

CORRELAÇÃO ESPACIAL ENTRE A PRODUTIVIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

FERNANDA R. M. MIGUEL¹, SIDNEY R. VIEIRA¹, MÁRCIO K. CHIBA¹ CÉLIA R. GREGO²,
GLÉCIO M. SIQUEIRA¹

¹ Eng^a Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, IAC - Instituto Agrônomo, Campinas, SP, fernanda.mrosa@hotmail.com; sidney@iac.sp.gov.br; mkchiba@iac.sp.gov.br; glecio@iac.sp.gov.br

² Eng^a Agrônoma, Pesquisadora Científica, Depto Monitoramento por Satélite, EMBRAPA, Campinas – SP

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão – ConBAP 2010
Ribeirão Preto - SP, 27 a 29 de setembro 2010

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi correlacionar espacialmente a produtividade da cultura da cana-de-açúcar e alguns atributos químicos do solo. A área experimental apresenta aproximadamente 18 ha, e foi demarcada com 105 pontos para amostragem da produção e 203 pontos para análise química do solo na camada de 0-0,2 m de profundidade. Os dados foram submetidos à análise de estatística descritiva, geoestatística e foram gerados mapas interpolados por krigagem e cokrigagem ordinária. O pH, Ca e Mg foram eficientes na determinação de valores de produtividade em locais não amostrados. Isto indica que estas variáveis foram as que tiveram maior correlação espacial com a produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: cokrigagem, variabilidade espacial, fertilidade do solo.

SPATIAL CORRELATION BETWEEN SUGAR CANE YIELD AND SOIL CHEMICAL ATTRIBUTES

ABSTRACT: The objective of this work was to correlate spatially the cane sugar yield and some soil chemical properties. The experimental area has about 18 ha, and was marked with 105 sampling points for production and 203 points for soil chemical analysis at the layer 0-0.2 m. The data were analyzed by descriptive statistics, geostatistics and generated maps were interpolated by ordinary kriging and cokriging. The pH, Ca and Mg were effective in determining productivity values in locations not sampled. This indicates that these variables were of greater spatial correlation with yield.

KEYWORDS: cokriging, spatial variability, soil fertility

INTRODUÇÃO: A variabilidade espacial da produtividade agrícola é uma questão muito importante nos modernos sistemas de produção. Dentre os vários atributos do solo, as características químicas estão entre as que mais podem afetar o rendimento das culturas. A otimização de um sistema está relacionada à aplicação de agrotóxicos e fertilizantes de maneira eficiente, para que não gere problemas ambientais e aumento do custo de produção DODERMANN & PING (2004). A capacidade do solo em fornecer nutrientes, é uma propriedade que varia de um local para outro com algum grau de continuidade e o seu manejo visando um tratamento localizado requer o conhecimento da dependência espacial dos seus atributos para que essas informações possam beneficiar tanto o planejamento quanto a sustentabilidade agrícola de propriedades rurais. A variabilidade espacial dos elementos químicos do solo pode ser detalhadamente estudada usando a análise geoestatística, que é o conjunto de técnicas que possibilita, de acordo com VIEIRA & GONZALES (2003), a indicação de locais que necessitam de tratamento diferenciado quanto ao manejo, sem prejuízo para a representatividade, possibilitando maior detalhamento da área. O objetivo deste trabalho foi

correlacionar espacialmente a produtividade da cultura da cana-de-açúcar e alguns atributos químicos do solo.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi conduzido na Fazenda Aparecida, localizada no município de Mogi Mirim, SP, num Nitossolo Vermelho eutrófico, em uma área de aproximadamente 18 ha manejada sob sistema plantio direto com o cultivo de cana-de-açúcar, cultivar SP 803280, desde 1995. São aplicados anualmente na área 500 kg ha⁻¹ de calcário, 500 kg ha⁻¹ de gesso e 130 kg ha⁻¹ de KCl por safra. Para a amostragem dos atributos químicos do solo, a área foi demarcada com 203 pontos de amostragem espaçados de 30 em 30 m, sendo as coordenadas medidas com GPS. A coleta do solo foi realizada com trado tipo holandês na profundidade de 0,0-0,2 m para a determinação do pH, Ca, Mg. As amostras coletadas foram levadas ao laboratório para análise química seguindo a metodologia de RAIJ et al. (2001). Para a inferência da produtividade, a área foi demarcada em grade de 30 x 60 m, perfazendo um total de 105 pontos amostrais. O método aplicado para esta amostragem foi adaptado de GHELLER et al. (1999), que estima o peso total da parcela através da multiplicação do número de colmos da área amostrada pelo peso médio de cada colmo, este determinado através de amostragem. A produtividade foi estimada para cada ponto amostral multiplicando-se o número de colmos de três linhas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento, pela massa média de 10 colmos colhidos aleatoriamente dessas linhas. Tendo em vista o espaçamento entrelinhas de 1,4 m, pôde-se calcular a produtividade por hectare. Os dados foram analisados em termos de parâmetros da estatística descritiva. A geoestatística foi utilizada como ferramenta para a determinação da dependência espacial através da análise de semivariograma e semivariograma cruzado, da interpolação de dados por krigagem e cokrigagem e da construção de mapas de isolinhas. Também foi calculado o grau de dependência espacial (GD), classificado conforme ZIMBACK (2001) em fraco se GD < 25%; moderado se GD está entre 25% e 75%; e forte se GD > 75%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Observando os valores médios do Ca e Mg na tabela 1, verifica-se, segundo o critério de interpretação de análise química do solo descrito por RAIJ et al. (1997), que eles apresentaram-se com alto e médio teor no solo, respectivamente. Esta classificação com base apenas nos valores médios de cada nutriente deve ser cautelosa, haja vista os altos CVs que comprovam uma alta variabilidade dessas variáveis. O uso de valores médios como referência para manejo e adubação do solo, pode resultar em sub ou superdosagens na área.

TABELA 1. Parâmetros da estatística descritiva para a produtividade da cana-de-açúcar e os atributos químicos do solo.

Variáveis	Unidade	Média	D.P.	C.V. (%)	Assimetria	Curtose	d	Distribuição
pH	mg dm ⁻³	5.05	0.33	6.63	-0.22	-0.28	0.08	Não normal
Ca	mmol _c dm ⁻³	34.70	11.77	33.92	0.17	-0.02	0.04	Normal
Mg	mmol _c dm ⁻³	7.61	2.92	38.41	0.49	-0.29	0.12	Não normal
Produtividade	t ha ⁻¹	143.0	30.58	21.38	0.27	-0.62	0.06	Normal

pH- potencial hidrogeniônico; Ca- cálcio; Mg- magnésio; e d- teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade.

Considerando a classificação proposta por GOMES (2000), somente o pH apresentou CV baixo (< 10%) corroborando os CVs obtidos por SILVA et al., (2007) e SOUZA et al. (2007). A produtividade apresentou alto CV (entre 20 e 30%) e as demais variáveis, muito alto (> 30%). BECKETT & WEBSTER (1971) afirmam que Ca e Mg são atributos do solo muito alterados pelo manejo, em se tratando de variabilidade, o que pode evidenciar alterações provocadas pelo homem com adubações e calagens sucessivas e irregulares, bem como efeitos residuais de adubações anteriores. A grande justificativa sugerida é a existência de maior variabilidade do solo com a adoção do sistema plantio direto, quer no sentido horizontal, pela distribuição irregular na superfície do solo, quer ainda no sentido vertical, pelas diferenças nos teores de uma camada mais superficial em relação à outra mais abaixo (AMARAL & ANGHINONI, 2001). Entretanto, mesmo que os valores do CV sejam moderados, este não é necessariamente um bom indicador da variabilidade espacial dos atributos do solo, já que não mostra como os valores se comportam espacialmente. O ajuste dos dados em uma distribuição do tipo normal foi avaliado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, a 5% de significância, indicando a normalidade apenas para o Ca e a produtividade. Segundo GONÇALVES et al. (2001), a

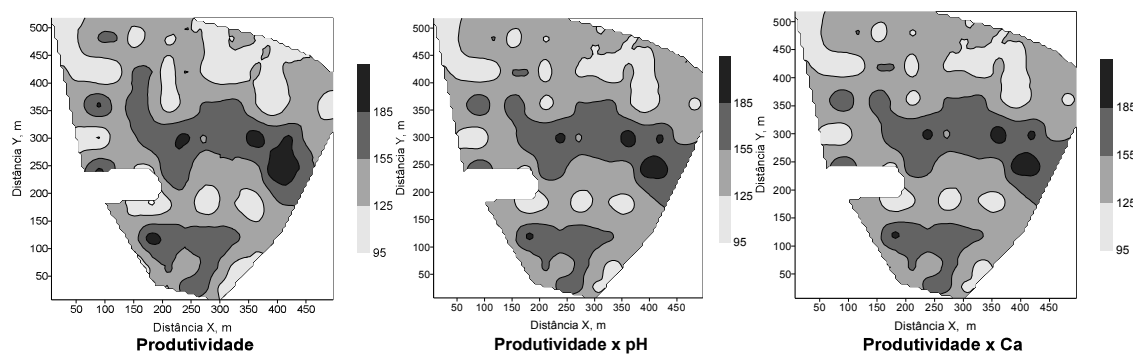
normalidade dos dados é interessante na avaliação da dependência espacial, porém mais importante que isso é sua utilização para verificar a não tendência dos dados, conforme mostra o presente estudo. Na tabela 2 Verifica-se que os atributos estudados apresentaram dependência espacial, a qual é expressa por meio do ajuste dos semivariogramas aos modelos esférico e gaussiano e exponencial.

TABELA 2. Parâmetros dos semivariogramas para a produtividade e os atributos do solo.

Variável	Modelo	C_0	C_1	a	r^2	GD
Produtividade	Exponencial	0	977,45	79,0	0,59	100
pH	Esférico	0,06	0,05	210,00	0,73	45,63
Ca	Esférico	52,77	90,30	205,00	0,86	63,11
Mg	Esférico	4,46	5,27	205,00	0,85	54,17
Prod x pH	Gaussiano	0	0,91	178,41	0,78	100
Prod x Ca	Gaussiano	0	26,19	158,24	0,83	100
Prod x Mg	Esférico	-2,59	-1,53	220	0,14	37,08

C_0 - efeito pepita; C_1 - variância estruturada; a- alcance; r^2 - coeficiente de determinação; e GD- grau de dependência espacial.

Para analisar o grau de dependência espacial (GD) das variáveis em estudo, avaliou-se a razão entre a variância estrutural (C_1) e o patamar (C_0+C_1), expressa em porcentagem, utilizando-se a classificação de ZIMBACK (2001). Nesta análise o GD apresentou-se moderado para o pH, Ca, Mg e para o cruzamento entre a produtividade e o Mg, já que estas variáveis apresentaram efeito pepita (C_0) alto, indicando que a variabilidade ao acaso em distâncias menores que a distância entre os pontos amostrais, apresenta uma significativa contribuição para a variância total nessa situação, ou seja, de plantio direto de cana-de-açúcar. As demais variáveis apresentaram GD forte (100%), mostrando que não há variabilidade ao acaso. Os valores de alcance obtidos foram maiores que o valor de espaçamento entre as amostragens, indicando que as amostras estão correlacionadas umas as outras, o que permite que se façam interpolações (VIEIRA, 2000). Os parâmetros do semivariograma cruzado mostraram que houve dependência espacial positiva entre as variáveis correlacionadas, com exceção do Mg que se correlacionou negativamente com a produtividade, ou seja, aonde a produtividade foi maior o teor de Mg foi menor. Observando-se os mapas (Figura 1) de produtividade obtidos pela cokrigagem, estes utilizando o pH, Ca e Mg como variáveis auxiliares, verifica-se que praticamente não houve grandes diferenças entre eles quando comparado com os mapas obtidos por krigagem, o que indica a possibilidade de estimativa da produtividade por essas variáveis químicas. Verifica-se, portanto, a possível influência da acidez do solo e da necessidade de calagem na distribuição espacial da produtividade da cultura. Segundo ROSSETTO et al. (2004) os acréscimos na produtividade da cana-de-açúcar em resposta à calagem são esporádicos e quando estas respostas ocorreram foram obtidas em condições de severa acidez, na presença de alumínio em níveis tóxicos e, principalmente, na ausência de teores adequados de cálcio e magnésio. No entanto, no presente trabalho verificou-se que mesmo em um solo com valores médios de pH, Ca e Mg houve uma correlação espacial entre a produtividade e estes atributos estudados. Verifica-se que nesta situação o efeito fisiológico do pH nas plantas é o principal componente a ser analisado em função dos teores adequados de Ca e Mg.



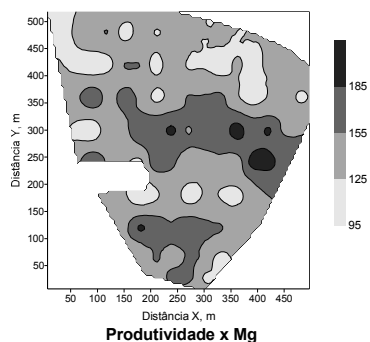


FIGURA 1. Mapas da produtividade ($t\ ha^{-1}$), pH x produtividade, Ca x produtividade e Mg x produtividade.

CONCLUSÃO: O pH, Ca e Mg foram eficientes na determinação de valores de produtividade em locais não amostrados. Isto indica que estas variáveis foram as que tiveram maior correlação espacial com a produtividade.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A.S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.4, p.695-702, 2001.
- BECKETT, P.H.T. & WEBSTER, R. Soil variability: A review. **Soils Fert.**, v.34, p.1-15, 1971.
- DODERMANN, A.; PING, J. L. 2004. Geostatistical integration of yield monitor data and remote sensing improves yield maps. *Agronomy Journal*, v. 96, n. 1, p. 285-297.
- GHELLER, A.C.A.; MENEZES, L.L.; MATSUOKA, S.; MASUDA, Y.; HOFFMANN, H.P.; ARIZONO, H.; GARCIA, A.A.F. **Manual de método alternativo para medição da produção de cana-de-açúcar**. Araras: UFSCAR/CCA/DBV, 1999. 7p.
- GOMES, J. B. V.; BOLFE, E. L.; CURTI, N.; FONTES, H. R.; BARRETO, A. C.; VIANA, R. D. Variabilidade espacial de atributos de solos em unidades de manejo em área piloto de produção integrada de coco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p. 2471-2482, 2008.
- GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.V. & MATA, J.D.V. Análise exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Sci.**, v.23, p.1149-1157, 2001.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (ed) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. 2004. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação coma adubação potássica. *Bragantia*, v. 63, n.1.
- SILVA, F.M.; SOUZA, Z.M.; FIGUEIREDO, C.A.P.; MARQUES JUNIOR, J.; MACHADO, R.V. Variabilidade espacial de atributos químicos e da produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, n.37, p.401-407, 2007.
- SOUZA, Z.M.; BARBIERI, D.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T.; CAMPOS, M.C.C. Influência da variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo na aplicação de insumos para cultura da cana-de-açúcar. **Cienc. Agrotec**, v.31, p.371-377, 2007.
- 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, p. 1-54.
- VIEIRA, S. R., GONZALEZ, A. P. 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Bragantia*, v.62, p.127 – 138.
- ZIMBACK, C.R.L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. 114f. Tese (Livro Docência) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu.