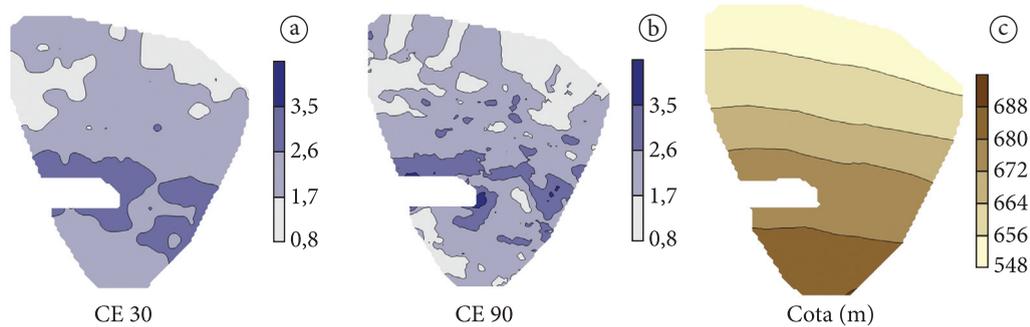


Figura 2. Mapas de isolinhas: a) condutividade elétrica 0-30 cm; b) condutividade elétrica 0-90 cm; c) cota altimétrica (m).

condutividade elétrica do solo podem ser atribuídas aos mesmos fatores afetados pela topografia do terreno concordando com os resultados de Anderson Cook et al. (2002), que classificaram solos com precisão de 90% quando combinados dados de condutividade elétrica.

4. Conclusões

- A dependência espacial foi identificada para a condutividade elétrica e para cota topográfica com alcance variando de 175 a 240 m.
- Houve alta correlação espacial entre a condutividade elétrica nas duas profundidades estudadas e também com a cota topográfica.

Referências

ANDERSON COOK, C. M.; ALLEY, M. M.; ROYGARD, J. K. F.; KHOSLA, R.; NOBLE, R. B.; DOOLITTLE, J. A. Differentiating soil types using electromagnetic conductivity and crop yield map. *Soil Science Society of America Journal*, v. 66, p. 1562-1570, 2002. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2002.1562>

AUERSWALD, K.; SIMON, S.; STANJEK, H. Influence of soil properties on electrical conductivity under humid water regimes. *Soil Science*, v. 166, n. 6, p. 382-390, 2001. <http://dx.doi.org/10.1097/00010694-200106000-00003>

GOLDEN SOFTWARE. *Surfer 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientists engineers: User's Guide*. New York: Golden software Inc., 1999. 619 p.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão, parte I: O que é e estado da arte em sensoriamento. *Engenharia Agrícola*, v. 17, n. 2, p. 97-107, 1997.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G.R. (Eds.). *Tópicos em Ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. v. 1, p. 1-54.

VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Eds.). *Tópicos em Ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2002. v. 2, p. 1-45.

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.