

Lúcia H. G. Chaves¹Carlos H. de A. Farias²

Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar

RESUMO

Estimativas de estoques de carbono nos solos do Brasil são poucas e se deparam com a falta de informações sobre a quantidade de carbono orgânico nos solos sob diferentes usos e em diferentes regiões. O objetivo deste trabalho foi estimar o estoque de carbono e avaliar sua variabilidade espacial em um Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar no município de Capim, PB. O solo foi amostrado nos pontos de cruzamento de uma malha de 300 x 400 m, perfazendo o total de 68 pontos em 790 ha, em três profundidades, de acordo com a topografia natural da área. Os dados de estoque de carbono foram submetidos às análises: estatística descritiva, geoestatística e interpolação por krigagem. O coeficiente de variação indicou variabilidade média nas profundidades de 0-30 e de 30-63 cm e alta variabilidade na profundidade de 63-100 cm. Observou-se, na camada superficial, um grau moderado de dependência espacial e alto grau de dependência espacial nas profundidades de 30-63 e 63-100 cm. O estoque de carbono na camada superficial correspondeu, em média, a 33,82 Mg ha⁻¹ enquanto nos demais horizontes foi 26,37 e 21,21 Mg ha⁻¹, respectivamente. O uso da técnica de geoestatística possibilitou a descrição do estoque de carbono do solo o que permitiu a definição de zona específica de manejo.

Palavras-chave: geoestatística, carbono orgânico, qualidade do solo

Spatial variability of carbon stocks in the Coastal Tablelands of Paraíba state, Brazil: Soil cultivated with sugarcane

ABSTRACT

Estimates of carbon stocks in Brazilian soils are few and difficult to obtain due to the lack of information on the amount of soil organic carbon under different uses and in different regions. The aim of this study was to evaluate the carbon stocks and its spatial variability in an Ultisol cultivated with sugarcane. The study was carried out in a 790 ha area in the surroundings of municipality of Capim, Paraíba State, Brazil. A 300 x 400 m grid was projected onto the experimental area. Soil samples were obtained at each grid point (68 points) in three depths in accordance with the natural topography of the area. The data set was submitted to descriptive statistics, geostatistics and kriging analyses. The coefficient of variation indicated medium variability at depths 0 – 30 and 30 – 63 cm and high variability in 63 – 100 cm depth. Moderate spatial dependence was observed in the surface layer and strong spatial dependence at the depths of 30 – 63 and 63 – 100 cm. The carbon stock in the surface layer was, on average, 33.82 Mg ha⁻¹, whereas in the other layers were 26.37 and 21.21 Mg ha⁻¹, respectively. The geostatistic analysis allowed a description of soil carbon stocks which permitted the definition of site-specific management

Key words: geostatistic, organic carbon, soil quality

¹ Departamento de Eng. Agrícola, CTRN, UFCG, Campina Grande - PB, CEP 58109-970

² Pesquisador da Destilaria Miriri S/A e Doutor em Recursos Naturais/UFCG. Fone (83) 3292-2116, carlos.henrique@miriri.com.br

INTRODUÇÃO

A presença de matéria orgânica nos solos é de grande importância uma vez que ela é o principal agente gerador de cargas elétricas negativas responsáveis pela retenção de nutrientes e água, pela agregação do solo, além de servir de substrato e contribuir para a manutenção da diversidade biológica do solo (Silva et al., 2004).

A conversão da vegetação nativa em sistema de produção com cultivo convencional, tem resultado em um declínio significativo da concentração de matéria orgânica do solo (Paus-tian et al., 2000; Lal, 2002). Além disto, há forte impacto ambiental com o aumento da emissão de gases do efeito estufa, especialmente CO₂ (Machado, et al., 2004). Práticas agrícolas que utilizam aração mecanizada no preparo do solo para plantio, normalmente promovem, por diferentes mecanismos, a perda de matéria orgânica e, conseqüentemente, a emissão de gases para a atmosfera.

A queima da palha da cana-de-açúcar no campo antes da colheita, a fim de facilitar o corte manual, é outro exemplo de emissão de CO₂, além de outros gases, para a atmosfera (Andreae & Merlet, 2001). Resultados obtidos por Macedo (1998) mostram que 6,5 kg CH₄ ha⁻¹ são emitidos para a atmosfera, porém pesquisas sobre o balanço de massa de emissão e seqüestro de CO₂ no setor sucroalcooleiro têm mostrado que 145,3 ton ha⁻¹ de CO₂ são seqüestradas no cultivo da cana-de-açúcar e 111,5 ton ha⁻¹ são emitidas na co-geração de eletricidade, cujo resultado é um saldo favorável de 33,8 ton ha⁻¹ de CO₂ por ciclo de vida da cana-de-açúcar (Chohf et al., 2004).

Com o avanço dos conhecimentos sobre o efeito estufa, pesquisas vêm sendo desenvolvidas no sentido de se encontrar alternativas que tornem o solo menos emissor e mais absorvedor de gases. A implantação dessas alternativas, além dos benefícios que poderá trazer para os solos, poderá conferir aos agricultores Reduções Certificadas de Emissão, negociáveis em bolsas de valores. Este processo é o denominado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), uma das opções incluídas no Protocolo de Kyoto para abater as metas de redução de emissão de países industrializados (Cerri et al., 2004).

Na agricultura canavieira a adoção do sistema mecanizado de colheita tem sido considerada uma alternativa para diminuir a emissão de CO₂, além de favorecer o acúmulo de matéria orgânica no solo, devido ao retorno dos resíduos vegetais à superfície. Segundo Cerri et al. (2004) ocorre também redução dos custos de produção. Quando a cana-de-açúcar é colhida pelo sistema mecanizado, ocorrem um seqüestro de 1,5 Mt C ano⁻¹ e uma emissão evitada de metano de 0,05 Mt C ano⁻¹. Alguns poucos artigos têm demonstrado que este sistema favorece o acúmulo de matéria orgânica em razão do retorno ao solo dos resíduos da cultura, que antes eram queimados (Thorburn et al., 2001; Luca et al, 2003), além de reduzir a emissão de gases.

O estoque de carbono de um solo representa o balanço dinâmico entre a adição de material vegetal morto e a perda pela decomposição ou mineralização (Scholes et al., 1997). Este estoque, calculado a partir dos dados de carbono orgânico,

como outros atributos do solo, que determinam o impacto da agricultura ao meio ambiente, além de variar no tempo, varia também no espaço, razão por que o conhecimento da sua variabilidade espacial é importante, sobretudo, para o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (Cambardella et al., 1994).

Para avaliação do potencial impacto da agricultura canavieira na questão de emissão de carbono e/ou aumento do estoque de carbono, é necessário quantificar efetivamente essas mudanças ao longo do tempo tendo para isto, como base, os valores de estoque de carbono no solo em determinada época. Objetivou-se neste contexto, com o trabalho, estimar o estoque de carbono em uma área canavieira da Fazenda Capim II e avaliar sua variabilidade espacial no solo, a fim de servir de referência para futuras avaliações do impacto desse sistema agrícola no seqüestro de carbono.

MATERIAL E MÉTODO

A área experimental de 790 ha localiza-se na Fazenda Capim II, no município de Capim, estado da Paraíba, com coordenadas 6° 54' 59,88" de latitude sul e 35° 09' 17,86" de longitude oeste e altitude média de 121 metros.

O solo, classificado como Argissolo Acinzentado Distrófico, vem sendo cultivado, ao longo dos anos, com cana-de-açúcar, através do sistema convencional. Nesta área foi estabelecida uma malha de 68 pontos (300 x 400 m) (Figura 1) nos quais se abriram trincheiras de 1 m³ e, nestas, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-30 cm, de 30-63 cm e 63-100 cm. A densidade do solo (Ds) e o carbono orgânico (C) foram determinados conforme Embrapa (1997).

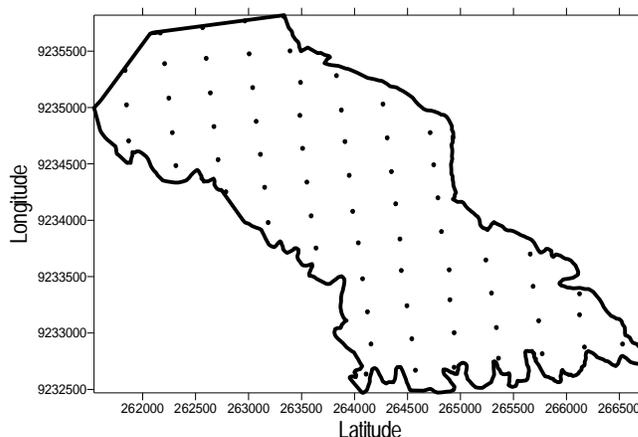


Figura 1. Distribuição geográfica dos pontos de amostragem de solo

Figure 1. Geographic distribution of soil sampling points

O estoque de carbono em cada uma das camadas amostradas foi estimado a partir da expressão $Cac = (C \times Ds \times e)/10$, em que Cac é o estoque de carbono em Mg ha⁻¹; C indica o teor de Carbono Orgânico total em g kg⁻¹; Ds é a Densidade do solo do horizonte estudado em kg dm⁻³ e "e" é a espessura do mesmo em cm.

Os dados de estoque de carbono foram analisados através da estatística descritiva calculando-se as medidas de posição (média e mediana), de dispersão (valor máximo, valor mínimo e coeficiente de variação) e da forma da distribuição dos dados (coeficiente de assimetria e de curtose).

De acordo com os valores do coeficiente de variação (CV), a variabilidade dos dados de estoque de carbono foi classificada, segundo Warrick & Nielsen (1980) em baixa ($CV < 12\%$), média ($12 < CV < 62\%$) e alta ($CV > 62\%$). Avaliou-se, também, a distribuição de frequência dos dados verificando-se se seguia, realmente, uma distribuição normal ou lognormal. Para verificar a aderência ou não dos dados à distribuição normal, aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) com nível de 5% de probabilidade, o qual consiste, segundo Costa Neto (1997) no cálculo das diferenças entre as probabilidades da variável normal reduzida e as probabilidades acumuladas dos dados experimentais. Se o valor calculado em módulo for menor que o tabelado (0,168), a distribuição experimental é aceita como aderente à distribuição normal. Para um número de amostras (n) maior que 50, KS é calculado pela equação:

$$KS = \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right)}{2n}} \quad (1)$$

onde:

KS - diferença máxima admitida entre a curva experimental e a teórica

p - nível de significância escolhido

n - número de dados amostrados

A análise da dependência espacial foi feita por meio da geoestatística, utilizando-se o semivariograma, com base nas pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca, o qual pode ser estimado por:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N_i(h)} \sum_{j=1}^{N_i(h)} [z(s_i) - z(s_i + h)]^2 \quad (2)$$

em que: $N(h)$ é o número de pares de pontos $z(s_i)$ e $z(s_i + h)$ separados por uma distância h , informando quão diferentes se tornam os valores em função de h (Couto et al., 2000). O semivariograma foi representado pelo gráfico de $g^*(h)$ versus h . Após o ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $g^*(h)$ foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma, ou seja, o efeito pepita, C_0 , o patamar, C , e o alcance de dependência espacial, “a” (Couto et al., 2000). Para se analisar o grau de dependência espacial da variável em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994) em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm efeito pepita $\leq 25\%$ do patamar, de dependência espacial moderada quando o efeito pepita está entre 25 e 75% do patamar e de dependência espacial fraca, quando o efeito pepita é $> 75\%$ do patamar.

O mapa de isolinhas foi elaborado de acordo com Souza et al. (2000) utilizando-se as informações provenientes do semivariograma durante o processo de krigagem na interpolação dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de estoque de carbono foram influenciados pela profundidade, maiores portanto, no primeiro horizonte. Notou-se tendência de diminuição desses valores com o aumento da profundidade visto que a camada superficial do solo, apesar de ser a mais revolvida durante o preparo do solo, proporcionando aumento da oxidação de compostos orgânicos, é a zona em que a deposição desses compostos ocorre com maior intensidade.

Como se observa na Tabela 1, o valor médio de estoque de carbono no primeiro horizonte foi de $33,82 \text{ Mg ha}^{-1}$, o qual está próximo dos encontrados por Canellas et al. (2007) em um Cambissolo sob cana-de-açúcar queimada, na profundidade de 0-20 cm ($36,12 \text{ Mg ha}^{-1}$) e de 20 – 40 cm ($37,27 \text{ Mg ha}^{-1}$). Esses mesmos autores verificaram que em área de cana-de-açúcar queimada há um decréscimo de cerca de 40% no estoque de carbono em relação à área sem a queima da palhada, na camada superficial do solo. A queima para a despalha do canavial, além de reduzir o aporte de resíduos vegetais favorece a oxidação da matéria orgânica do solo e expõe a superfície do solo aos processos erosivos. O resultado é a diminuição do estoque de carbono armazenado ao longo do tempo.

Tabela 1. Resultados da análise estatística descritiva do estoque de carbono nas três profundidades

Table 1. Results of descriptive statistics analyses of carbon stock in the three depths

| Profundidade (cm) | Média | Mediana | Mínimo | Máximo | CV% | Coeficiente | | KS |
|-------------------|-------|---------|--------|--------|-------|-------------|---------|-------|
| | | | | | | Assimetria | Curtose | |
| 0-30 | 33,82 | 29,21 | 2,24 | 112,5 | 58,95 | 1,64 | 3,52 | 0,782 |
| 30-63 | 26,37 | 23,84 | 5,03 | 69,12 | 57,83 | 1,20 | 1,21 | 0,667 |
| 63-100 | 21,21 | 17,86 | 5,12 | 86,7 | 67,41 | 2,24 | 6,84 | 0,775 |

CV: coeficiente de variação; KS: o valor do teste KS Tabelado foi de 0,168 com 5% de probabilidade, valores acima deste indicam a não normalidade dos dados

Apesar dos valores da média e da mediana, principalmente nas profundidades de 0-30 cm e 30-63 cm serem próximos à diferença entre eles, nas três profundidades, e os altos valores de assimetria e curtose, mostram a não-normalidade da distribuição, conforme também indicado pelo teste de KS (Tabela 1). Segundo Cambardella et al. (1994), os valores da média, sendo diferentes daqueles da mediana, é um indicativo de que as medidas de tendência central são dominadas por valores atípicos na distribuição.

Seguindo a classificação de CV, proposta por Warrick & Nielsen (1980), observou-se que os valores de estoque de carbono, nas primeira e segunda profundidades, apresentaram variabilidade média enquanto no terceiro a variabilidade foi alta. Segundo Wollenhaupt et al. (1997), mesmo que os valores do CV sejam moderados este não é, necessariamente,

um bom indicador da variabilidade espacial, neste caso, do estoque de carbono do solo, haja vista a ocorrência de locais no campo com valores extremamente altos ou baixos; isto pode ser observado através dos valores mínimo e máximo.

Os valores de estoque de carbono apresentaram, dependência espacial nas três profundidades, expressa pelos modelos de semivariograma (Figura 2), tendo sido ajustadas ao modelo esférico nas profundidades de 0-30 cm e 30-63 cm, e ao modelo exponencial na profundidade de 63-100 cm com coeficientes de determinação (R^2) de 0,86, 0,89 e 0,05, respectivamente, a cada profundidade.

O estoque de carbono do solo mostrou diferentes alcances (A_0) de dependência espacial; este alcance na profundidade de 0-30 cm, foi maior que aqueles referentes às profun-

didades de 30-63 cm e de 63-100 cm (Tabela 2), o que demonstra que na camada superficial do solo a homogeneidade dos valores de estoque de carbono ocorre em uma área de maior raio e nas camadas subsuperficiais há maior descontinuidade na distribuição espacial desses valores, o que não era previsto pelo fato de que a camada mais profunda está menos sujeita aos efeitos do manejo do solo realizado na superfície.

Apesar do exposto, este manejo deve ter contribuído para maior homogeneização da camada superficial; entretanto, Berg & Oliveira (2000), observaram que o manejo dos solos com cana-de-açúcar provocou alterações até camadas mais pro-

Tabela 2. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados aos dados de estoque de carbono nas três profundidades

Table 2. Models and parameters estimated of fitted semivariograms to carbon stock data in the three depths

| Profundidade (cm) | Modelo | C_0 | Patamar | A_0 | $C_0/(C_0 + C)$ | GDE | R^2 |
|-------------------|-------------|-------|---------|-------|-----------------|----------|-------|
| 0-30 | Esférico | 0,629 | 1,259 | 3912 | 50 | Moderado | 0,86 |
| 30-63 | Exponencial | 0,249 | 1,207 | 1021 | 21 | Forte | 0,89 |
| 63-100 | Esférico | 0,050 | 0,960 | 555 | 5,3 | Forte | 0,05 |

C_0 : efeito pepita; A_0 : alcance prático; C: variância estrutural; GDE: grau de dependência espacial

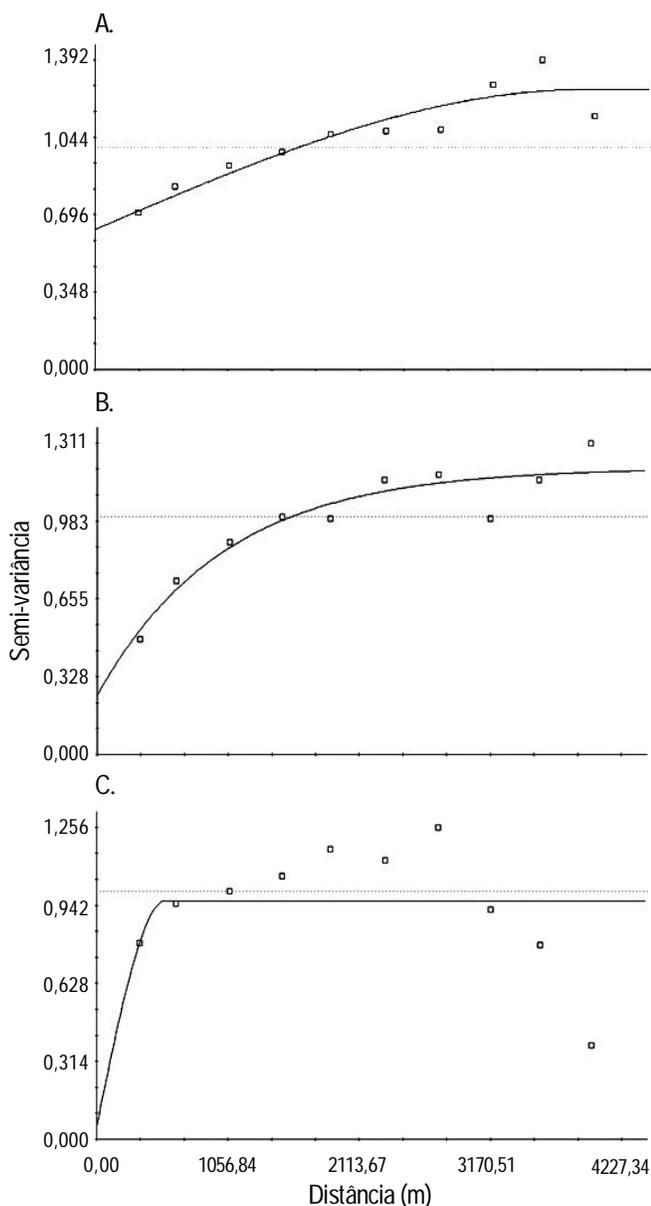


Figura 2. Semivariogramas do estoque de carbono das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-30 (A), de 30-63 (B) e de 63-100 cm (C)

Figure 2. Carbon stock semivariograms of soil samples collected in 0-30 (A), 30-63 (B) and 63-100 cm (C) depths

fundas em relação à rotação soja/trigo. Segundo Trangmar et al. (1985) o alcance define o raio máximo para o qual amostras vizinhas são usadas para interpolação por técnicas de krigagem.

O efeito pepita (C_0) reflete a descontinuidade entre valores separados por distâncias menores que o usado no intervalo de amostragem. Segundo Vieira (2000), ele representa a variância não explicada ou ao acaso, frequentemente causada por erros de medições ou variações dos atributos que não podem ser detectados na escala de amostragem; desta quanto maior for o valor do efeito pepita mais fraca é a dependência espacial do atributo em questão, como foi observado para os valores de estoque de carbono na camada superficial.

A relação em porcentagem entre o efeito pepita e o patamar do semivariograma (C) pode indicar o grau de dependência espacial (Trangmar et al., 1985). Neste estudo, se observou que o estoque de carbono na camada superficial do solo apresentou moderado grau de dependência espacial enquanto nas camadas subsuperficiais esta dependência foi forte, segundo critérios estabelecidos por Cambardella et al. (1994). Segundo estes mesmos autores, quanto mais forte for a dependência espacial apresentada por um atributo do solo mais ele é influenciado por propriedades intrínsecas do solo; aqueles com fraca dependência são mais influenciados por fatores externos como, por exemplo, preparo e cultivo do solo.

Os parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados foram utilizados para estimar valores de estoque de carbono em locais não amostrados por krigagem gerando, desta forma, mapas de distribuição espacial do estoque de carbono (Figura 3). Pode-se observar, com base nesses mapas, que os maiores valores de estoque de carbono se encontram na camada superficial do solo (0-30 cm), que eles diminuem com a profundidade e que não há um comportamento homogêneo

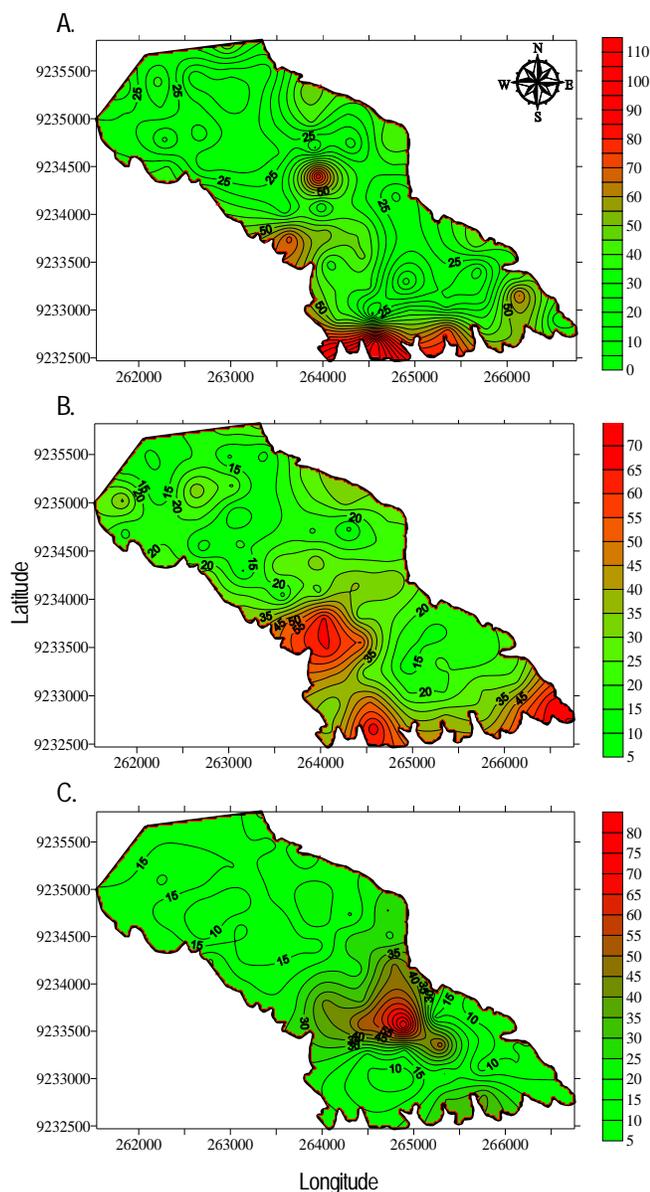


Figura 3. Distribuição espacial do estoque de carbono (Mg ha^{-1}) das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-30 cm (A), de 30-63 cm (B) e de 63-100 cm (C).

Figure 3. Space distribution of carbon stock (Mg ha^{-1}) of soil samples collected from 0-30 cm (A), 30-63 cm (B) and 63-100 cm (C) depths.

na sua distribuição, sugerindo a existência de diferentes zonas de manejo na área.

CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu que se conhecesse o atual estoque de carbono na área estudada, que servirá como base de comparação para futuras avaliações de futuras discussões sobre o seqüestro de carbono.

O estoque de carbono na camada superficial corresponde, em média, a $33,82 \text{ Mg ha}^{-1}$, com variabilidade média, moderado grau de dependência espacial e maior alcance que nas demais camadas de solo.

O uso da técnica de geostatística possibilitou a descrição do estoque de carbono do solo, permitindo a definição de zonas específicas de manejo.

LITERATURA CITADA

- Andreae, M.; Merlet, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, Washington, v.15, n.4, p.955-966, 2001.
- Berg, M.; Oliveira, J.B. Variability of apparently homogeneous soils in São Paulo State, Brazil: I. Spatial Analysis. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, n.2, p.377-391, 2000.
- 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 soils. *Soil Science Society of American Journal*, v.58, p.1501-1511, 1994.
- Canellas, L.P.; Baldotto, M.A.; Busato, J.G.; Marciano, C.R.; Menezes, S.C.; Silva, N.M.; Rumjanek, V.M.; Velloso, A.C.X.; Simões, M.L.; Martin-Neto, L. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.2, p.331-340, 2007.
- Cerri, C.C.; Cerri, C.E.P.; Davidson, E.A.; Bernoux, M.; Feller, C. A ciência do solo e o seqüestro de carbono. *Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Boletim Informativo*, v.29, n.3, p.29-34, 2004.
- Chohf, F.M.; Dupas, F.A.; Lora, E.E.S. Balanço, análise de emissão e seqüestro de CO_2 na geração de eletricidade excedente no setor sucro-alcooleiro, 7p. 2004. www.feagri.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%20112.pdf.
- Costa Neto, P.L.O. Estatística. 15.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 468p.
- Couto, E.G.; Klamt, E.; Stein, A. Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no sul do estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 24, n.1, p. 129-139, 2000.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, 1997. 212p.
- Lal, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. *Environmental Pollution*, v.116, p. 353-362, 2002.
- Luca, E.F.; Barthès, B.; Razafimbelo, T.; Larrélarrouy, M.; Ives, L.J.; Cerri, C.C.; Feller, C. Effect du paillis des résidus de canne à sucre sur la séquestration de carbone dans un sol ferrallitique argileux du Brésil. *Étude et Gestion des Sols*, v.10, n. 3, p. 191-200, 2003.
- Paustian, K.; Six, J.; Elliott, E.T.; Hunt, H.W. Management options for reducing CO_2 emissions from agricultural soils. *Biogeochemistry*, v.48, p.147-163, 2000.
- Macedo, I.C. Greenhouse gas emissions and energy balances in Bio-Ethanol production and utilization in Brazil. *Biomass and Bioenergy*, disponível em www.sciencedirect.com, v. 14, n. 1, p. 77-81, 1998.

- Machado, P.L.O.A.; Madari, R.B.B.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S. Os solos brasileiros e o seqüestro do carbono. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Boletim Informativo, v. 29, n. 3, p. 21-25, 2004.
- Scholes, M.C.; Powlson, D.; Tian, G. Input control of organic matter dynamics. *Geoderma*, v.79, p.25-47, 1997.
- Silva, I.R.; Novais, R.F.; Barros, N.F.; Silva, E.F. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Boletim Informativo, v. 29, n. 3, p. 10-20, 2004.
- Souza, J.R., Queiroz, J.L., Ghey, H.R. Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido Paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.1, p.35-40, 2000.
- Thorburn, P.J.; Probert, M.E.; Robertson, F.A. Modelling decomposition of sugarcane surface residues with APSIM-Residue. *Field Crops Research*, v.70, p.223-232, 2001.
- Trangmar, B.B.; Yost, R.S.; Uehara, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v.38, p.45-93, 1985.
- Vieira, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: Novais, R.F.; Alvares, V.V.H.; Schaeffer, C.E.G.R. (ed.) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.
- 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. p.319-344.
- Wollenhaupt, N.C.; Mulla, D.J.; Crawford, C.A.G. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. In: Pierce, J.P.; Sadler, E.J., (ed.) *The site-specific management for agricultural systems*. Madison, ASA-CSSA-SSSA, 1997. p.19-53.