

# Estoque de carbono no solo e produtividade da cana-de-açúcar analisados quanto a variabilidade espacial

Célia Regina Grego<sup>1\*</sup>, Alex de Oliveira<sup>2\*</sup>, Sandra Furlan Nogueira<sup>1\*</sup>,  
Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues<sup>1\*</sup>, Sandro Roberto Brancalhão<sup>3</sup>,  
André Luiz dos Santos Furtado<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Pesquisadores da Embrapa Monitoramento por satélite, Av. Soldado Passarinho, 303, Jardim Chapadão, CEP 13070-115, Campinas, SP, Brasil

<sup>2</sup> 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

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

\*e-mail: [crgrego@cnpem.embrapa.br](mailto:crgrego@cnpem.embrapa.br); [alexpu@gmail.com](mailto:alexpu@gmail.com); [sandra@cnpem.embrapa.br](mailto:sandra@cnpem.embrapa.br),  
[crisagr@cnpem.embrapa.br](mailto:crisagr@cnpem.embrapa.br); [brancaliao@iac.sp.gov.br](mailto:brancaliao@iac.sp.gov.br); [andre@cnpem.embrapa.br](mailto:andre@cnpem.embrapa.br)

**Resumo:** O conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo vem facilitar o estudo de suas relações com a produtividade das culturas. O objetivo do presente trabalho foi analisar a variabilidade espacial do estoque de carbono de 0-10 e de 10-20 cm e verificar sua correlação com a produtividade da cana-de-açúcar no município de Mogi Mirim, SP. As amostras de solo, para a determinação do estoque de carbono, e dos colmos, para obtenção da produtividade, foram obtidas numa grade de pontos georreferenciados em área de cana-de-açúcar de quinto corte cultivada em sistema de plantio direto. Os resultados indicaram que houve dependência espacial tanto para o estoque de carbono quanto para a produtividade da cana-de-açúcar. Os dados de estoques de carbono se correlacionaram positivamente em profundidade e espacialmente, em locais onde houve maior estoque de 0-10 cm também houve maior estoque de carbono de 0-20 cm. Com relação ao estoque de carbono e a produtividade da cana-de-açúcar, a correlação foi menor, porém positiva, o que não foi suficiente para se identificar espacialmente esta correlação.

**Palavras-chave:** dependência espacial, geoestatística, matéria orgânica.

## *Carbon stock in soil and productivity of sugar cane reviewed as to spatial variability*

**Abstract:** The knowledge of the spatial distribution of soil attributes make it easier to study their relationships with crop productivity. The objective of this study was to analyze the spatial variability of carbon stocks of 0-10 and 10-20 cm and check its correlation with the productivity of sugar cane in the city of Mogi Mirim, SP. Soil samples for determination of carbon stocks, and the stalks to obtain productivity, were obtained from a georeferenced grid points in the area of cane sugar grown in the fifth cut-till system. The results indicated that there was spatial dependence for both carbon storage and for the productivity of cane sugar. Data on carbon stocks were positively correlated spatially and in depth, in places where there was a greater stock of 0-10 cm was also greater carbon storage of 0-20 cm. With respect to carbon storage and productivity of sugar cane, the correlation was lower, but positive, which was not enough to identify this spatial correlation.

**Keywords:** spatial dependence, geoestatistical, matter organic.

## 1. Introdução

A reserva de carbono na matéria orgânica do solo é uma importante estratégia para atenuar a concentração de dióxido de carbono na atmosfera. O armazenamento de carbono preferencialmente na fração estável da matéria orgânica representa um benefício ambiental cuja manutenção depende fundamentalmente do manejo do solo (BAYER et al., 2004).

Um importante sistema de cultivo, como o da cana-de-açúcar, pode apresentar diferenças significativas em seu estoque de carbono do solo, sendo que essas diferenças são atribuídas a variação de manejo empregado e ao tempo em que a mudança do uso da terra ocorreu. O manejo adequado do solo pode melhorar sua estrutura física e fertilidade, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub> pelo maior acúmulo de material vegetal sob o solo acarretando em alta produtividade das plantas (BELZÁRIO, 2008).

As alterações no solo devem ser analisadas considerando a sua variabilidade espacial, visto que seus atributos variam no espaço geográfico com certo grau de dependência espacial devido a diferentes fatores como relevo, clima e vegetação. A análise geoestatística é uma ferramenta adequada para identificar esta dependência espacial. Vieira (2000) recomenda a adoção da geoestatística como rotina em análise dos dados agrícolas principalmente quando se está trabalhando numa área pela primeira vez e pouco se sabe sobre sua estrutura espacial. Esta técnica incorpora a possibilidade de se estudar o comportamento da variabilidade espacial, permitindo a interpretação dos resultados com base nos mapas de dados interpolados garantindo mínima variância e sem tendência.

O objetivo do presente trabalho foi analisar a variabilidade espacial do estoque de Carbono e verificar sua relação com a produtividade da cana-de-açúcar no município de 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 3 ha e apresenta o seguinte manejo: cultivo com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) em sistema de plantio direto por 12 anos.

O solo foi amostrado nas profundidades de 0-10 cm e de 10-20 cm sendo coletadas amostras em pontos georreferenciados na grade de amostragem de 50 pontos.

As amostras foram encaminhadas ao laboratório para a obtenção do teor de matéria orgânica através da metodologia de Raij et al. (2001) nos pontos da área amostrada. A densidade do solo foi obtida por meio do método do anel volumétrico segundo Camargo et al. (1986) e foi utilizada para cálculo do estoque de carbono no solo em cada uma das duas profundidades, segundo metodologia utilizada por Rangel e Silva (2007).

Os dados da produção da cana-de-açúcar do ano de 2010 foram obtidos pela colheita da variedade SP 3280 de quinto corte realizada através da pesagem de 10 colmos em 111 pontos de amostragem e os colmos e perfilhos foram contados numa linha de 2 m em cada um dos pontos. Os dados foram tabulados e calculou-se a produtividade de cana em t.ha<sup>-1</sup>.

Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva para verificar possíveis dados discrepantes e a normalidade nos dados. A correlação entre os dados de estoque de carbono e produtividade também foi obtida através da matriz de correlação. A análise geoestatística foi realizada através da construção e ajuste de semivariogramas, interpolação por krigagem ordinária e construção de mapas de isolinhas. Para as análises de semivariograma e krigagem foram utilizados os programas desenvolvidos por Vieira (2002) e os mapas de isolinhas no programa Surfer 9.

### 3. Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise estatística descritiva para o estoque de carbono e a produtividade da cana-de-açúcar. Quanto à distribuição de frequência dos dados, os coeficientes de simetria e curtose são próximos de zero, o que leva ao indicativo de normalidade de distribuição e, que a variação nos dados foi mediana, com coeficientes de variação de 14,71 para estoque de carbono na camada de 0-10 cm a 23,35% para a produtividade da cana. Em média o estoque de carbono no solo foi maior na camada superficial (0-10 cm) comparado com o de 10- 20 cm. Isto pode ser decorrente do sistema de cultivo da cana-de-açúcar ser em plantio direto. Segundo Canellas et al. (2003), nos sistemas conservacionistas ocorre incremento de matéria orgânica na superfície do solo o que conseqüentemente leva ao maior estoque de carbono nesta camada.

Os dados foram correlacionados e a matriz de correlação (Tabela 2) não indicou forte correlação entre estoque de carbono e produtividade. Para

o estoque de carbono nas profundidades de 0-20 e 10-20 cm a correlação foi maior.

A análise de dependência espacial, por meio da construção e ajuste de semivariogramas, permitiu identificar a dependência espacial nos dados. Os semivariogramas estão na Figura 1.

Com ajustes esféricos aos semivariogramas, os alcances variaram de 100 a 200 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.

Identificada a dependência espacial, 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.

Verifica-se que os mapas possuem uma área semelhante quanto ao estoque de carbono em profundidade. Na parte esquerda dos mapas (Figuras 2a e b) ocorre maiores estoque de carbono. Já para a produtividade da cana-de-açúcar comparada com o estoque de carbono, esta

**Tabela 1.** Estatística descritiva do estoque de carbono no solo de (t.ha<sup>-1</sup>) de 0-10 cm e de 10-20 cm de profundidade, e da produtividade da cana-de-açúcar (t.ha<sup>-1</sup>).

Variáveis	Média	Variância	Desvio padrão	Coefficiente de variação	Mínimo	Máximo	Simetria	Curtose
Estoque de carbono t.ha <sup>-1</sup> 0-10 cm	25,69	14,29	3,78	14,71	18,02	33,16	-0,158	-0,480
Estoque de carbono t.ha <sup>-1</sup> 10-20 cm	24,23	15,80	3,97	16,40	18,98	34,00	0,759	-0,81
Produtividade da cana t.ha <sup>-1</sup>	117,80	757,00	27,51	23,35	57,10	187,10	0,092	-0,017

**Tabela 2.** Matriz de correlação com coeficientes de correlação do estoque de carbono e da produtividade da cana-de-açúcar.

	Estoque de carbono 0-10 cm	Estoque de carbono 10-20 cm	Produtividade da cana-de-açúcar
Estoque de carbono 0-10 cm	1	0,44	0,17
Estoque de carbono 10-20 cm	0,44	1	0,10
Produtividade da cana-de-açúcar	0,17	0,10	1

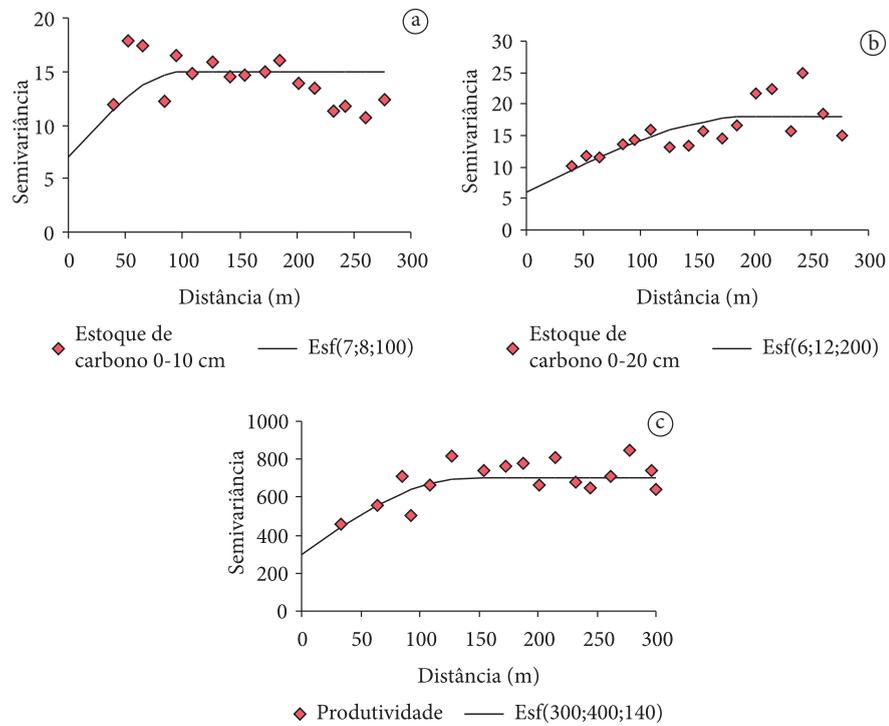


Figura 1. Ajuste dos semivariogramas: a) Estoque de carbono no solo ( $t.ha^{-1}$ ) de 0-10 cm; b) Estoque de carbono no solo ( $t.ha^{-1}$ ) de 10-20 cm; c) Produtividade da cana-de-açúcar ( $t.ha^{-1}$ ).

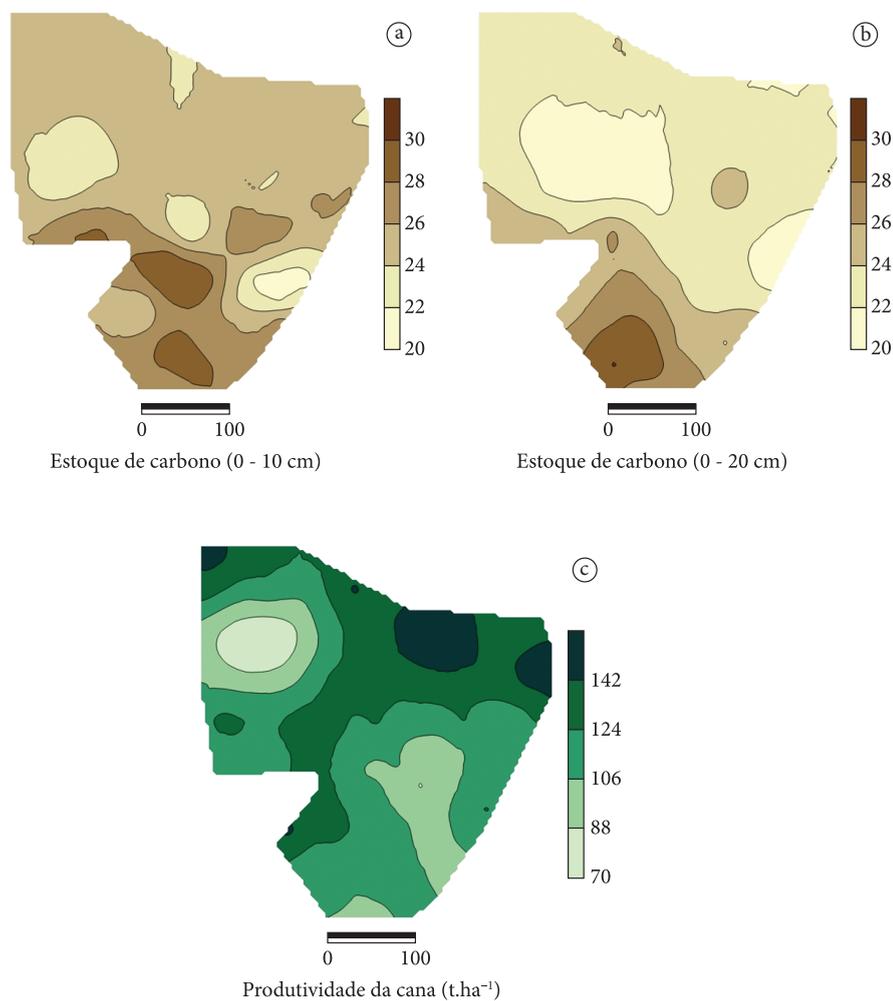


Figura 2. Mapas de isolinhas: a) Estoque de carbono no solo ( $t.ha^{-1}$ ) de 0-10 cm; b) Estoque de carbono no solo ( $t.ha^{-1}$ ) de 10-20 cm; c) Produtividade da cana-de-açúcar ( $t.ha^{-1}$ ).

correlação espacial não ocorre, pois a correlação, apesar de positiva é muito baixa (Tabela 2).

#### 4. Conclusões

- Houve dependência espacial para o estoque de carbono e para a produtividade da cana-de-açúcar com ajuste esférico e alcances variando de 100 a 200 m.
- Foram identificadas semelhanças nos mapas quanto às manchas de estoques de carbono quando comparados em profundidade. Para a produtividade da cana-de-açúcar e estoques de carbono esta correlação espacial não foi encontrada.

#### Referências

- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700009>
- BELZÁRIO, M. H. **Mudança no estoque de carbono devido ao uso da terra no sudoeste da Amazônia**. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição De Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, L. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1986. 93 p. (Boletim técnico, n. 106).
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 935-944, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000500018>
- RAIJ, E. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Editora IAC, 2001.
- RANGELI, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações orgânicas de latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 1609-1623, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600037>
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. **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. H.; SCHAEFER, G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2002. v. 2, p. 1-45.