

# XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

## “Variabilidade espacial da densidade do solo e dos estoques de carbono em um Planossolo submetido a arações e gradagens sucessivas”

**FELIPE MARTINI SANTOS<sup>(1)</sup>; ROGÉRIO BASTOS DA SILVA<sup>(2)</sup>; RODRIGO MENDES CAVALINI<sup>(2)</sup>; INGRID KELLY SANTANA DA SILVA<sup>(2)</sup>; CÉLIA REGINA GREGO<sup>(3)</sup>; ANA PAULA TURETTA<sup>(4)</sup>; FABIANO DE CARVALHO BALIEIRO<sup>(4)</sup>; GUILHERME MONTANDON CHAER<sup>(5)</sup>**

**RESUMO** – Este trabalho teve como objetivo caracterizar o impacto da degradação do solo, induzida por arações e gradagens sucessivas aplicadas em um Planossolo Háplico sobre a densidade do solo, o teor e o estoque de C. Sessenta dias após a aplicação dos distúrbios procedeu-se a amostragem sistemática (grid 20x20 m) em parcelas degradadas (D) e não-degradadas (ND). A degradação tendeu a aumentar a densidade do solo na camada mais superficial do solo, mas não causou mudanças significativas nos teores e estoques de C do solo. No entanto, foi observado aumento sistemático em profundidade dos teores e estoque de carbono em ambos os tratamentos. Esse aumento de C em profundidade pode estar relacionado ao aumento do teor de argila ao longo do perfil, fato característico dos Planossolos. A análise geoestatística dos dados indicou a existência de dependência espacial dos atributos do solo estudados nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de profundidade, fato não observado na camada de 20-40 cm. Este fato demonstra que camadas mais profundas do solo sofrem menores interferências dos manejos, e que a variabilidade das propriedades do solo nessas camadas é mais associada à gênese do próprio horizonte do solo. Este conhecimento prévio da variabilidade no campo experimental é fundamental para a definição de esquemas de amostragem destas variáveis.

**Palavras-Chave:** Solos arenosos; matéria orgânica do solo; variabilidade espacial.

### Introdução

Solos arenosos (não-hidromórficos) normalmente possuem teores e estoques de C baixos comparativamente àqueles mais argilosos, devido principalmente à agregação pouco desenvolvida e à menor interação organo-mineral, oriunda da superfície específica reduzida da fração areia. Vários trabalhos têm demonstrado que solos arenosos são mais susceptíveis à degradação quando submetidos ao

cultivo, como a redução acentuada dos teores e estoques de C [1-3].

Manter solos arenosos produtivos significa manter ou incrementar seus níveis de matéria orgânica, pois a maior parte de suas cargas, dos nutrientes e da capacidade de armazenamento de água encontra-se direta ou indiretamente relacionada com a quantidade e a qualidade da matéria orgânica estocada no solo. Dentre as estratégias que podem contribuir para que esse objetivo seja atingido em longo prazo destaca-se o uso de leguminosas fixadoras de N<sub>2</sub> atmosférico em rotações ou consórcios em sistemas de plantio direto, lavoura-pecuária, agroflorestais e, mais recentemente, de florestas plantadas comerciais. Essa estratégia tem sido relatada como determinante para a intensificação da ciclagem de nutrientes em agroecossistemas e plantios florestais, com conseqüências positivas na estocagem de C do solo [3-5].

Reconhecendo que no Brasil existem extensas áreas de solos arenosos em distintos níveis de degradação e que a cultura do eucalipto pode representar uma alternativa de uso dessas terras, em função de sua baixa exigência quanto à fertilidade do solo e crescente demanda mundial por produtos florestais, buscou-se desenhar um experimento que pudesse avaliar não apenas o potencial técnico-econômico do consórcio dessa essência com uma leguminosa arbórea fixadora de N<sub>2</sub> (*Acacia mangium*), mas dos benefícios desse consórcio sobre a recuperação da qualidade do solo e do seqüestro de C. Para um controle experimental adequado, buscou-se obter parcelas degradadas pela indução da degradação de um Planossolo Háplico não degradado pela aplicação sucessiva de eventos de aração e gradagem do solo. Nesta primeira etapa desse estudo são relatados os efeitos desse tratamento, em relação às parcelas controle, sobre a densidade, teor e estoque de C do solo. Para isso, foram usadas técnicas de geoestatística para avaliar a variabilidade espacial desses atributos na área experimental, o que permitirá um monitoramento preciso de mudanças no solo ao longo do cultivo florestal.

### Material e Métodos

<sup>(1)</sup> Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. BR 465 Km 7, Seropédica, RJ, CEP 23890-000 E-mail: [martinisantos@gmail.com](mailto:martinisantos@gmail.com)

<sup>(2)</sup> Graduandos em Engenharia Agrônoma, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. BR 465 Km 7, Seropédica, RJ, CEP 23890-000.

<sup>(3)</sup> Pesquisadora Embrapa Monitoramento por Satélite. Av. Doutor Júlio Soares de Arruda 803, Parque São Quirino, Campinas, SP, CEP 13088-000.

<sup>(4)</sup> Pesquisadores Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ, CEP 22460-000.

<sup>(5)</sup> Pesquisador Embrapa Agrobiologia. BR 465 Km 7, Seropédica, RJ, CEP 23890-000.

A área de estudo localiza-se no campo experimental da Embrapa Agrobiologia, município de Seropédica, Rio de Janeiro (22° 46' de Sul e 43° 41' Oeste; 33 m de altitude). A média pluviométrica anual é de 1.250 mm e as temperaturas médias mensais variam de 16°C (junho a julho) a 32°C (janeiro a março). A umidade relativa média anual é de 73%.

O solo da área corresponde a um Planossolo Háplico o qual caracteriza-se pela presença de um horizonte superficial bastante arenoso, formado pela eluviação de argila, e de um horizonte glei em profundidade variada, caracterizado pela textura mais argilosa (iluviação) e pela influência do lençol freático em pontos mais baixos da topossequência. Este solo é tipicamente distrófico e com baixa capacidade de retenção e estocagem de C, sendo as variações desses atributos dependentes da localização na topossequência local [6; 7].

O experimento foi montado numa área sob pousio por mais de 15 anos e onde predominavam espécies graminóides invasoras. O relevo constitui uma encosta pouco declivosa (declividade < 5%) onde foram alocados quatro blocos de 36 x 105 m (maior dimensão perpendicular ao gradiente de declividade), cada um contendo uma parcela controle (ND), mantida sob sob pousio, e outra submetida à degradação induzida (D). Cada parcela foi subdividida para alocar cinco combinações de plantio das espécies *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mangium*.

A degradação do solo foi induzida durante os meses de outubro e novembro por meio da passagem semanal de arado seguido de grade aradora leve. Foram realizadas cerca de doze operações até cerca de 15 d antes do plantio das mudas. Antes do início da fase de indução da degradação toda a vegetação da área experimental foi dessecada com glifosato.

Para caracterizar a variabilidade espacial de atributos do solo que serão monitorados ao longo dos anos, procedeu-se a amostragem do solo em cada subparcela 60 dias após a interrupção da aplicação das arações e gradagens ao solo. A amostragem para avaliação da densidade do solo se deu em minitrincheiras que foram abertas no centro de cada subparcela. Anéis de 50 cm<sup>3</sup> foram usados na coleta de amostras indeformadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm e usadas para a determinação da densidade do solo (Ds). Devido à largura de 5 cm do anel, nas profundidades de 10-20 e 20-40 a amostragem foi feita no ponto centróide da camada. Subamostras indeformadas foram coletadas das mesmas profundidades e encaminhadas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASP) da Embrapa Solos para determinação do teor de C por via seca em um analisador automático Multi EA 2000 (Analytik Jena AG, Jena, Alemanha).

De posse dos resultados procedeu-se a análise estatística comparando o efeito da degradação sobre a densidade do solo, teor de C e estoque de C nas camadas de 0-5; 5-10, 10-20 e 20-40 cm por meio de ANOVA e utilizando o programa SAEG V9.1.

Adicionalmente, buscou-se avaliar a magnitude da variação espacial desses atributos por meio de análises geoestatísticas. Foram utilizados 40 pontos georreferenciados de amostragem (20 nas parcelas D e 20 nas parcelas ND) considerando uma grade regular de 20 x 20 m entre pontos. Para esta análise, que inclui a construção e ajuste de semivariogramas e interpolação por krigagem ordinária, foram utilizados os programas AVARIO e KRIGE [8]. Após a krigagem, os dados foram espacializados com auxílio do programa Surfer 7.0 [9].

## Resultados

### *Impacto da degradação induzida sobre os atributos estudados*

Os valores de Ds aumentaram em profundidade em ambos os tratamentos (D e ND), corroborando o perfil pedológico da classe de solo estudada. A indução de degradação tendeu a aumentar a densidade do solo apenas na camada de 5-10 cm ( $p < 0,15$ ) (Figura 1A). Nas parcelas ND a Ds variou de 1,49 g cm<sup>-3</sup> (0-5 cm) a 1,76 g cm<sup>-3</sup> (20-40 cm), ao passo que naquelas submetidas à degradação variou de 1,55 g cm<sup>-3</sup>, nos primeiros 5 cm a 1,75 g cm<sup>-3</sup> na profundidades de 20-40 cm.

Os teores de carbono orgânico total (COT) no solo decresceram em profundidade. Não foi observada mudança significativa nos teores de C entre as parcelas D e ND, independente da profundidade. Nas parcelas D, o teor de COT variou de 1,94 g kg<sup>-1</sup> a 3,77 g kg<sup>-1</sup>, valores correspondentes às camadas de 0-5 e 20-40 cm, respectivamente. Já nas parcelas ND os teores de COT variaram de 2,10 g kg<sup>-1</sup> a 4,22 g kg<sup>-1</sup> nas mesmas camadas.

O impacto da gradagem no estoque de carbono foi expressivo na camada superficial do solo, embora o efeito não tenha sido significativo. Nos primeiros 5 cm de solo os estoques estimados nas parcelas D e ND foram de 2,81 e 3,22 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para as demais profundidades não houve diferença entre as parcelas D e ND (ex. 2,85 Mg ha<sup>-1</sup> vs. 2,59 Mg ha<sup>-1</sup> na camada de 5-10 cm).

### *Variabilidade espacial dos atributos*

Os resultados referentes à análise descritiva das variáveis densidade do solo, teor de COT e estoque de C nas três profundidades encontram-se na Tabela 1. A Ds apresentou distribuição normal para todas as profundidades, ao passo que os dados de teor e de estoque de carbono da camada 0-5 cm não apresentaram essa distribuição (valores de assimetria e curtose distantes de zero). Esta anormalidade demonstra que há poucos valores ou muito altos ou muito baixos em relação à média, mas não invalida a análise geoestatística.

A maioria dos semivariogramas apresentou dependência espacial com ajustes esféricos e grau de dependência de moderado a forte (45-75% e 75-100%) segundo Zimback [10]. A exceção ocorreu na profundidade de 20-40 cm onde não houve dependência espacial, ou seja, o solo amostrado a essa profundidade, com base no grid de amostragem utilizado, apresentou comportamento aleatório quanto à densidade, teor e estoque de carbono.

Os mapas de distribuição espacial (Figura 2) demonstram claramente que a densidade aumentou à medida que se aumenta a profundidade do solo. Isto também ocorreu com teor e o estoque de carbono.

## Discussão

Os valores de Ds encontrados nesse estudo são característicos de solos de textura arenosa, que segundo Reichardt e Timm [11] podem variar entre 1,40 a 1,80 kg dm<sup>-3</sup> e corroboram os valores de Ds reportados por Balieiro et al. (2005) para uma área adjacente ao desse estudo.

O aumento da Ds na camada superficial pode ser explicado pela passagem sucessiva dos implementos de preparo do solo, o que pode ter levado ao rompimento dos agregados, à maior organização das partículas de quartzo do solo e à oxidação de matéria orgânica.

Os estoques de C encontrados nesse trabalho corroboram outros trabalhos desenvolvidos em solos arenosos em outros biomas [2; 3; 5]. Ademais, a distribuição espacial do estoque de C do solo na área experimental (Figura 2) encontra-se muito relacionada ao teor de C do solo ( $r=-0,99$  a 1,00). Os mapas da Figura 2 para o teor e estoque de C nas diferentes camadas comprovam tal fato. Sabendo que a estabilidade do C no solo é função do teor de argila ou argila+silte [13; 14] e reconhecendo as variações naturais do terreno quanto à textura, reflexo dos mecanismos e processos de formação do solo, pode-se inferir que a textura também possa estar influenciando no padrão de distribuição desses dois atributos (teor e estoque de C).

Ficou evidente que parte da área (especialmente na maior direção  $x$  e na maior direção  $y$ ) concentrou (em todas as profundidades) os maiores valores de densidade e de teores e estoque de C, reforçando que as variáveis encontram-se muito relacionadas com a posição no terreno e possivelmente a outras variáveis ainda não consideradas, como a textura do solo. Para um melhor entendimento do comportamento das variáveis será considerado em uma fase futura do projeto análises de outras propriedades do solo.

É interessante destacar a falta de dependência espacial na maior profundidade avaliada (20-40 cm), o que indica que a profundidade de coleta das amostras de solo é um fator importante no estudo da dependência espacial. Camadas mais profundas do solo sofrem menores interferências dos manejos, e a variabilidade pode ser muito mais decorrente do próprio horizonte do solo.

## Conclusão

A degradação induzida não permitiu alterações significativas nos atributos estudados embora os efeitos desse tratamento possam se manifestar em médio ou longo prazo. Considerando as condições que o estudo foi desenvolvido, verificou-se que os métodos geoestatísticos empregados foram adequados para verificar a existência de dependência espacial no

delineamento experimental utilizado. A posição do terreno na maior direção  $x$  e na maior direção  $y$  concentrou, em todas as profundidades, os maiores valores de densidade, teores e estoque de carbono. Este conhecimento prévio da variabilidade no campo experimental será futuramente utilizado para a definição de esquemas de amostragem destas variáveis.

## Agradecimentos

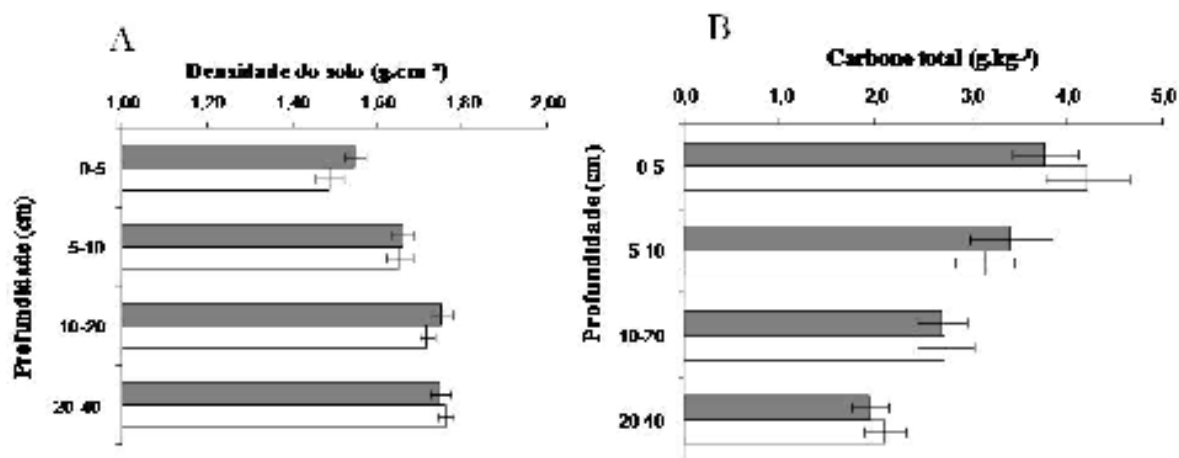
Os autores agradecem a João Paulo Moura Barata e a Juliana Martins Ferreira pelo auxílio valioso na realização das análises laboratoriais.

## Referências

- [1] SILVA, J.E., LEMAINSKI, J., RESCK, D.V.S. 1994. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do Oeste Baiano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 18:541-547.
- [2] ZINN, Y.L.; RESCK, D.V.S.; SILVA, J.E. 2002. Soil organic carbon as affected by afforestation with Eucalyptus and Pinus in the Cerrado region of Brazil. *Forest Ecology and Management*, 166:285-294.
- [3] NEUFELDT, H.; RESCK, D.V.S.; AYARSA, M.A. 2002. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. *Geoderma*, 107:151-164.
- [4] SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 76:39-58.
- [5] BALIEIRO, F. C.; PEREIRA M.G.; FRANCO, A.A.; ALVES, B. J. R.; RESENDE, A.S. 2008a. Soil carbon and nitrogen in afforested pasture with Eucalyptus and guachapele. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:1253-1260.
- [6] RAMOS, D.P.; CASTRO, A.F., CAMARGO, M.N., 1973. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 8:1-27. (Série Agronomia)
- [7] BALIEIRO, F.C., OLIVEIRA, W.C., PEREIRA, M.G., ANJOS, L.H.C., PICCOLO, M.C., JACCOUD, C.F., 2008b. Fertilidade e carbono do solo e uso da água pelo eucalipto numa topossequência em seropédica. *Revista Árvore*, 32:153-162.
- [8] VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. 2002. 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, v.2, p. 1-45.
- [9] SURFER. Surfer 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers. User's Guide. New York, Golden software, Inc, 1999, 619p.
- [10] ZIMBACK, C.R.L. 2001. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 114f. Dissertação (Livro Docência), Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, UNESP, Botucatu, SP.
- [11] REICHARDT, K.; TIMM, L. C. 2004. Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri, SP, Editora Manole Ltda,
- [12] BALIEIRO, F.C.; CEDDIA, M.B.; PEREIRA, M.G.; RESENDE, A.S.; FRANCO, A.A. 2005. Biomassa de raízes e regime hídrico do solo em plantio de *Pseudosamanea guachapele* (Kunth) Harms em um planossolo háplico. *Floresta*, 35:221-230.
- [13] ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. 2005. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. *Soil & Tillage Research*, 84:28-40.
- [14] JANTALIA, C.P.; RESCK, D.S.; ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.B. 2007. Tillage effect on C stocks of a clayey Oxisol under a soybean-

based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. *Soil & Tillage Research*, 95:97–109.  
 [15] RESH, S.C.; BINKLEY, D. & PARROTA, J.A. 2002. Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing

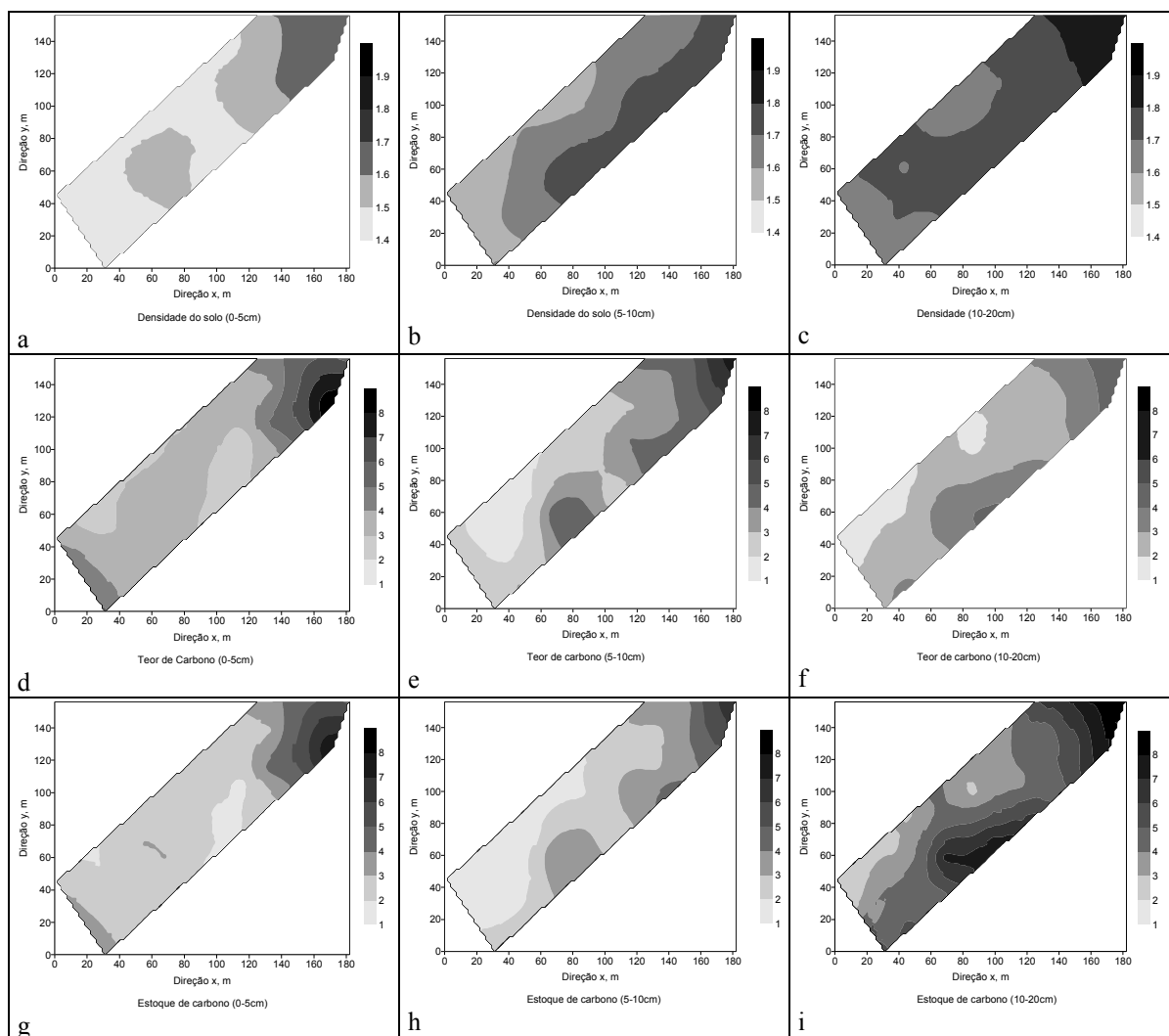
trees compared with Eucalyptus species. *Ecosystems*, 5:217-231.



**Figura 1.** Densidade do solo (A) e teor de C total (B) de camadas de um Planossolo submetido à degradação por arações e gradagens sucessivas (colunas de cor cinza) e não submetidas à degradação (cor branca).

**Tabela 1.** Estatística descritiva da densidade do solo, teor de C orgânico total (COT) e estoque de C do solo para diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm) de um Planossolo Háplico.

Nome	Unidade	n	Média	Mínimo	Máximo	Variância	Desvio Padrão	C.V.
----- 0-5 cm -----								
Densidade	kg dm <sup>-3</sup>	40	1.52	1.21	1.78	0.017	0.129	8.51
COT	g kg <sup>-1</sup>	38	3.99	1.26	10.92	3.049	1.746	43.74
Estoque de C	Mg ha <sup>-1</sup>	38	3.08	1.1	9.42	2.451	1.566	50.89
----- 5-10 cm -----								
Densidade	kg dm <sup>-3</sup>	40	1.66	1.41	1.85	0.014	0.120	7.27
COT	g kg <sup>-1</sup>	40	3.28	1.02	8.91	2.723	1.650	50.34
Estoque de C	Mg ha <sup>-1</sup>	40	2.77	0.79	8.24	2.483	1.576	56.80
----- 10-20 cm -----								
Densidade	kg dm <sup>-3</sup>	40	1.73	1.53	1.92	0.008	0.091	5.25
COT	g kg <sup>-1</sup>	39	2.78	1.01	5.14	1.347	1.160	41.75
Estoque de C	Mg ha <sup>-1</sup>	39	4.88	1.67	9.38	4.833	2.198	45.04
----- 20-40 cm -----								
Densidade	kg dm <sup>-3</sup>	40	1.76	1.6	1.97	0.010	0.099	5.63
COT	g kg <sup>-1</sup>	40	2.02	0.42	4.36	0.810	0.900	44.61
Estoque de C	Mg ha <sup>-1</sup>	40	7.13	1.41	15.51	11.280	3.359	47.10



**Figura 3.** Distribuição espacial das variáveis densidade do solo (a, b c), teor de C (d, e, f) e estoque de C (g, h, i) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm determinados pelo método de interpolação krigagem ordinária. As unidades das variáveis são descritas na tabela 1.