
VARIABILIDADE ESPACIAL DO ESTOQUE DE CARBONO EM UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO HÚMICO SOB CULTIVO DE VARIEDADES DE CAFÉ ARÁBICA

Samuel de Assis Silva¹, Julião Soares de Souza Lima², Mauri Martins Teixeira³, Moises Zucoloto⁴

RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar a variabilidade espacial do estoque de carbono em duas áreas sobre cultivo de variedades de café arábica. O experimento foi realizado em duas áreas situadas em uma encosta cultivada com *Coffea arabica* L., sendo a primeira cultivada com a variedade catuaí e a segunda com catucaí, em um Latossolo Vermelho-amarelo húmico. Os valores de estoque de carbono foram determinados com base nos valores de densidade do solo e carbono orgânico total, sendo analisado por meio da estatística clássica e geoestatística. Os valores de estoque de carbono foram menores na área sob cultivo da variedade catucaí em comparação à área sob cultivo de catuaí, sendo que, nas duas áreas os maiores valores foram observados nos locais onde a densidade do solo foi maior.

Palavras-chave: Geoestatística, qualidade do solo, *Coffea arabica* L., zonas de manejo.

ABSTRACT

SPATIAL VARIABILITY OF CARBON STOCK IN RED-YELLOW LATOSOL HUMIC SOIL UNDER CULTIVATION WITH DIFFERENT VARIETIES OF ARABIC COFFEE

This study was done to evaluate the spatial variability of carbon stock in a red-yellow Latosol humic soil in two plantations of arabic coffee (*Coffea arabica* L.) variety 'catuaí' or 'catucaí' located on hillslope. The carbon stock was determined by the use of soil density and total organic carbon and the data were analyzed by classical and geo-statistics. The carbon stock was lower under 'catucaí' plantation compared to the area under 'catuaí' plantation. In both areas highest stocks were found on sites of higher soil density.

Keywords: Geostatistic, soil quality, *Coffea arabica* L., areas of management.

Recebido para publicação em 15/04/2009. Aprovado em 23/11/2009

1- Doutorando em Engenharia Agrícola, Dep. Eng. Agrícola, UFV. Viçosa-MG. CEP: 36570-000. Email: samuel-assis@hotmail.com

2- Engº Agrícola, Prof. Associado I, UFES, Cx. Postal 16, Alegre – ES, CEP 29500-000. e-mail: limajss@yahoo.com.br

3- Prof. Associado, Dep. Eng. Agrícola, UFV. Viçosa-MG. CEP: 36570-000

4- Doutorando em Fitotecnia, Dep. Fruticultura, UFV. Viçosa-MG. CEP: 36570-000.

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica nos solos é de grande importância por ser 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 (PAUSTIAN *et al.*, 2000; SILVA *et al.*, 2004).

O balanço de carbono (C) no solo é dependente da relação entre as adições de C fotossintetizado pelas plantas (parte aérea e raízes) e as perdas de C para a atmosfera resultantes da oxidação microbiana do C orgânico a CO₂ e do manejo adotado ao solo. A magnitude desses processos pode ser avaliada em experimentos, pela quantificação dos estoques de carbono orgânico no solo (COSTA *et al.*, 2006).

Os estoques de carbono do solo em qualquer sistema são obtidos pela interação dos fatores que determinam sua formação e aqueles que promovem sua decomposição. A hipótese mais aceita estabelece um declínio nesse estoque devido a processos erosivos, aceleração da mineralização da matéria orgânica e oxidação de carbono (C) orgânico do solo e baixos aportes orgânicos nesses sistemas (LEITE *et al.*, 2003).

A intervenção humana nos ecossistemas naturais para a implantação de atividades agrícolas diminui os estoques de carbono orgânico dos solos, sendo que as perdas chegam a mais de 50% dos teores iniciais, em períodos relativamente curtos (menos de 10 anos), especialmente nos solos de textura mais arenosa e onde as práticas de manejo do solo são menos conservacionistas (RANGEL *et al.*, 2008; MIELNICZUK *et al.*, 2003).

Este estoque, calculado a partir dos dados de carbono orgânico total, 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 (CHOHF *et al.*, 2004).

O objetivo desse estudo foi avaliar a variabilidade espacial do estoque de carbono no solo em uma área cultivada com a variedade de café catuai e outra com catucaí em região de montanha.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na fazenda Jaguarai, no município de Reduto, Minas Gerais localizada a 20° 45' 45,4" de latitude S e 41° 32' 9,75" de longitude W. O experimento foi realizado em duas áreas situadas em uma encosta cultivada com *Coffea arabica* L., sendo a primeira, situada na porção superior da encosta, cultivada com a variedade catucaí (área 1) e a segunda, na porção inferior, cultivada com a variedade catucaí (área 2), sendo em ambas as plantas espaçadas de 2,0 x 0,60 m.

O solo das duas áreas foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo húmico com horizonte A bastante espesso e rico em matéria orgânica, conforme classificação apresentada pela EMBRAPA (2006).

As amostragens de solo, para análise de carbono orgânico total e determinação da densidade do solo, foram realizadas na profundidade de 0 – 0,2 m em uma malha (100 x 120m) totalizando 100 pontos georreferenciados, sendo 50 pontos em cada área, com as amostras coletadas na projeção da copa de três plantas. Após a amostragem, elas foram homogeneizadas para formar uma composta. A densidade do solo (Ds) e o carbono orgânico total (CO) foram determinados em laboratório, conforme metodologia apresentada pela EMBRAPA (1997).

O estoque de carbono foi estimado, conforme Chaves e Farias (2008) a partir da seguinte expressão:

$$C_c = \frac{(C \ Ds \ e)}{10} \quad (1)$$

em que

C_c = estoque de carbono em (Mg ha⁻¹);

CO = teor de carbono orgânico total, em (g kg⁻¹);

Ds = densidade do solo do horizonte estudado em (kg dm⁻³), e;

e = espessura do solo, (cm).

Os valores encontrados para Ds, CO e C_c foram analisados pela estatística descritiva e exploratória. Para a verificação de candidatos a valores discrepantes “outliers” foram analisados os quartis superiores e inferiores e a normalidade dos dados testada pelo teste Shapiro-Wilks a 5% de probabilidade utilizando o software Statistica 6.0 (STATSOFT, 2001).

Em seguida, os dados foram submetidos à análise geoestatística, a fim de verificar a existência e, neste

caso, quantificar o grau de dependência espacial, a partir do ajuste de funções teóricas aos modelos de semivariogramas experimentais, com base na pressuposição de estacionaridade da hipótese intrínseca, conforme equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

em que

$N(h)$ = número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor h .

No ajuste dos modelos teóricos aos semivariogramas experimentais, determinou-se os coeficientes efeito pepita (C_0), patamar ($C_0 + C_1$), variância estrutural (C_1) e alcance (a) pelo software GS+ (ROBERTSON, 1998). Na escolha dos modelos utilizou-se o critério dos mínimos quadrados, optando-se na seleção pelos modelos com maior valor de R^2 (coeficiente de determinação), menor SQR (soma de quadrado dos resíduos) e maior valor do coeficiente de correlação obtido pelo método de validação cruzada (GUIMARÃES, 2000).

Para análise do índice de dependência espacial (IDE), foi utilizado a relação $C_1/(C_0 + C_1)$ e os intervalos propostos por Zimback (2001) que considera a dependência espacial fraca ($IDE < 25\%$); moderada ($25\% \leq IDE < 75\%$) e forte ($IDE \geq 75\%$).

Comprovada a dependência espacial, estimou-se em locais não amostrados valores de D_s , CO e Cc para as duas áreas cultivadas com as variedades de café, e confeccionou-se mapas de distribuição espacial, utilizando-se a krigagem ordinária. Esse interpolador geostatístico utiliza de um estimador linear não-viciado com mínima variância e leva em consideração a estrutura de variabilidade espacial encontrada para o atributo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise exploratória foi possível identificar a presença de valores discrepantes “outliers” nos dados dos atributos D_s , CO e Cc para as duas áreas em estudo, bem como sua influência sobre as medidas de posição e dispersão, levando-se, assim, a substituição e retirada dos mesmos após a reavaliação dos valores nos respectivos pontos amostrais.

Os resultados obtidos pela análise estatística descritiva encontram-se no Quadro 1, onde se observa que para todos os atributos os valores das medidas de tendência central (média e mediana) foram bem próximos indicando distribuição simétrica, confirmado pelos valores de simetria próximos de zero.

De acordo com Isaaks e Srivastava (1989), o coeficiente de assimetria é mais sensível a valores extremos do que a média, mediana e o desvio padrão, uma vez que um único valor pode influenciar fortemente o coeficiente de assimetria, pois os desvios entre cada valor e a média são elevados à terceira potência. Igualmente ao coeficiente de assimetria, o coeficiente de curtose apresentou valores próximos de zero. Tais resultados indicam distribuição normal dos dados, o que foi confirmada pelo teste de Shapiro-Wilks a 5% de probabilidade.

A variabilidade dos dados analisada pelos valores dos coeficientes de variação (CV), com exceção da densidade do solo, que apresentou baixa variação ($CV < 12\%$) para as duas áreas, os demais atributos apresentaram média variabilidade ($12\% < CV < 60\%$) de acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980).

Os valores de densidade do solo foram baixos e bem próximos nas duas áreas. Stone et al. (2002) afirmam que valores reduzidos de D_s são

Quadro 1. Estatística descritiva e distribuição de frequência da densidade do solo (D_s), carbono orgânico total (CO) e estoque de carbono (Cc) em áreas sob cultivo de duas variedades de café

Variáveis	Estatística								
	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	CV (%)	s	C_s	C_k	W
D_s^1	1,07	1,05	0,41	1,24	7,02	0,08	0,53	0,12	ns
D_s^2	0,99	0,99	0,88	1,15	6,18	0,06	0,31	0,15	ns
CO^1	11,22	11,06	4,86	19,76	30,13	3,38	0,21	-0,15	ns
CO^2	20,10	20,26	12,26	26,46	16,40	3,30	-0,37	-0,06	ns
Cc^1	23,81	23,11	7,15	41,28	32,97	7,85	0,05	-0,21	ns
Cc^2	41,22	40,07	23,59	62,39	19,70	8,12	0,22	0,48	ns

¹ - Catucaí; ² - Catuaí; D_s em $kg\ dm^{-3}$, CO em $g\ kg^{-1}$; Cc em $Mg\ ha^{-1}$; CV (%) – coeficiente de variação; s – desvio padrão; C_s – coeficiente de simetria; C_k – coeficiente de curtose; ns – distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilks a 5% de probabilidade.

um indicativo de bom volume de macroporos no solo, reduzida resistência à penetração das raízes, aumento na concentração de oxigênio, difusão mais rápida de nutrientes e de oxigênio e maior taxa de mineralização da matéria orgânica no solo.

Os valores de CO, nas duas áreas, foram classificados como médios, de acordo com a classificação de fertilidade de Ribeiro *et al.* (1999) para o Estado de Minas Gerais. Os valores de estoque de carbono foram diferentes nas duas áreas, sendo maior na área 2 em comparação à área 1. Os menores valores de densidade e maiores valores de

CO, indicam que as condições de solo da área 1 são melhores que as da área 2, o que permite melhor desenvolvimento e rendimento da cultura do café.

Na área 1, onde o estoque de carbono é menor (redução de 42% em relação à área 2), acredita-se que a ação dos agentes responsáveis pela redução do teor de carbono no solo seja mais intensa, ou seja, ocorra menor aporte de resíduos vegetais, favorecimento da oxidação da matéria orgânica do solo e maior ação de processos erosivos, por se tratar de uma área mais declivosa. Lal (2002), afirma que em sistemas convencionais de cultivo a redução do estoque de

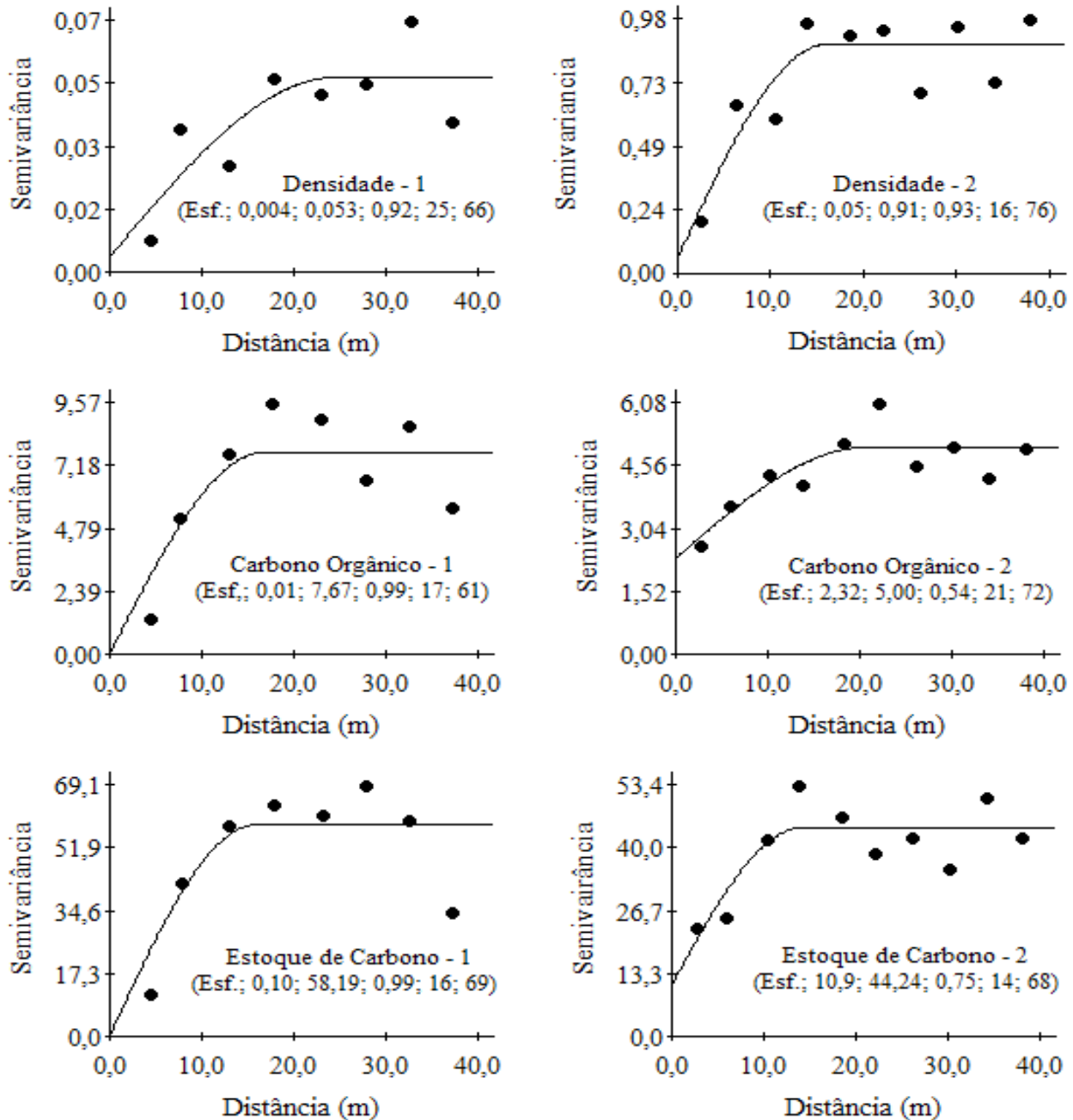


Figura 1. Modelos e parâmetros (C_0 ; C_0+C_1 ; IDE; A_0 ; R^2) dos semivariogramas médios para os atributos do solo. (1) – Catucaí; (2) – Catuaí.

carbono é significativa quando comparada a sistemas naturais ou mesmo sistema conservacionistas.

A análise geoestatística (Figura 1) indicou dependência espacial dos atributos nas duas áreas em estudo, com alcances variando entre 14 e 25 m e ajuste do modelo esférico para todos atributos. A densidade do solo na área 1 e o carbono orgânico da área 2 apresentaram maior continuidade espacial, devido aos seus maiores valores de alcance da semivariância, demonstrando que a distribuição desses atributos é mais homogênea, pois ocorrem em uma área de maior raio, enquanto que os demais atributos, com destaque para o estoque de carbono na área 2, há maior descontinuidade na distribuição espacial desses valores. Valores diferentes foram encontrados por Chaves e Farias (2008), os quais encontraram alcances elevados para o estoque de carbono em áreas do tabuleiro costeiro paraibano e também por Berg e Oliveira (2000).

Através dos valores de efeito pepita (C_0), que reflete a descontinuidade entre valores separados por distâncias menores que a usada no intervalo de amostragem, observou-se baixa contribuição na variância ao acaso, frequentemente causada por erros de medições ou variações dos atributos que não podem ser detectados na escala de amostragem (Vieira, 2000), sobre a variância espacial, fazendo com que a dependência espacial, medida pelo IDE, seja classificada, conforme Zimback (2001), como elevada com excessão do carbono orgânico da área 1, onde o IDE foi médio devido ao maior valor do efeito pepita.

Os parâmetros dos modelos de semivariogramas ajustados foram utilizados para estimar valores de densidade, carbono orgânico total e estoque de carbono pelo método da krigagem, em locais não amostrados, gerando, desta forma, mapas de distribuição espacial destes atributos (Figura 2).

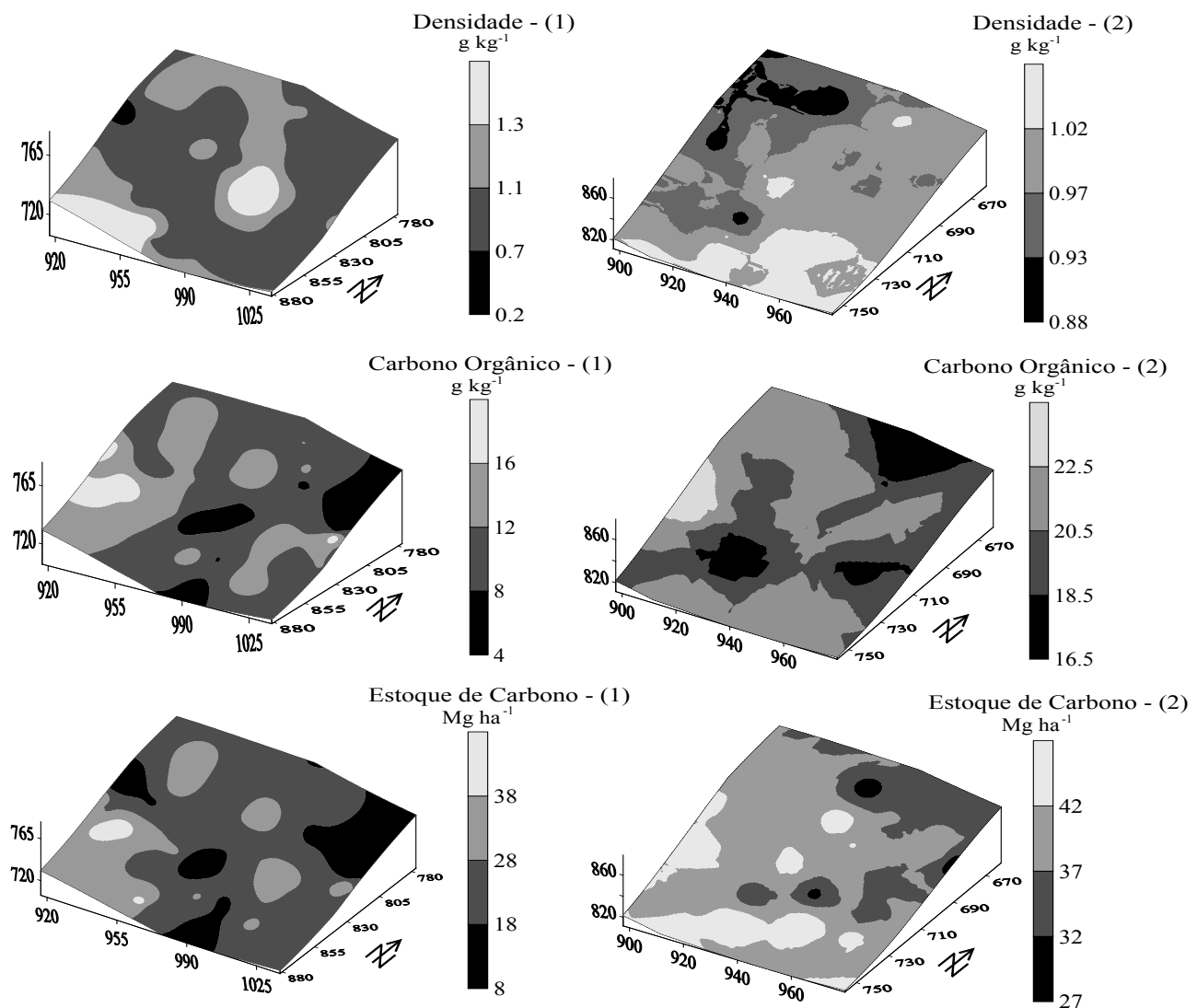


Figura 2. Mapas para os atributos do solo em duas áreas sob cultivo de café arábica. (1) – Catucaí; (2) – Catucaí.

Os maiores valores de Ds são encontrados nas porções inferiores das áreas, sendo que a área 1, apresenta sua maior proporção com valores de Ds entre 0,7 a 1,1 g kg⁻¹, enquanto que a maior proporção da área 2 apresenta valores entre 0,97 a 1,02 g kg⁻¹. Os valores de CO, apesar de diferentes nas duas áreas, apresentam padrão espacial semelhante entre si, sendo a área 1 com maior proporção entre os valores de 12 a 16 g kg⁻¹ e a área dois entre os valores de 20,5 a 22,5 g kg⁻¹. Os maiores valores de Cc, nas duas áreas, são observados onde há maiores valores de CO e também de Ds, indicando que valores de densidade próximos a um, contribuíram, no caso em questão, para elevar o estoque de carbono nas duas áreas, por manter as taxas de decomposição e mineralização da matéria orgânica em níveis mais adequados.

CONCLUSÕES

- Todos atributos apresentaram dependência espacial, com maiores valores de alcance observados no solo cultivado com a variedade catuaí e, conseqüentemente, menor variabilidade espacial.
- Os valores de estoque de carbono foram menores na área sob cultivo da variedade catuaí em comparação à área sob cultivo de catuaí, sendo que nesta última as condições de solo avaliadas pela densidade e teor de carbono orgânico são igualmente melhores.
- Os maiores valores de estoque de carbono foram observados nos locais onde a densidade do solo era próxima de 1 (um), devido à manutenção das taxas de decomposição e mineralização da matéria orgânica em níveis mais adequados.

REFERÊNCIAS

- BERG, M.; OLIVEIRA, J.B. Variability of apparently homogeneous soilscapes in São Paulo State, Brazil: I. Spatial Analysis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.2, p.377-391, 2000.
- CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.3, n.1, p.20-25, 2008.
- CHOHF, F.M.; DUPAS, F.A.; LORA, E.E.S. **Balço, análise de emissão e seqüestro de CO₂ na geração de eletricidade excedente no setor sucro-alcooleiro**, 7p. 2004. <www.feagri.unicamp.br/energia/agre2004/Fscommand/PDF/Agrener/Trabalho%20112.pdf.> Acesso em: 20 jul. 2008.
- COSTA, F.S.; GOMES, J.; BAYER, C. e MIELNICZUK, J. Métodos para avaliação das emissões de gases de efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**, 36:693-700, 2006.
- 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.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de uma latossolo vermelho escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.
- LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, v.116, p. 353-362, 2002.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob

milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, 2003.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, p. 209-248, 2003.

PAUSTIAN, K.; SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; HUNT, H.W. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils. **Biogeochemistry**, v.48, p.147-163, 2000.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 429-437, 2008.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. (Ed). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa, MG. 1999. 359p.

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 estratégia para a manutenção da sustentabilidade. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: **Boletim Informativo**, v. 29, n. 3, p. 10-20, 2004.

STATSOFT. **Statistica for windows**. Release 5.1 (Computer program manual). Yulsa, OK, StatSoft, Inc., 1997. Não paginado.

STONE, L. F., GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

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.

ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.