Embrapa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1678-0892
Dezembro, 2003

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 25

Estoque de Carbono de Solo sob Plantio Direto de Grãos -

variabilidade espacial em lavoura

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado
Alberto Carlos de Campos Bernardi
Luiz Ivan Ortiz Valencia
Carlos Alberto Silva
Aluísio Granato de Andrade
Beáta Madari
Margareth Simões Penello Meirelles

Rio de Janeiro, RJ
2003

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos
Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ
Fone:(21) 2274.4999
Fax: (21) 2274.5291
Home page: www.cnps.embrapa.br
E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br)

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*
Normalização bibliográfica: *Cláudia Regina Delaia*
Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes*
Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

1ª edição
1ª impressão (2003)

Todos os direitos reservados.
A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Estoque de carbono de solo sob plantio direto de grãos - variabilidade espacial em lavoura / Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado... [*et al.*]. - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2003.
21p..- (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 25)

ISSN 1678-0892

1. Estoque de Carbono. 2. Plantio Direto. 3. Grãos - Solo - Estoque de Carbono. I. Machado, Pedro Luiz Oliveira de Almeida. II. Bernardi, Alberto Carlos de Campos. III. Valencia, Luiz Ivan O. IV. Silva, Carlos Alberto. V. Andrade, A. G.. VI. Madari, Beata Emoki. VII. Meirelles, Margareth S. VIII. Embrapa Solos (Rio de Janeiro). IX. Série.

CDD (21.ed.) 631.4

© Embrapa 2003

Sumário

Introdução 8
Material e Métodos 9
Resultados e Discussão 13
Conclusão 18
Referências Bibliográficas 19

Estoque de carbono de solo sob plantio direto de grãos - variabilidade espacial em lavoura

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado[1]
Alberto Carlos de Campos Bernardi [1]
Luiz Ivan Ortiz Valencia[2]
Carlos Alberto Silva[3]
Aluísio Granato de Andrade[1]
Beáta Madari [1]
Margareth Simões Penello Meirelles[1]

Resumo

O sistema plantio direto é reconhecido como um sistema de cultivo nas regiões tropicais e sub-tropicais, que promove a alta produtividade das culturas, principalmente em anos mais secos, combinada com o menor impacto no meio ambiente pelo eficaz combate à erosão hídrica. Atualmente, busca-se identificar, ainda no contexto dos benefícios ambientais, a contribuição do sistema plantio direto na mitigação da mudança climática global por meio do acúmulo de carbono orgânico no solo. Assim, visando verificar este benefício, este estudo foi conduzido numa lavoura de 13 hectares, no município de Carambeí, PR, há mais de 10 anos sob plantio direto de grãos (soja, trigo e milho) em rotação com aveia, objetivando quantificar a variação espacial do estoque de carbono (em toneladas de carbono por hectare) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Foi feita uma amostragem em grade de 40 x 40 m para a determinação do estoque de

[1]Pesquisador da Embrapa Solos, R. Jardim Botânico, 1024. CEP: 22460-000, Rio de Janeiro, RJ. E-mail: sac@cnps.embrapa.br
[2] Pesquisador do Instituto de Geociências- UFRJ, Rio de Janeiro, RJ
[3] Pesquisador do Departamento de Ciência do Solo-UFLA, Lavras, MG.

carbono, densidade do solo e concentração de argila. Após constatação visual de diferença quanto à textura na gleba, duas grades menores foram estabelecidas em cada área (Zona A, mais arenosa e; Zona B, mais argilosa) para amostrar o solo a cada 20 x 20, 10 x 10 e 5 x 5 m. Foram obtidas coordenadas geográficas dos pontos amostrados e os resultados de estoque de carbono orgânico e teor de argila do solo foram analisados geoestatisticamente construindo-se semivariogramas para, em seguida, aplicar o método de interpolação de krigeagem para a construção de mapas das estimativas das variações do estoque de carbono e da concentração de argila do solo na área de estudo. A média do estoque carbono foi de $12,6 \pm 2,9$, $12,7 \pm 2,5$ e $23,7 \pm 5,6$ t C ha^{-1} na profundidade 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. O método geoestatístico combinado com a interpolação por krigeagem ordinária detectou com sucesso a variação espacial do estoque de carbono e da concentração de argila do solo. Os mapas das estimativas krigeadas indicaram que a variação no estoque de carbono coincidiu com a variação da concentração de argila do solo. Nas condições do presente estudo, para representar a variabilidade espacial do estoque de carbono, os pontos de amostragem devem estar espaçados um do outro em, pelo menos, 100 metros.

Palavras chave: soja, densidade do solo, argila, amostragem em grade, geoestatística, krigeagem.

Soil carbon stock under no-till system -
spatial variability in a farm

Abstract

No-tillage system is considered to be a tropical and sub-tropical crop system, which promotes high crop yield, especially in years of low rainfall, combined with low environmental impact due to efficacious water erosion control. To date, within the environmental framework there is a need to identify the benefit of no-tillage system in the mitigation of the global climate change through organic carbon accumulation in the soil and to verify its potential for certification in carbon credits. Thus, in order ot verify this benefit a study was conducted on a 13-ha farm in Carambeí, State of Paraná. The area has been under no-tillage for more than 10 years growing grains (soybean, wheat and maize) in rotation with a cover crop (oat). The objective of the study was to evaluate the spatial variability of the soil carbon stocks (in tons of carbon per hectare) at 0-5, 5-10 and 10-20 cm. Grid sampling was set up measuring 40 x 40 m. Soil samples were collected for the determination of organic carbon concentration (g C kg^{-1} soil), soil density and clay content (g clay kg^{-1} soil). Due to soil texture contrast in the study area, two smaller grids were established in the Zone A (clayey) and Zone B (sandy), each measuring 20 x 20, 10 x 10 and 5 x 5 m. The average values of soil carbon stocks were 12,6 ± 2,9, 12,7 ± 2,5 e 23,7 ± 5,6 t C ha^{-1} at 0-5, 5-10 and 10-20 cm depth, respectively. Variograms and kriging were sensitive to describe the correlation structure in soil carbon stocks and clay concentration, to interpolate, and to optimise sampling for estimation. Thus, the sampling strategy adopted in this study resolved the variation well and the variograms suggest that a sampling grid of 100 m at least, should be adequate for interpolation.

Key words: soybean, soil clay concentration, grid sampling, variograms, kriging.

Introdução

O aumento de gás carbônico na atmosfera e conseqüente mudança climática global tem atraído a atenção para o acúmulo de carbono no solo como uma estratégia de mitigação e, neste contexto, para o efeito do uso e manejo (ex. sistema plantio direto) nos estoques de carbono do solo. O Brasil é um dos países signatários do Protocolo de Quioto que trata da redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE – ex. dióxido de carbono, metano e óxido nitroso). Atualmente, embora a redução de emissões pelo Brasil não seja compulsória, sempre se discute a possibilidade do sistema plantio direto ser considerado como contribuinte eficaz para a mitigação das mudanças climáticas. O sistema plantio direto não é elegível para projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para o período de 2008 a 2012 (Machado, 2002), mas há grandes possibilidades para após 2012. Por outro lado, o Brasil pode ser incluído, num futuro breve, no grupo dos países com obrigações de redução de emissões e os solos sob sistema plantio direto podem contribuir para o país cumprir as metas de reduções de emissões pelo acúmulo de carbono no solo.

A maioria dos trabalhos sobre estoque de carbono de solos sob diferentes usos e manejos é conduzida em parcelas experimentais ou em pequenas áreas aparentemente representativas de ambientes similares numa escala maior (Freixo *et al.*, 2002; Riezebos e Loerts, 1998). Entretanto, conforme observado por Bergstrom *et al.* (2001a) em Chernossolos canadenses, os resultados obtidos em parcelas experimentais não podem ser arbitrariamente extrapolados para escalas maiores. Segundo Bergstrom *et al.* (2001b), os estoques de carbono do solo variam com a topografia da paisagem. Assim, os efeitos do manejo do solo devem ser avaliados em escalas maiores como as observadas de fato nas lavouras de propriedades agrícolas. No Brasil, há muito poucos trabalhos sobre esse importante tema. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial do estoque de carbono (em t ha^{-1}) de um Latossolo Vermelho Distrófico típico epieutrófico, sob sistema plantio direto de grãos numa gleba (13 hectares) de uma propriedade agrícola. A geoestatística é um conjunto de técnicas que estima valores regionalizados e espacializados de atributos ou características de uma determinada área a ser estudada (Lamparelli *et al.*, 2001). Segundo os autores, a ferramenta básica da geoestatística é o método de interpolação denominado krigeagem (do inglês *kriging*), cujo produto é um mapa da área segundo um atributo, com estimativas não viciadas (não enviesadas) e de mínima variância. A krigeagem deverá ser a ferramenta mais utilizada para a interpolação e mapeamento em agricultura de precisão (Oliver e Frogbrook, 1998).

Para que o método de interpolação de krigeagem seja válido ou seja, que seja realmente representativo da variação espacial daquele atributo na área, é necessário definir alguns parâmetros, os quais podem ser encontrados durante a modelagem da estrutura da variabilidade existente, interpretada através do semi-variograma ou apenas variograma (Lamparelli *et al.*, 2001). A análise quantitativa do solo usando a Geoestatística tem sido o método mais comumente utilizado para determinar a distribuição espacial de nutrientes para as plantas na lavoura (McBratney e Pringle, 1999; Mulla e McBratney, 2000), pois fornece informação indireta sobre a disponibilidade deles no solo. Através do alcance do semivariograma a geoestatística pode contribuir para o estabelecimento da malha de amostragem. O alcance é um dos parâmetros do modelo de semivariograma e indica a distância até onde o atributo apresenta continuidade espacial. Ele depende da direção e da escala espacial da área de estudo. De fato, a extensão da célula de amostragem de atributos de solo é definida, de acordo com Mulla e McBratney (2000), como sendo 0,25 a 0,5 do valor de alcance do atributo sob análise.

Material e Métodos

A área de estudo se localiza na Fazenda Tabatinga, na região de Campos Gerais, no município de Carambeí, Paraná (24º51'45" S e 50º15'58" O; 615 a 870 m de altitude). O clima é subtropical com média de 1.560 mm anuais de chuva e temperatura anual média de 17,6 ºC. O tipo de solo é o Latossolo Vermelho Distrófico típico epieutrófico, com teores de argila variando de 180 a 720 g kg^{-1}. Na Figura 1 observa-se a paisagem onde a área de estudo está inserida.

Fig. 1. Vista da área de estudo sob cultivo de soja em plantio direto.

O sistema plantio direto vem sendo adotado nessa área desde 1988 e o esquema de cultivo adotado é o de soja no verão, por 2 safras consecutivas, em rotação com trigo e aveia preta no inverno. Após as 2 safras de soja, cultiva-se o milho no verão. Por ocasião do plantio no ano de avaliação, foram utilizadas as doses de 62,5 kg ha^{-1} de K_2O, e 62,5 kg ha^{-1} de P_2O_5 (250 kg ha^{-1} da formulação NPK 0-25-25). A amostragem do solo foi realizada no verão de 2000 (janeiro), início do florescimento da soja. A grade de amostragem foi composta de células de 40 x 40 m, num total de 107 pontos de amostragem cobrindo 13 ha (Figura 2). Pelo fato da área apresentar variação visual na textura do solo, foram estabelecidas duas grades de amostragem mais densas (área A e área B) coletando-se amostras a cada 20 x 20 m, 10 x 10 m e 5 x 5 m para a análise da concentração de argila. As coordenadas geográficas dos pontos amostrados foram obtidas através do uso de aparelho GPS Trimble® Geoexplorer 3C com precisão de cerca de 2 metros. As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, abrindo-se pequenas trincheiras em cada ponto de amostragem (Figura 3).

A densidade do solo foi determinada para cada camada amostrada por meio de anéis de Kopecky (4 x 4 cm), inserindo-se o anel no solo (Figura 3) e retirando-se o material de solo exatamente necessário para preencher o interior do anel. Após a etapa de coleta, as amostras de solo foram transportadas para o Laboratório de Análise de Solo e Planta (LASP) da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

As amostras de solos foram preparadas para as análises executando-se, previamente, a secagem ao ar e peneiração em malha 2 mm (TFSA), conforme proposto por Embrapa (1997), para carbono orgânico (digestão via úmida com aquecimento adicional por 5 minutos com o uso de 'dedo frio'), granulometria (método do densímetro). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997). O estoque de carbono (em t ha^{-1} de C) foi determinado pela expressão: teor de C (t t^{-1} solo) x DS x E, em que DS = densidade do solo (t m^{-3}) e E = espessura (m). Devido à laboriosidade da coleta de amostras na lavoura, 5% dos pontos foram perdidos e, para a execução do estudo, foram estimados usando a média dos pontos circunvizinhos.

A análise geoestatística consistiu na construção do semivariograma experimental omnidirecional e o ajuste de um modelo de semivariograma. Maiores detalhes sobre geoestatística e semivariograma no estudo da variabilidade espacial de propriedades do solo podem ser obtidos em Silva *et al.* (2002) e Vieira (2000). Os atributos de solo para estoque de carbono foram estimados por krigeagem ordinária em uma grade com células de 40 x 40 m e o mapa de isolinha foi gerado usando o programa

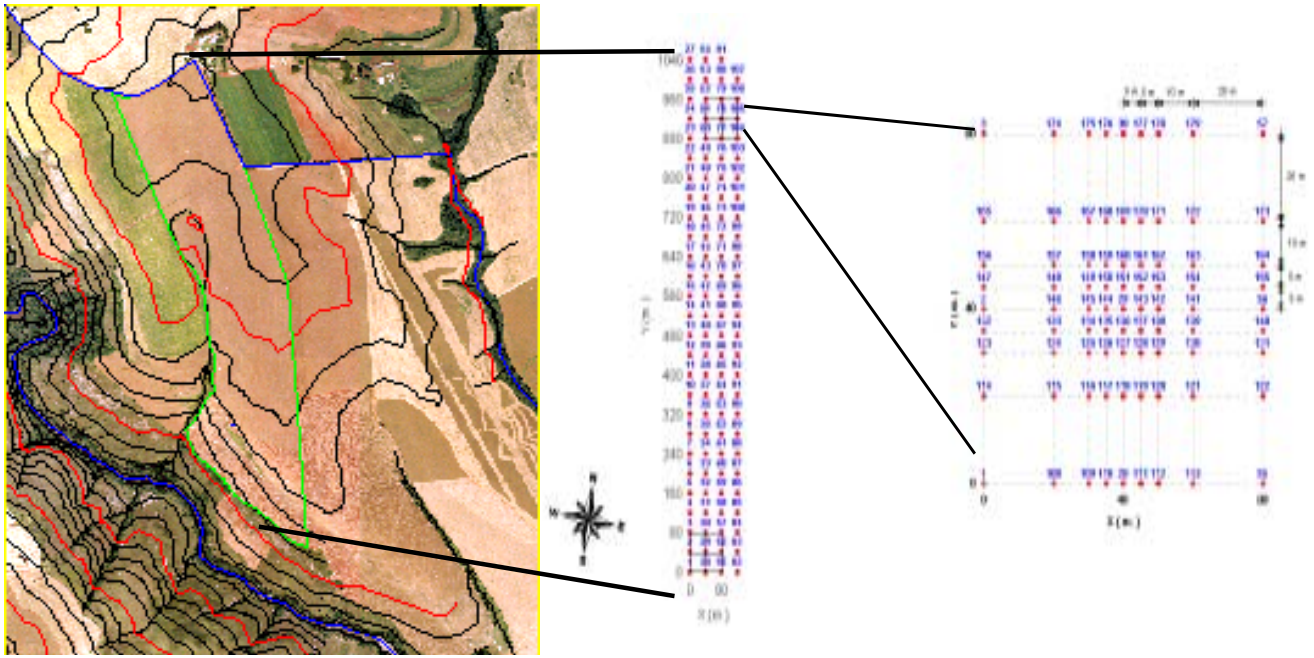

Fig. 2. Vista aérea da área de estudo (ortofoto) e esquema de amostragem do solo em grade adotado na gleba.

Surfer 8 para Windows (Golden Software Co., EUA). Para as concentrações de argila estimou-se por krigeagem ordinária em uma grade com células de 10 x 10 m e gerou-se, em seguida, o mapa de isolinha. Os dados foram analisados utilizando-se métodos geoestatísticos do programa GSLIB (Deutsch e Journel, 1998). Os ajustes dos variogramas foram obtidos pelo programa Variowin 2.2 (Pannatier, 1996) pelo procedimento padronizado do quadrado médio ponderado, sendo padronizado pela variância dos dados e ponderados pelo número de pares em cada distância ("*lag*") e o inverso da distância média do *lag*. Quanto mais próximos de zero são os valores, melhores são os ajustes.

Fig. 3. Coleta de amostra de solo para a medição da densidade e do teor de carbono total.

Resultados e Discussão

A média do estoque carbono foi de 12,6 ± 2,9, 12,7 ± 2,5 e 23,7 ± 5,6 t C ha^{-1} na profundidade 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. Silva *et al.* (2002) apresentaram as concentrações médias de carbono orgânico (em g C kg^{-1} solo) desta mesma área de estudo constatando teores similares para as duas profundidades mais superficiais (28 e 22 g C kg^{-1} solo para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm, respectivamente). Em solos sob sistema plantio direto de grãos conduzido por mais de 5 anos, normalmente observa-se brusca diminuição nas concentrações e estoques de carbono orgânico do solo nas profundidades de 0-5 a 5-10 cm havendo pouca alteração em profundidades maiores (Machado e Silva, 2002). No presente estudo, ao contrário, o contraste nos estoques de carbono orgânico entre as duas camadas mais superficiais foi pouco evidente (estoque de carbono 0,8% maior na profundidade de 5-10 cm em relação a 0-5 cm). Isto se deve provavelmente ao grande e contínuo aporte de carbono orgânico proveniente de restos culturais e plantas de cobertura por vários anos agrícolas, combinados com o clima mais ameno da região. Na Tabela 1 são apresentados os modelos de variogramas e parâmetros dos modelos para os estoques de carbono e concentração de argila nas diferentes profundidades e, no caso da argila, também as duas zonas de amostragem (grade menor A em solo mais arenoso e grade menor B em solo mais argiloso). Os modelos de variogramas exponencial e esférico foram os que melhor se ajustaram aos estoques de carbono nas profundidades avaliadas (Ajuste = 0,0091, 0,0017 e 0,0022 nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente; Tabela 1). Maiores detalhes sobre as características dos modelos de variogramas podem ser encontrados em Vieira (2000) e Lamparelli *et al.* (2001).

Todos os variogramas para as variáveis estudadas nas diferentes profundidades atingem um patamar (Tabela 1). Os variogramas do estoque de carbono nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm têm alcances similares de 135, 148 e 125 m, respectivamente. Estes valores são bem maiores que os observados por Silva *et al.* (2002) para a concentração de carbono orgânico (em g C kg^{-1} solo). Os autores relataram alcances de 80, 75 e 80 m para as profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente. Alcances maiores observados para estoque de carbono no presente estudo poderiam ser explicados pela modelagem considerando-se 107 pontos amostrados para a análise de estoque de carbono orgânico, que envolve também a medição da densidade do solo, diferentes dos 251 pontos amostrados por Silva *et al.* (2002) para a análise da concentração de carbono orgânico apenas.

Os alcances dos variogramas da concentração de argila para as três profundidades na zona mais argilosa da gleba (Zona B) também foram similares aos do estoque de carbono. Os alcances dos variogramas da concentração de argila na zona mais arenosa (Zona A) apresentaram valores menores que as observadas para a Zona B e também uma tendência à diminuição em profundidade (91, 82 e 66 m para 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente; Tabela 1). Aparentemente os alcances dos variogramas diminuem para a mesma variável com a diminuição da sua concetração no solo.

Tabela 1. Estoque de carbono (ton C ha^{-1}) e concentração de argila (g argila kg^{-1} solo) em diferentes camadas de um Latossolo Vermelho Distrófico típico epieutrófico (Carambeí, PR) e respectivos modelos de semivariogramas e respectivos parâmetros.

Variável	Modelo	Alcance (metros)	C_0[1]	C[2]	Patamar[3]	Ajuste do variograma
Carbono (ton ha^{-1}; 0-5 cm)	Exponencial	135	5	1	6	0,0091
Carbono (ton ha^{-1}; 5-10 cm)	Esférico[4]	148	1	4	4	0,0017
Carbono (ton ha^{-1}; 10-20 cm)	Esférico	125	4	12	16	0,0022
Argila (g kg^{-1}; 0-5 cm)	Gaussiano	91	839	13439	14278	0,0054
Zona A						
Argila (g kg^{-1}; 0-5 cm)	Gaussiano	114	528	3068	3596	0,0110
Zona B						
Argila (g kg^{-1}; 5-10 cm)	Gaussiano	82	1080	11280	12360	0,0110
Zona A						
Argila (g kg^{-1}; 5-10 cm)	Gaussiano	117	120	4000	4120	0,0454
Zona B						
Argila (g kg^{-1};10-20 cm)	Gaussiano	66	280	12040	12320	0,0083
Zona A						
Argila (g kg^{-1}; 10-20 cm)	Gaussiano	117	210	770	980	0,0440
Zona B						

[1]Efeito pepita; [2]Contribuição; [3]Patamar (C_0 + C); [4]Variograma ajustado nos resíduos entre um polinômio de ordem 2 e as variáveis; Zona A: grade de amostragem menor na área mais arenosa da gleba; e Zona B: grade de amostragem menor na área mais argilosa da gleba.

Todos os variogramas mostram que as variáveis (estoque de carbono e concentração de argila nas diferentes profundidades) apresentam forte correlação no espaço e indicam que uma grade de amostragem de 100 m seria adequada para a interpolação do estoque de carbono (nas três profundidades) e concentração de argila nas três profundidades da Zona B e de 60 m para a interpolação da concentração de argila nas três profundidades da Zona A.

As estimativas krigeadas do estoque de carbono e da concentração de argila foram mapeadas de modo que os padrões das variações pudessem ser analisados (Figuras 4 e 5). A análise exploratória mostrou, para todas as profundidades, uma tendência espacial com gradiente positivo do estoque de carbono no sentido do eixo Y, tendendo a aumentar para a zona mais argilosa da gleba (Figuras 4 e 5). Feller e Beare (1997), numa ampla revisão sobre o controle físico da dinâmica da matéria orgânica do solo nos trópicos, observaram tanto para solos cultivados como para solos sob florestas, ambos cauliníticos, que há uma correlação positiva entre a concentração de carbono orgânico do solo e a quantidade de argila tanto na forma de matéria orgânica particulada (resíduos orgânicos > 50 ou 20 mm) assim como na forma de matéria orgânica associada às partículas de silte e argila.

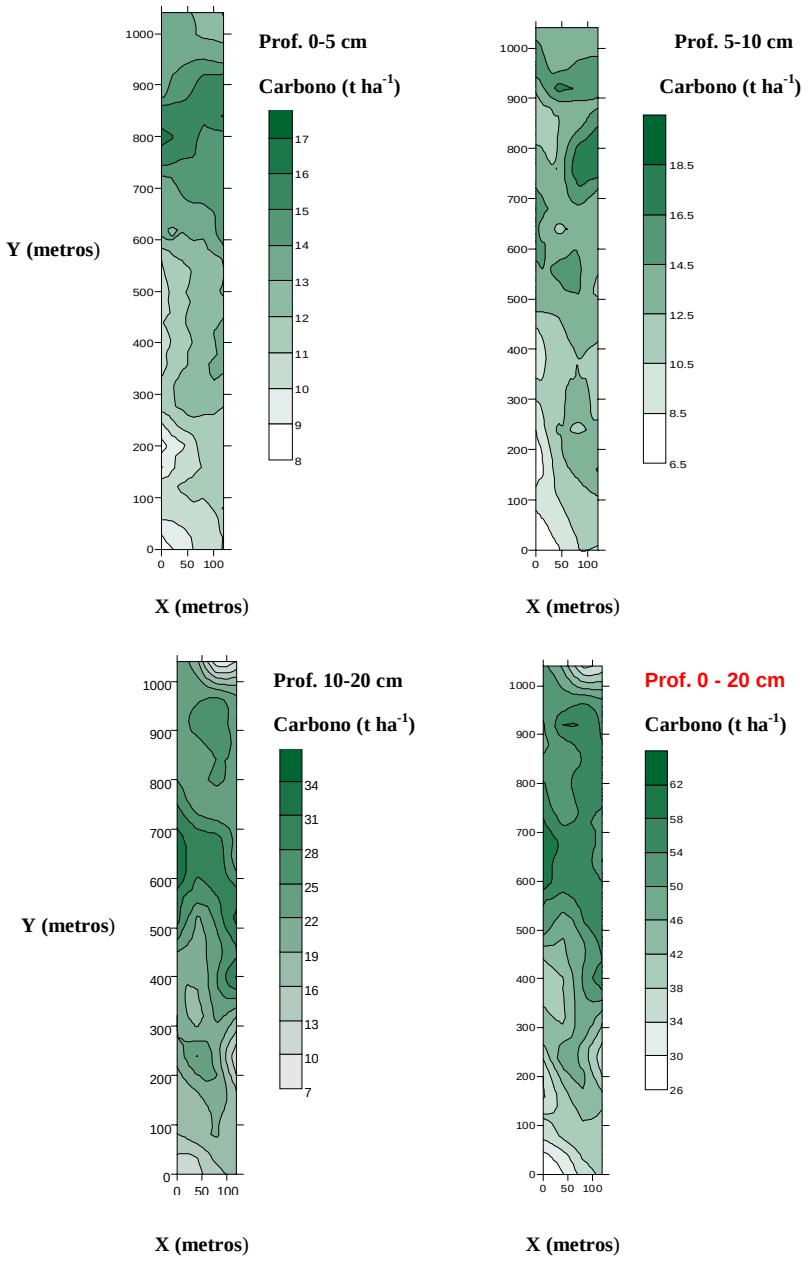

Fig. 4. Mapas interpolados por krigeagem ordinária do estoque de carbono orgânico de Latossolo Vermelho Distrófico típico epieutrófico, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 0-20 cm.

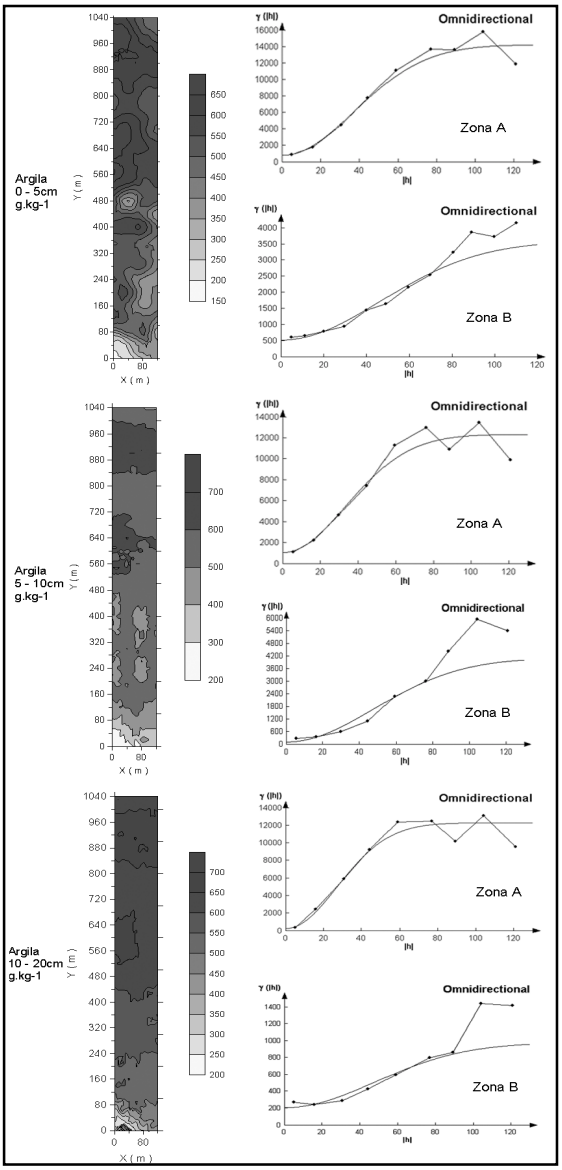

Fig. 5. Mapa interpolado por krigeagem ordinária, semivariograma experimental (linha em traços) e modelo ajustado (linha contínua) do teor de argila de Latossolo Vermelho Distrófico típico epieutrófico , na profundidade 0-5 e 5-10 cm.

Conclusão

1. Os dados de estoque de carbono e da concentração de argila do solo são fortemente correlacionados no espaço e a técnica geoestatística detectou com sucesso esta variação podendo oferecer mapas das estimativas krigeadas da variação dos estoques de carbono e da concentração de argila no solo.

2. A variação no estoque de carbono na área de estudo seguiu a variação na concentração de argila do solo.

3. Em razão da forte variação nos estoques de C observada, é bastante provável que os procedimentos usuais de coleta de amostras de solos, que recomendam 15 subamostragens para compor uma amostra composta numa gleba aparentemente homogênea, não venham a ser adequados para a quantificação de estoques de carbono do solo, visando a obtenção de certificados de redução de emissões para projetos MDL. Ao mesmo tempo, a execução da amostragem em grade numa gleba tem forte limitação pela laboriosidade da coleta e custo das análises em laboratório. No presente estudo, para se ter uma verdadeira representatividade da variação espacial do estoque de carbono no solo, os pontos de amostragem na grade devem estar espaçados um do outro em, pelo menos, 100 m. Constata-se, então, a necessidade de desenvolvimento de instrumentos portáteis de campo numa relação custo:benefício favorável, para a medição contínua e em tempo real do estoque de carbono do solo em escala de propriedade rural. A espectroscopia infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), espectroscopia por degradação induzida por laser (LIBS) e fotoluminescência (FIL) oferecem alto potencial nesta direção (Cremers *et al.*, 2001; Milori *et al.*, 2001; Mimmo *et al.*, 2002);

Agradecimentos

Ao produtor rural, Sr. Geraldo Slob (Carambeí, PR) pela permissão de uso da gleba cultivada.

Ao Programa Prodetab (Proj. Nr. 041-01/99) e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro-FAPERJ (Proj. Nr. E-26/ 171.528/00-APQ1) pelo auxílio financeiro.

À Fundação Giacometti e aos engenheiros agrônomos Volnei Pauletti (Fundação ABC, Castro, PR) e José Carlos Sguario Jr. (Grupo Agro Elf) pelo apoio técnico-administrativo.

Ao Assistente de Operações Adoildo da Silva Melo, pelo auxílio na coleta das amostras no campo. Aos Auxiliares de Operações Ana Paula de Sousa O. de Albuquerque, Andréa Campos de Souza, Jorge Luís Nunes Ramilo, Leocádio Corrêa de Mesquita e Rogério Tavares de Campos. Ao Assistente de Operações Sérgio Gomes e ao Técnico de Nível Superior José Flávio Xavier Barbosa, pelo preparo e condução das análises químicas e físicas nas amostras coletadas.

Referências Bibliográficas

BERGSTROM, D. W.; MONREAL, C. M.; JACQUES, E. St. Influence of tillage practice on carbon sequestration is scale-dependent. **Canadian Journal of Soil Science**, Edmonton, v. 81, p. 63-70, 2001a

BERGSTROM, D. W.; MONREAL, C. M.; JACQUES, E. St. Spatial dependance of soil organic carbon mass and its relationship to soil series and topography. **Canadian Journal of Soil Science**, Edmonton, v. 81, p. 53-62, 2001b.

CREMERS, D. A.; EBINGER, M. H.; BRESHEARS, D. D.; UNKEFER, P. J.; KAMMERDIENER, S. A.; FERRIS, M. J., CATLETT, K. M.; BROWN, J. R. Measuring total soil carbon with laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS). **Journal of Environmental Quality**, Amsterdam, v. 30, p. 2202-2206, 2001.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. **GSLIB geostatistical software library and user's guide**. New York: Oxford University Press, 1992. 341 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 69-116, 1997.

FREIXO, A. A.; MACHADO, P. L. O. A.; GUIMARÃES, C. M.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 425-434, 2002.

LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, J. V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão –** fundamentos e aplicações. Agropecuária: Guaíba, RS, 2001. 118 p.

MACHADO, P. L. O. A. **Mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)**: funcionamento, pontos críticos e possibilidades para alguns sistemas agrícolas no Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 28 p. (Embrapa Solos. Documentos, 41.

MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Soil management under no-tillage in the tropics with special reference to Brazil. **Nutrient cycling in agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, p. 119-130, 2002.

McBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, Dordrecht, Holanda, v.1, n.1, p.125-152, 1999.

MILORI, D. M. B. P.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, C.; BAGNATO, V. S. Fotoluminescência de solos intactos: Nova técnica para avaliação da humificação da matéria orgânica. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUSTÂNCIAS HÚMICAS, 4.; Viçosa, MG. **Anais...**: Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 97-99.

MIMMO, T., REEVES, J. B., McCARTHY, G. W., GALLETTI, G. Determination of biological measures by mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy in soils with landscape. **Soil Science**, Baltimore, v. 167, p. 281-287, 2002

MULLA D. J.; MCBRATNEY, A. B. Soil spatial variability. In: SUMNER, M. E. **Handbook of soil science**. Boca Raton : CRC Press, 2000. A 321-352.

OLIVER, M. A.; FROGBROOK, Z. L. **Sampling to estimate soil nutrients for precision agriculture**. New York: The International Fertilizer Society, 1998. 36 p. (Proceedings, 417).

PANNATIER, Y. **Variowin:** software for spatial data analysis in 2D. New York, Springer-Verlag, 1996. 91 p.

RIEZEBOS, H. T.; LOERTS, A. C. Influence of land use change and tillage practice on soil organic matter in southern Brazil and eastern Paraguay. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 4, p. 271-275, 1998.

SILVA, C. A.; MACHADO, P. L. O. A..; BERNARDI, A. C. C.; CARMO, C. A. F. S. do; VALENCIA, L. I. O.; ANDRADE, A. G.; MEIRELLES, M. S. **Amostragem de solo em área de soja sob plantio direto**: uso de técnicas de agricultura de precisão. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 8 p. (Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 10).

VIEIRA, S. R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M.; MANTOVANI, E. C.; FERREIRA, L. R.; VALLE, F. X. R.; GOMIDE, R. L. **Agricultura de precisão.** Viçosa: UFV, 2000. p. 93-108.