



ESPAIALIZAÇÃO DOS TEORES DE CARBONO NO SOLO EM UM FRAGMENTO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Tauane Garcia Barreto¹, Mateus Niroh Inoue Sanquetta², Ana Paula Dalla Corte³, Carlos Roberto Sanquetta³, Sylvio Péllico Netto³

1. Mestranda em Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná. (tauanebiologia@gmail.com).
2. Graduando em Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná.
3. Professor (a) Doutor (a) da Universidade Federal do Paraná.

Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo a modelagem geoestatística dos teores de carbono no solo de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, utilizando a técnica da krigagem ordinária. Para tal foram realizadas coletas de solo, na profundidade de 0-20 cm, em três parcelas permanentes de 100x100 m (1 ha), localizada na Estação Experimental de São João do Triunfo/PR. Por meio das coletas de solo foi possível obter os teores de carbono para cada parcela, analisados por combustão a seco e detecção por espectroscopia de infravermelho, bem como sua modelagem geoestatística. Foram encontrados teores médios de 4,66, 3,81 e 3,56% respectivamente para as parcelas Araucária, Fogo e Imbuia. Quanto ao ajuste do semivariograma para os dados, a parcela Araucária apresentou efeito pepita zero para os modelos Exponencial e Gaussiano, e dependência espacial fraca para o modelo Esférico. Já as parcelas Fogo e Imbuia apresentaram dependência espacial moderada à forte entre os modelos testados, ressaltando o modelo Exponencial, o qual obteve o melhor ajuste para estas parcelas. Concluiu-se que por meio deste estudo, pode-se observar que a técnica da geoestatística utilizada na base de dados amostrados proporcionou resultados satisfatórios quando a análise da dependência espacial dos teores de carbono no solo.

PALAVRAS-CHAVE: dependência espacial, geoestatística e krigagem.

SPATIALIZATION THE LEVELS OF CARBON IN SOIL IN A SHRED OF ARAUCARIA FOREST

ABSTRACT

The present study aimed to geostatistical modeling of the carbon in a fragment of Araucaria Forest soil, using the technique of ordinary kriging. For such samplings were carried out at a depth of 0-20 cm with three permanent plots of 100x100 m (1 ha), located in the São João do Triunfo /PR Experimental Station. Through the samplings was possible to obtain carbon contents for each plot analyzed by dry combustion and detection by infrared spectroscopy, as well as its geostatistical modeling. Average levels of 4.66, 3.81 and 3.56% respectively for Araucaria, Fire and Imbuia plots were found. As for the adjustment of the semivariogram for the data, the Araucaria plot showed zero nugget effect for the exponential and Gaussian models, and weak spatial dependence for Spherical model. As for the Fire and Imbuia plots showed moderate to strong spatial dependence among the tested models, highlighting the

exponential model, which obtained the best fit for these parcels. It follows that by means of this study it can be seen that the geostatistical technique used on the basis of sampled data provided satisfactory results when analyzing the spatial dependence of the carbon in the soil.

KEYWORDS: spatial dependence, geostatistics and kriging.

INTRODUÇÃO

As florestas exercem importantes papéis ambientais, e entre eles esta a melhoria da qualidade nutricional do solo, e quando se objetiva o manejo racional, produtividade sustentável e predição dos ecossistemas florestais, o estudo dos atributos do solo se tornam essenciais, pois ambos, floresta e solo, encontram-se interligados (WOJCIECHOWSKI et al., 2009).

A estimativa do estoque de carbono orgânico dos solos é um tópico importante nos estudos florestais, tendo em vista as questões de mudanças climáticas e dos últimos resultados do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima) sobre os cenários globais atuais (IPCC, 2007). A neutralização e a estocagem do carbono são processos importantes em função da intensificação do efeito estufa e do conseqüente aquecimento global (FLIZIKOWSKI, 2013). Desta maneira, a preocupação com técnicas e estimadores mais eficientes, que determinem as características de uma área, ou uma porção da superfície terrestre, são alvos de estudos não só na ciência do solo, mas também em outras áreas do conhecimento desde o início do século XX (WOJCIECHOWSKI et al., 2009).

No âmbito da conservação de carbono em florestas, o solo pode ser considerado como fonte ou sumidouro de carbono e, para tentar minimizar a quantidade de carbono lançada na atmosfera faz se interessante à ampliação das áreas florestais, visando fixar carbono na forma de biomassa vegetal e ao mesmo tempo, criando condições para o incremento de carbono no solo (REES et al., 2005). De acordo com MACHADO (2005), os solos florestais são o compartimento que apresentam estoques de carbono superiores aos demais ecossistemas terrestres, como por exemplo, os encontrados na biomassa vegetal ou na atmosfera, fato que ressalta a importância significativa das florestas no equilíbrio do ciclo do carbono, acima e abaixo do solo (RATUCHNE, 2010).

Contudo, a manutenção dos estoques de carbono depende da otimização de fatores de manejo, pois influenciam diretamente na capacidade de produção de biomassa, tanto na parte aérea como no incremento de material orgânico no solo (BRAZ et al., 2004). Vários trabalhos científicos têm sido desenvolvidos com a finalidade de quantificar os reservatórios de carbono e entender os fatores que controlam sua dinâmica (OLSZEWSKI et al., 2007). SANQUETTA et al., (2006) ressaltam que, para a quantificação e o monitoramento de carbono em estudo e projetos, é necessário apresentar uma proposta metodológica que integre o mapeamento, o inventário florestal, as determinações de biomassa, as determinações dos teores de carbono e a modelagem matemática.

Por ser o solo um sistema extremamente heterogêneo, como conseqüência da interação conjunta de processos físicos, químicos e biológicos, o conhecimento de sua variabilidade espacial é imprescindível, devendo ser considerado no momento da amostragem. A utilização de um método estatístico-espacial que explore as relações existentes entre as unidades amostrais com base em sua localização torna-se uma alternativa para analisar determinados aspectos ambientais (BOGNOLA et al., 2009).

As técnicas geoestatísticas têm sido muito utilizadas nas análises de dados espaciais, tornando-se uma ferramenta eficaz uma vez que permite através da incorporação de coordenadas espaciais a um conjunto de dados amostrais e métodos de interpolação, gerar uma superfície contínua, expressa por mapas em sua maioria (SANCHEZ, 2010). VIEIRA (2000) ressalta a necessidade de se avaliar a variabilidade espacial das amostragens em campo por meio da geoestatística, no sentido de se verificar sua dependência espacial por meio de semivariograma. Após verificar essa dependência é possível estimar valores para locais não amostrados, com variância mínima e sem tendenciosidade, por meio do método de krigagem (GOMES et al., 2007). Como forma de suprir esta demanda, diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de verificar possíveis relações espaciais existentes entre atributos do solo (ROSA FILHO et al., 2009; CAMPOS et al., 2009).

Deste modo, o presente estudo teve como objetivo a modelagem dos teores de carbono no solo através da geoestatística, para um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, localizado em São João do Triunfo/PR, utilizando a técnica da krigagem ordinária.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi executado na Estação Experimental de São João do Triunfo pertencente à Universidade Federal do Paraná, inventariada desde 1995 através do Projeto Ecológico de Longa Duração - PELD Sitio 9, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

Localizada no município de São João do Triunfo no estado do Paraná, possui uma área total de aproximadamente 32 ha, fragmentada em 30 parcelas permanentes, tendo como coordenadas geográficas de latitude Sul de 25° 34' 18" e longitude Oeste de 50° 05' 56" (PIZATTO, 1999), conforme a Figura 1.

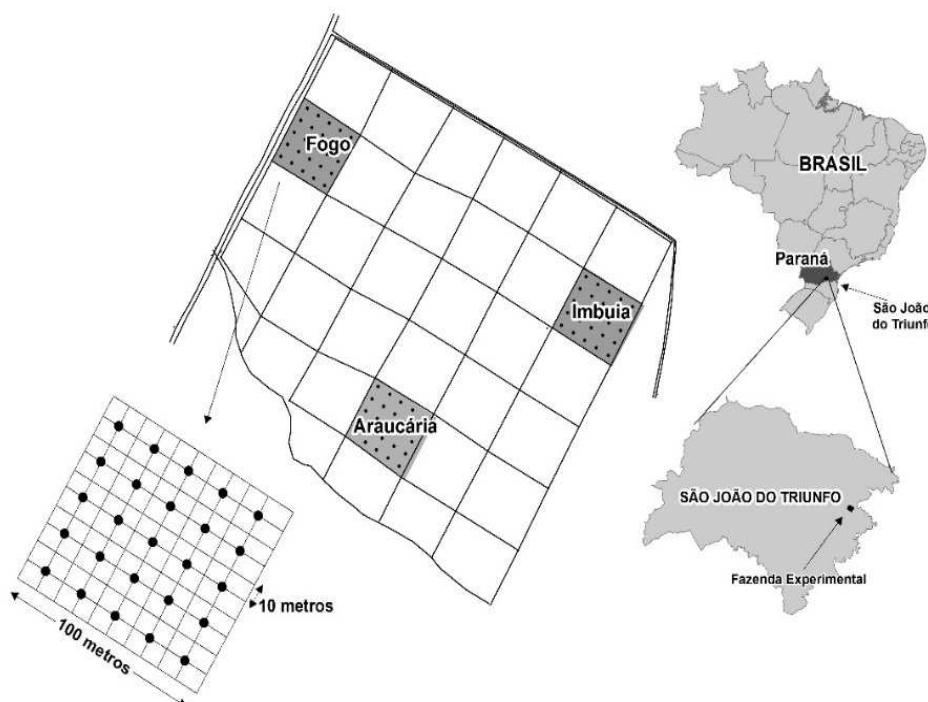


FIGURA 1. Localização da área de estudo e parcelas permanentes, com detalhe da localização dos pontos de amostragem de solos.

Fonte: Os autores.

De acordo com a Classificação Climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, temperado sempre úmido, com a temperatura média anual oscilando entre 17 e 18 °C (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR), 2012). A composição dos solos desta região são associações de Argissolos Vermelho-Amarelo, Cambissolos Háplicos Tb e Latossolos Vermelhos, ambos Distróficos, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

Quanto à vegetação trata-se de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista ou também chamada de Floresta com Araucária. Segundo PIZATTO (1999) as parcelas do presente estudo foram instituídas em função de uma aparente diferença em termos de estágio sucessional, das condições de sítio e topografia.

Coleta dos dados e análise do teor de carbono

Com relação à amostragem, foram selecionadas três parcelas para este estudo, sendo nomeadas como Fogo, Imbúia e Araucária. Tais unidades permanentes foram novamente fragmentadas em sub-parcelas, medindo 10 x 10m cada, totalizando 300 sub-parcelas.

Realizou-se coletas de solo em conjuntos de quatro sub-parcelas, sendo três amostras simples retiradas por gradagem diagonalmente na profundidade de 0-20 cm. A junção das três amostras simples gerou uma amostra composta, ao todo foram obtidas 75, sendo 25 para cada parcela permanente, as quais foram devidamente identificadas através de suas coordenadas geográficas. Após as coletas, as amostras passaram pelo processo de preparação para a análise, as quais foram secas em estufa a 60°C, maceradas, peneiradas com malha de 2 mm, pesadas com balança analítica de precisão e identificadas, contendo 200g aproximadamente por amostra.

Posteriormente a este processo, a análise de carbono foi realizada por combustão a seco e detecção por espectroscopia de infravermelho, por meio do equipamento Analisador de Carbono LECO SC-144 disponível no Laboratório de Inventário Florestal da Universidade Federal do Paraná, a qual resultou os teores de carbono para cada amostra e parcela, em porcentagem.

Modelagem geoestatística

A modelagem geoestatística dos teores de carbono no solo encontrados para as parcelas estudadas foi realizada em duas etapas. A primeira referiu-se a análise exploratória dos dados visando analisar de forma específica os dados, na qual calculou-se as medidas de posição (média e mediana), de dispersão (valor máximo, valor mínimo, desvio padrão e coeficiente de variação).

Na segunda etapa, foram inseridos os dados em ambiente SIG e aplicadas funções que analisam a dependência espacial dos dados como o ajuste do semivariograma, e posteriormente o uso da krigagem ordinária como interpolador, a fim de prever dados não amostrados.

O semivariograma analisa existência da dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, além de definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem (SALVIANO, 1996).

O semivariograma foi determinado pelo algoritmo:

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

Onde: $\gamma^*(h)$ é o semivariograma estimado, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$, separados por um vetor distância h .

Segundo Vieira (2000), em um semivariograma são estimados alguns parâmetros de análise, sendo eles o efeito pepita, patamar e alcance, representados respectivamente pelos símbolos C_0 , C_0+C e a , como pode ser visto na Figura 2.

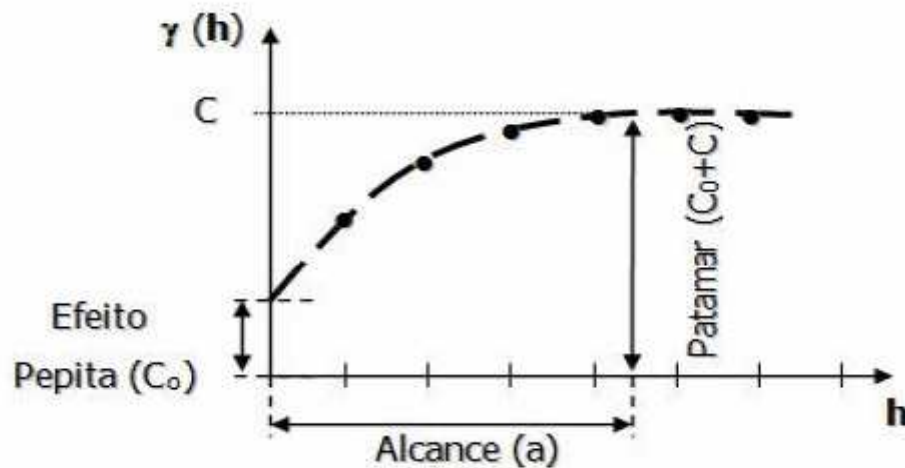


FIGURA 2. Representação gráfica de um semivariograma típico e seus componentes.

Fonte: Vieira (2000).

Existem vários modelos de ajuste do semivariograma, e estes devem fornecer soluções estáveis para o estimador linear – krigagem. Os modelos selecionados neste estudo para o ajuste do semivariograma foram: Esférico, Exponencial e Gaussiano, descritos conforme a Quadro 1.

QUADRO 1. Equações para os modelos de ajuste do semivariograma.

	Equações	Modelo
(a)	$\rho(h) = \begin{cases} \tau^2 + \sigma^2 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{\phi} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{\phi} \right)^3 \right] & \text{se } 0 \leq h \leq \phi \\ \tau^2 + \sigma^2 & \text{se } h > \phi \end{cases}$	Esférico
(b)	$\rho(h) = \begin{cases} \tau^2 + \sigma^2 \left[1 - e^{-\frac{h}{\phi}} \right] & \text{se } 0 \leq h \leq \phi \\ \tau^2 + \sigma^2 & \text{se } h > \phi \end{cases}$	Exponencial
(c)	$\rho(h) = \begin{cases} \tau^2 + \sigma^2 \left[1 - e^{-\frac{h^2}{\phi^2}} \right] & \text{se } 0 \leq h \leq \phi \\ \tau^2 + \sigma^2 & \text{se } h > \phi \end{cases}$	Gaussiano

Fonte: Vieira (2000).

Além do ajuste do semivariograma, foi calculado o índice de dependência espacial dos dados por meio da metodologia proposta por CAMBARDELA et al. (1994), na qual utilizou-se a relação $C_0/(C_0+C)$ considerando os intervalos propostos: dependência espacial fraca ($IDE > 75\%$), moderada ($25\% < IDE < 75\%$) e forte ($IDE < 25\%$).

Após analisado a existência da dependência espacial entre os dados, o interpolador krigagem ordinária, permitiu predizer dados em locais onde não foi possível realizar a amostragem, e foi dado por:

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i), \text{ com } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

Onde: $Z^*(x_0)$ é o valor estimado para o local (x_0) não amostrado; $z(x_i)$ é o valor obtido por amostragem no campo; N é o número de amostras vizinhas e λ_i são os pesos aplicados em cada $z(x_i)$.

E por fim, foram gerados mapas de predição, possibilitando uma análise visual do fenômeno estudado. Para tais procedimentos descritos utilizou-se a ferramenta *Geostatistical Analyst* do software ArcGIS Desktop®, versão 9.3.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise exploratória

No presente estudo foram obtidos os teores de carbono no solo, em porcentagem, bem como seus parâmetros estatísticos, apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Estatística descritiva para os teores de carbono no solo (%) nas parcelas de estudo.

Estatísticas	Parcelas		
	Araucária	Fogo	Imbuia
Média	4,66	3,81	3,56
Mínimo	3,60	2,96	2,12
Máximo	6,04	4,70	6,18
Mediana	4,61	3,82	3,28
Variância da amostra	0,34	0,20	0,91
Desvio padrão	0,59	0,45	0,95
Coeficiente de Curtose	0,15	-0,31	1,63
Coeficiente de Assimetria	0,38	-0,10	1,17

Referente a média dos valores entre as parcelas, observa-se que estas são de 4,66, 3,81 e 3,56 (em %), respectivamente, e em ordem de grandeza, para as parcelas Araucária, Fogo e Imbuia. Estes resultados foram superiores aos obtidos por Maciel (2012), que observou em 0-20cm de profundidade o teor de carbono médio de 3,09%.

Já BARRETO et al. (2008) encontraram uma média de 2,19% de carbono no solo, e uma média menor ainda foi obtida por MORAIS et al. (2013), os quais obtiveram em seu estudo valores variando de 0,15 a 1,38%. GATTO et al. (2010) afirmam que a capacidade de fixação e estocagem de C no solo sofre influência de

fatores como condições climáticas locais, do relevo, da drenagem e do tipo de manejo de solo adotado, tipo de cobertura vegetal, profundidade do solo, entre outras.

No que se refere à mediana, esta se comporta da mesma maneira que a média, com valores bastante próximos para as parcelas Araucária e Fogo, diferindo mais somente na parcela Imbuia onde a média é de 3,56 e a mediana de 3,28. Segundo VALE et al. (2009) quando os valores de média e mediana são iguais ou muito próximos, indica-se que os valores se encontram distribuídos simetricamente ao redor da média e da mediana e, que estas medidas podem ser consideradas como valores típicos do conjunto de observações, ou seja, os resultados observados podem ser sumarizados por uma dessas medidas.

Com relação aos desvios, assim como a variância, apontam que a parcela com maior divergência entre os valores das amostras é a Imbuia, a qual apresenta os menores valores de média e mediana. Da mesma forma, os valores máximo e mínimo da parcela Araucária são os mais elevados, apontando assim uma maior quantidade de taxa de carbono no solo desta parcela em relação às outras.

Ressalta-se também que comparando estatisticamente as médias por meio do teste de Tukey, pode-se perceber que a parcela Araucaria foi a única a apresentar diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade ($0.01 \leq p < 0.05$), obtendo um valor de $p=0.47146$.

A parcela Araucária apresentou os dados com distribuição leptocúrtica (curtose > 0) enquanto que Fogo e Imbuia mostram-se platicúrticas (curtose < 0). Já para a assimetria, as parcelas Araucária e Imbuia mostram-se tendendo para a esquerda (valores de assimetria positivos) e somente a parcela Fogo apresenta-se tendendo a direita (valor de assimetria negativo), ressaltando-se, porém, que as parcelas Fogo e Imbuia têm baixíssimas assimetrias, ou seja, tendem a uma distribuição normal, enquanto que a Araucária apresenta maior disformidade em relação a uma distribuição normal.

Semivariograma

Depois de explorados estatisticamente, os dados foram submetidos à aplicação do semivariograma, de forma a analisar a dependência espacial dos teores de carbono, bem como obter os parâmetros do semivariograma juntamente com o índice de dependência espacial, por modelo testado e por parcela estudada (Tabela 2).

TABELA 2. Parâmetros de ajuste do semivariograma para os diferentes modelos testados.

Parcela	C0*	C0+C1**	a*** (a)	IDE (%)	Modelo de ajuste
Araucária	0,3212	0,37	0,99	Fraca (86%)	Esférico
	Puro	-	-	Nula	Exponencial
	Puro	-	-	Nula	Gaussiano
Imbuia	0,3724	1,3	1,12	Moderada (29%)	Esférico
	0,1683	1,1	0,98	Forte (15%)	Exponencial
	0,5334	1,3	1,05	Moderada (41%)	Gaussiano
Fogo	0,1687	2,4	5,53	Forte (7%)	Esférico
	0,1439	2,2	4,95	Forte (7%)	Exponencial
	0,1815	2,2	5,93	Forte (8%)	Gaussiano

*C0 = efeito pepita; **C0+C1 = patamar; ***a = alcance, IDE% = índice de dependência espacial.

No que se refere à presença ou ausência de dependência espacial, a parcela Fogo foi a que se apresentou de forma mais satisfatória, obtendo um índice de dependência espacial (IDE) considerado forte para os três modelos testados. A parcela Imbuia também de forma semelhante, obteve IDE moderado para os modelos Esférico e Gaussiano, e forte para o Exponencial.

Contudo, na parcela Araucária os modelos Exponencial e Gaussiano apresentaram ausência de dependência espacial (IDE nulo), também chamado como efeito pepita puro, que caracteriza a aleatoriedade espacial dos dados. Ainda na parcela Araucária, o modelo Esférico não obteve efeito pepita puro, contudo, seu índice de dependência espacial foi considerado como fraco fato que também pode caracterizar a aleatoriedade espacial dos dados.

MACIEL (2012) em estudo sobre dependência espacial do teor de carbono no solo em um fragmento florestal com predominância de *Anadenanthera* sp., observou a ocorrência de efeito pepita zero na profundidade 0-20 cm, semelhante ao ocorrido com a parcela Araucária no presente estudo. Em contrapartida, ao considerar a profundidade 20-40cm, foi observada dependência espacial forte (0,063%) no estudo deste autor.

A aplicação da krigagem ordinária, utilizada como interpolador para prever dados não amostrados, ocorre após a verificação da dependência espacial dos dados. Neste caso, esta técnica foi realizada somente nas parcelas Fogo e Imbuia, as quais apresentaram IDE moderada à forte. Deste modo, após a utilização da krigagem, foram obtidos parâmetros de ajustes que contribuem para a escolha do modelo que melhor se ajustou ao conjunto de dados, descritos na Tabela 3.

TABELA 3. Estatísticas dos ajustes para os modelos Gaussiano, Exponencial e Esférico para os teores de carbono no solo.

Estatísticas	Parcela Imbuia				Parcela Fogo			
	RMS	MS	REMQ	ASE	RMS	MS	REMQ	ASE
Gaussiano	0,875	-0,024	1,051	0,818	0,450	0,013	0,959	0,472
Exponencial	0,863	-0,021	1,062	0,802	0,449	0,014	0,953	0,474
Esférico	0,875	-0,024	1,051	0,818	0,450	0,013	0,959	0,472

RMS = Raiz Quadrada Média; MS = Média Padronizada; REMQ = Raiz Quadrada Média Padronizada; ASE= Erro padrão médio.

Dentre os parâmetros existentes que podem subsidiar a escolha do melhor modelo para ajustar o semivariograma, pode-se citar a análise do efeito pepita, do índice de dependência espacial e dos parâmetros de ajuste fornecidos pelo software utilizado.

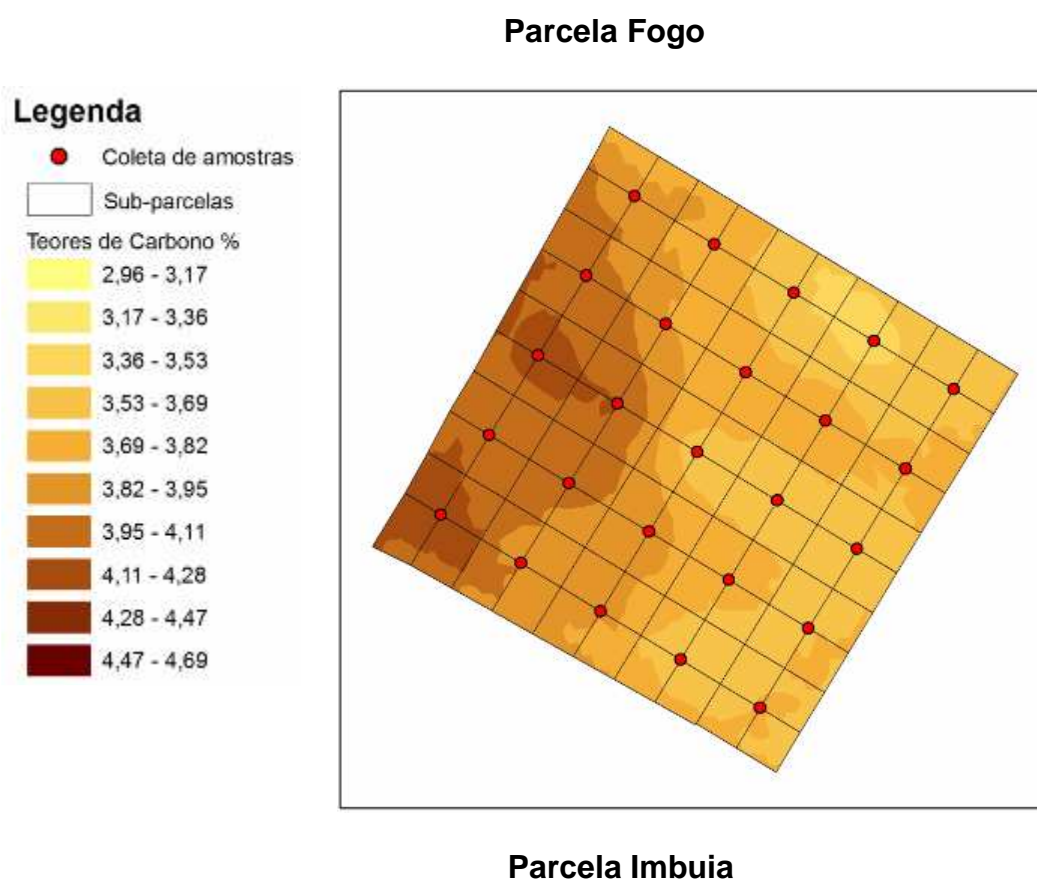
Quanto aos parâmetros de ajuste, as duas parcelas obtiveram valores semelhantes em suas estatísticas. No entanto, a Parcela Fogo apresentou os valores para Raiz Quadrada Média (RMS) mais próximos de 0, e o Erro Padrão Médio (ASE) mais próximo possível do valor de RMS, considerado o ideal. Em análise por modelo, pode-se observar que o Exponencial obteve os melhores ajustes, levando em conta os mesmos parâmetros analisados anteriormente, por parcela.

Pode-se ressaltar também um aspecto importante no ajuste que é a Raiz Quadrada Média Padronizada, a qual exprime valores relacionados à condição da estimativa, ou seja, valores abaixo de 1 significam que houve subestimativa dos

dados, e valores acima de 1 indicam superestimativa. Neste aspecto, a parcela Fogo também obteve os melhores valores, sendo nos três modelos testados próximos de 1, ao contrário da parcela Imbuia que apresentou valores acima de 1, indicando superestimativa.

Levando em conta a análise realizada, o modelo que melhor se ajustou aos dados nas parcelas Imbuia e Fogo foi o Exponencial, pelo fato de apresentar dependência espacial forte e parâmetros de ajuste aceitáveis. NOVAES FILHO et al. (2007) também em estudo da distribuição espacial de carbono em solo sob floresta primária na Amazônia meridional, encontraram que o modelo de semivariograma que melhor se ajustou ao estoque de carbono ($t.ha^{-1}$) na profundidade de 0-0,60m foi o exponencial, com dependência espacial moderada.

Por fim, foi possível gerar um mapa final com a aplicação da krigagem ordinária para os dados estudados, nas parcelas Fogo e Imbuia, as quais apresentaram dependência espacial satisfatória para a realização da técnica geoestatística, conforme a Figura 3.



Legenda

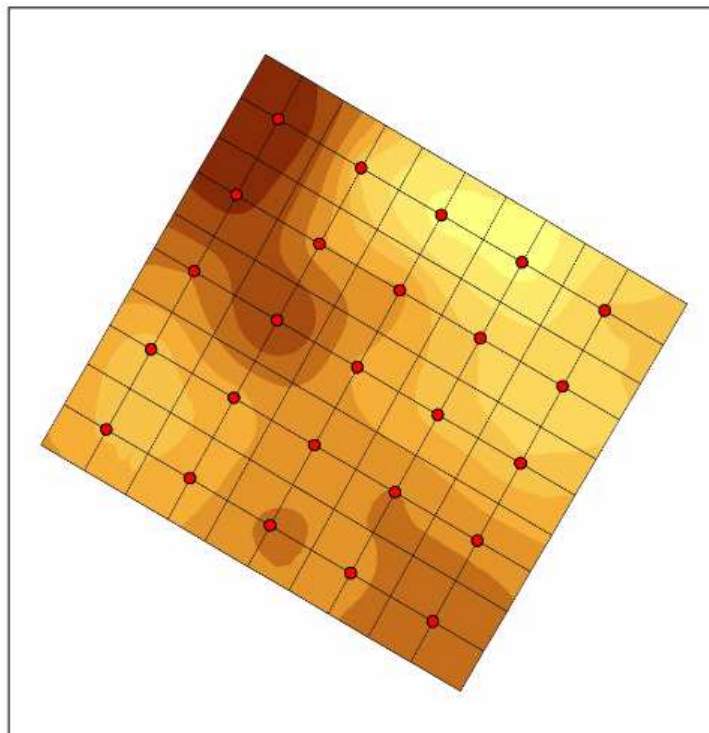
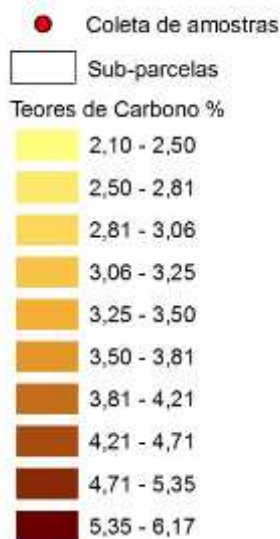


FIGURA 3. Mapas de inferência para teores de carbono no solo.

Fonte: Os autores.

CONCLUSÕES

O fragmento de Floresta Ombrófila Mista estudado possui uma média dos teores de carbono no solo em 0-20cm de profundidade 4,66, 3,81 e 3,56% respectivamente para as parcelas Araucária, Fogo e Imbuia.

Quanto ao ajuste do semivariograma para os dados, a parcela Araucária apresentou efeito pepita zero para os modelos exponencial e gaussiano, e dependência espacial fraca para o modelo esférico. Já as parcelas Fogo e Imbuia apresentaram dependência espacial moderada à forte entre os modelos testados, ressaltando o modelo exponencial, o qual obteve o melhor ajuste para estas parcelas.

Através deste estudo, pode-se observar que a técnica da geoestatística utilizada na base de dados amostrados proporcionou resultados satisfatórios quando a análise da dependência espacial dos teores de carbono no solo, representando o fenômeno de forma a perceber suas particularidades em cada parcela de estudo.

REFERÊNCIAS

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. dos S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 32, n.4, p. 1471-1478, 2008.

BOGNOLA, I. A.; LINGNAU, C.; LAVORANTI, O. J.; STOLLE, L.; HIGA, A. R.; DE OLIVEIRA, E. B. Desempenho da co-krigagem integrada com estatística multivariada

e geoprocessamento, na definição de unidades de manejo florestal. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, p. 3591-3596.

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Degradação de pastagens, matéria orgânica do solo e a recuperação do potencial produtivo em sistemas de baixo "input" tecnológico na região dos cerrados. **Seropédica: Embrapa Agrobiologia**, 2004. 8p.

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 American Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, 2009.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: 306p. 2006.

FLIZIKOWSKI, L. C.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, M. N. I.; MACEDO, J. H. P. Proposta de modelo de compensação de emissões de GEE's utilizando plantios florestais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 2189-220, 2013.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. A. Estoques de Carbono no Solo e na Biomassa em Plantações de Eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1069-1080, 2010.

GOMES, N. M.; SILVA, A. M. da; MELLO, C. R. de; FARIA, M. A. de; OLIVEIRA, P. M. de. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 435-443, 2007.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>. Acesso em: 11/03/2012.

IPCC. **Mudança do clima 2007**: quarto relatório de avaliação do IPCC. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/3881.html>>. Acesso em: 2 de maio de 2007.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MACIEL, S. M. 2012. **Análise espacial do carbono em um fragmento florestal com predominância de *Anadenanthera sp.*** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras. Lavras. 134p.

MORAIS, V. A.; SILVA, C. A.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de; ARAÚJO, E. J. G. de; ASSIS, E. A. Modelagem do teor de carbono orgânico em solos de fragmentos de cerrado de Januária e Bonito de Minas, Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 76, p. 343-354, 2013.

NOVAES FILHO J. P.; SELVA C. E.; COUTO G. E.; LEHMANN J.; JOHNSON S. M.; RIHA J. S. Distribuição espacial de carbono em solo sob floresta primária na Amazônia meridional. **Rev. Árvore. Viçosa**, v.31, n.1, 2007.

OLSZEWSKI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; COSTA, L. M.; FILHO, E. I. F.; Estimativa do estoque de carbono em unidades geoambientais da bacia hidrográfica do Rio Preto. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, Campina Grande, v. 7, n. 02, p. 1-10, 2007.

PIZATTO, W. 1999. **Avaliação biométrica da estrutura e da dinâmica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo – PR: 1995 a 1998**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 172p.

RATUCHNE L. C. **Ajuste e seleção de equações alométricas para a estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista**. 98f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná, Guarapuava, 2010.

REES, R. M.; BINGHAM, I. J.; BADDELEY, J. A.; WATSON, C. A. The role of plants and land management in sequestering soil carbon in temperate arable and grassland ecosystems. **Geoderma**, Amsterdam, p. 130-154, 2005.

ROSA FILHO, G.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R.; BINOTTI, F. F. S.; GIOIA, M. T. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 283-293, 2009.

SALVIANO, A. A. C. **Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. Piracicaba, 1996. 91p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

SANCHEZ, R. A. G. **Variabilidade espacial do carbono e outros atributos do solo em uma área destinada ao reflorestamento no Rio Grande do Norte**. Dissertação de mestrado em Ciências. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; BALBINOT, R.; LEAL, M. C. B. S.; ZILLOTTO, M. A. B. Proposta metodológica para quantificação e monitoramento do carbono estocado em florestas plantadas. In: Sanquetta CR, Ziliotto MA, Corte APD, editor. **Carbono: Desenvolvimento Tecnológico, Aplicação e Mercado Global**. Curitiba; 2006.

VALE, W. G. do; GARCIA, R. F.; THIEBAUT, J. T. L.; GRAVINA, G. do A. Caracterização estatística de variáveis usadas para ensaiar uma semeadora-adubadora em semeadura direta e convencional. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 559-567, 2009.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. p. 1-54.

WOJCIECHOWSKI J. C.; SCHUMACHER V. M.; PIRES F. A.C.; MADRUGA A. R. P.; KILCA V. R.; BRUN J. E.; SILVA S. R. C.; VACCARO S.; NETO R. M. R. Geoestatística aplicada ao estudo das características físico-químicas do solo em áreas de floresta estacional decidual. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 383-391, 2009.