

GEOESTATÍSTICA APLICADA NAS FRAÇÕES GRANULOMÉTRICAS DA MATÉRIA ORGÂNICA EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL NO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA, RJ

Camila Santos da Silva¹, Shirlei Almeida Assunção², Marcos Gervasio Pereira³, Rafael Coll Delgado⁴

¹Engenheira Florestal, Mestranda em Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, milasdas@gmail.com; ²Engenheira Agrônoma, Doutoranda em Agronomia-Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, shirleiaassuncao@gmail.com; ³Engenheiro Agrônomo, Professor Titular do Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, gervasio@ufrj.br; ⁴Meteorologista, Professor Adjunto do Departamento de Ciências Ambientais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro, rafaelcolldelgado32@gmail.com.

APRESENTADO NO IV CBRA – CONGRESSO BRASILEIRO DE REFLORESTAMENTO AMBIENTAL – 19 A 21 DE OUTUBRO DE 2016, RIO DE JANEIRO/RJ.

Resumo: O objetivo do presente estudo foi aplicar a técnica de geoestatística nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo em um sistema agroflorestal, no município de Seropédica, Rio de Janeiro. Foram coletadas 31 amostras de terra, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, sendo cada ponto de coleta georreferenciado. Foram determinados carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam). O software ArcGIS 10.2 foi utilizado para fazer a análise do semivariograma e o ajuste dos modelos, e posteriormente, foi empregado a interpolação espacial através da Krigagem Ordinária de primeira ordem de três modelos espaciais, esférico, exponencial e gaussiano. O modelo exponencial foi ajustado para os atributos COT e COp, e para COam o modelo gaussiano foi ajustado. O grau de dependência espacial foi classificado como fraco para o COT e moderado para o COp e COam, com valores de 80,38%, 40,10% e 71,30%, respectivamente. Os mapas de distribuição das variáveis foram gerados, no qual o COT é composto em maior quantidade pela fração COam devido a esse componente possuir interação com a fração mineral do solo, formando compostos organominerais. A geoestatística pode ser aplicada para espacializar as frações físicas da matéria orgânica do solo no SAF estudado, podendo auxiliar futuramente na verificação da qualidade do manejo da área.

Palavras-chave: Análise espacial, estatística descritiva, geotecnologia, frações físicas da matéria orgânica, manejo do solo.

Introdução

A Floresta Atlântica foi marcada com o desmatamento devido as atividades agropecuárias, como a cultura do café, a pecuária leiteira e de corte, acelerando a degradação dos solos (MATEUS et al., 2013). Nos dias atuais, existem técnicas que podem reverter ou diminuir os aspectos negativos dessas atividades, havendo uma conexão entre a produção de alimentos com a conservação dos recursos naturais, da biodiversidade e proteção do solo (FROUFE; SEOANE, 2011).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) vêm sendo utilizados pois unem uma produção sustentável (LIMA et al., 2011) com a conservação e proteção do solo, recuperando áreas degradadas, protegendo as bacias hidrográficas, ampliando o sequestro de carbono, melhorando o clima e aumentando a biodiversidade (MÉIER et al., 2011). Através dos diversos estratos vegetais que os SAFs multiestratificados possuem, pode ocorrer algumas dificuldades no manejo (DONATO; LIMA, 2013), em que a quantificação dos atributos do solo pode auxiliar no manejo da área (LIMA et al., 2011).

A análise da distribuição espacial dos atributos do solo é uma técnica onerosa, visto que se a heterogeneidade do local for grande, será necessária a obtenção de muitos dados, demandando tempo e mão de obra (SILVA et al., 2010). Porém, existem estudos recentes que trabalham com a variabilidade espacial do solo, obtendo-se resultados satisfatórios (SOARES et al., 2015), como o de Campos et al. (2013) que verificaram a disposição espacial dos atributos físicos do solo em um sistema agroflorestal, na região de Humaitá, Amazonas.

A geoestatística vem sendo utilizada em pesquisas para caracterizar e analisar a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo (BOTTEGA et al., 2013), proporcionando também a criação de mapas a partir da krigagem (DALCHIAVON et al., 2012).

As informações sobre a variabilidade espacial do fracionamento granulométrico do solo em sistemas agroflorestais são pouco difundidas e escassas, sendo primordial pesquisas que demonstram a sustentabilidade desses sistemas através da qualidade do solo. Segundo Rossi et al. (2012) a fração particulada da matéria orgânica do solo permite avaliar a qualidade do solo, especialmente em curto período de tempo. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi aplicar a geoestatística nas frações granulométricas da matéria orgânica do solo como indicador da qualidade do sítio em um sistema agroflorestal, no município de Seropédica, Rio de Janeiro.

Material e Métodos

O estudo foi realizado no Sistema Integrado de Produção Agroecológico (SIPA), conhecido como “Fazendinha Agroecológica km 47”, nos limites da Embrapa Agrobiologia, no município de Seropédica, Rio de Janeiro. O clima da

região, segundo Köppen, é do tipo Aw, com verões úmidos e invernos secos, com chuva média anual de 1.250 mm, com temperaturas médias mensais variando de 16°C (junho a julho) a 32°C (janeiro a março) e com umidade relativa média anual de 73%.

A área possui relevo predominantemente suave (< 5% de declividade) e o solo é classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO (SANTOS et al., 2013).

Antes do SAF ser implantado, a área era composta predominantemente por monocultivo de *Musa sapientum* L. e *Carica papaya* L. Em meados de 2000 iniciou-se a implantação, com o plantio de açaí, cupuaçu, citrus, grumixama, guapuruvu e junto foi cultivado couve e posteriormente amendoim forrageiro. Depois de alguns anos foram plantadas algumas espécies, como palmeira, jaca, carrapeta, tucandeiro e gliricídia. Nos dois primeiros anos do SAF foram realizadas podas, plantios de enriquecimento, roçadas, adubação com esterco, colheitas e capinas. De 2002 a 2008 ocorreram manejos pontuais, principalmente o plantio de novas espécies. Após esses oito anos não houve relato de manejo na área.

Foram alocados na área 31 pontos amostrais, distribuídos sistematicamente, com intensidade amostral de um ponto a cada 100 m². Em cada ponto foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, com o auxílio de um trado de sonda. Todos os pontos de coleta foram georreferenciados com GPS geodésico modelo Promark II, com precisão estática horizontal de até 5 mm. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de malha, obtendo-se terra fina seca ao ar, na qual foi realizada a determinação do carbono orgânico total (COT) (EMBRAPA, 1997), carbono orgânico particulado (COp) (CAMBARDELLA; ELLIOT, 1992) e o carbono orgânico associado aos minerais (COam), esse obtido a partir da diferença entre COT e o COp.

Os dados obtidos das análises foram tabulados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel 2013, sendo calculadas as médias ponderadas em função da espessura da camada coletada para cada parcela. Em seguida, associou-se as coordenadas geográficas para cada amostra, possibilitando a espacialização dos dados.

Para a espacialização e elaboração dos mapas de distribuição das variáveis foi utilizado o software ArcGIS 10.2, sendo empregado o método de interpolação espacial por Krigagem Ordinária de primeira ordem.

Foram ajustados três modelos espaciais teóricos transitivos (exponencial, esférico e gaussiano) com objetivo de verificar qual o modelo que melhor representa a distribuição das variáveis estudadas de acordo com as equações e os três modelos físicos apresentados por Gois et al. (2015).

Para a análise dos modelos foi ajustado o semivariograma, em que foi utilizado o Grau de Dependência Espacial (GDE %) para a escolha do melhor modelo.

O GDE utilizado neste estudo foi fundamentado pelo método proposto por Cambardella et al. (1994), em que valores ≤ 25% os dados possuem forte dependência espacial, GDE entre 25% e 75% mostram moderada dependência espacial, GDE ≥ 75% possuem fraca dependência espacial e GDE igual a 100% a variável é espacialmente independente, ou seja, apresenta semivariograma com efeito pepita puro (EPP). O GDE é calculado pela equação 1:

$$GDE = \frac{C_0}{C_0 + C} \times 100 \quad [1]$$

em que, GDE é o grau de dependência espacial; C₀ é o efeito pepita e C₀ + C é o patamar.

A análise estatística foi aplicada no SAF com a finalidade de avaliar o desempenho dos modelos teóricos transitivos, baseados nos seguintes parâmetros existentes na literatura: raiz quadrada do erro médio (RMSE), índice de concordância (d), erro padrão da estimativa (EPE), coeficiente de correlação de Pearson (r) e coeficiente de determinação (r²).

Resultados e Discussão

Os modelos ajustados para as variáveis foram o exponencial e gaussiano (Tabela 1). As variáveis COp e COam apresentaram GDE moderado e o COT expressou GDE fraco.

Tabela 1: Parâmetros do semivariograma para as variáveis do solo

Variável	Modelo	C ₀ ⁽¹⁾	C ₀ + C ⁽²⁾	GDE ⁽³⁾ (%)	Classe
COT (g kg ⁻¹)	Exp ⁽⁴⁾	9,25	11,50	80,38	Fraca
COp (g kg ⁻¹)	Exp	0,31	0,77	40,10	Moderada
COam (g kg ⁻¹)	Gau ⁽⁵⁾	7,58	10,63	71,30	Moderada

⁽¹⁾ Efeito pepita; ⁽²⁾ Patamar; ⁽³⁾ Grau de dependência espacial; ⁽⁴⁾ Exponencial; ⁽⁵⁾ Gaussiano.

Em um estudo realizado no município de Gilbués, em um NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico, Corado Neto et al. (2015) ajustaram o modelo esférico para COT nas profundidades de 5-10 cm e 10-20 cm, com GDE de 83,85% e 34,53%, respectivamente, enquanto para a profundidade de 0-5 cm nenhum modelo foi ajustado devido ao efeito pepita puro (EPP). Cruz et al. (2010) ajustaram o modelo gaussiano para o carbono orgânico total com GDE de 68%, em um estudo realizado no Ceará, em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO. Devido a estes resultados, é possível observar que a mesma variável estudada pode apresentar diferentes modelos ajustados, quando comparados em locais e em sistemas diferentes.

De acordo com a análise estatística do fracionamento físico do solo (Tabela 2), o índice de concordância (d) foi maior para o COp (0,65), seguido, respectivamente, pelo COT (0,50) e COam (0,47).

Tabela 2: Análise estatística do carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam), no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47

Variável	d ⁽¹⁾	r ⁽²⁾	r ² ⁽³⁾	EPE (g kg ⁻¹) ⁽⁴⁾	RMSE (g kg ⁻¹) ⁽⁵⁾
COT	0,50	0,25	0,06	0,99	0,96
COp	0,65	0,53	0,28	0,34	0,92
COam	0,47	0,23	0,05	0,78	0,96

⁽¹⁾ Índice de concordância; ⁽²⁾ coeficiente de correlação de Pearson; ⁽³⁾ coeficiente de determinação; ⁽⁴⁾ erro padrão da estimativa; ⁽⁵⁾ raiz quadrada do erro médio.

A variável COp apresentou também maior coeficiente de correlação e de determinação, indicado que os valores estimados estão próximos dos observados. O EPE e RMSE para essa variável foi menor quando comparado com as outras variáveis, indicando um menor erro entre os dados preditos e reais e a qualidade do ajuste do modelo.

Com base nos parâmetros estatísticos, foram gerados os mapas da distribuição espacial do COT, COp e COam (Figura 1). Os maiores valores de COp (Figura 1B) em algumas áreas do SAF pode ser devido ao maior aporte de resíduos dos vegetais e hifas cuja duração no solo está condicionada pela proteção física dos agregados (GOLCHIN et al., 1994) e pelo maior teor de COT na superfície, como encontrado por Gazolla et al. (2015), o qual avaliando o COT e as frações químicas e granulométricas da matéria orgânica do solo em um LATOSSOLO VERMELHO sob diferentes sistemas no sudoeste de Goiás, encontraram resultados similares aos verificados nesse estudo.

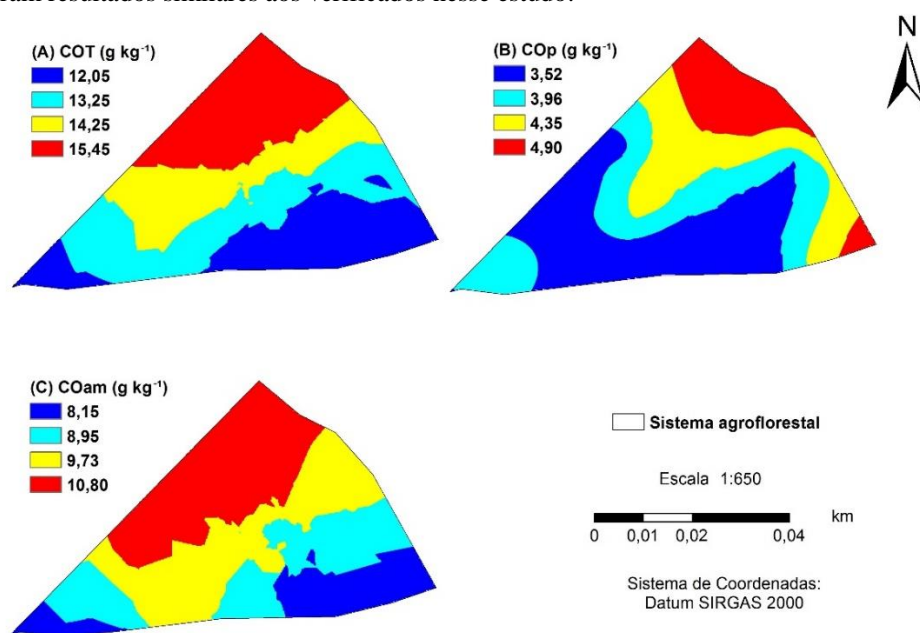


Figura 1: Mapas da distribuição espacial do carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COp) e carbono orgânico associado aos minerais (COam) no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica do km 47.

O estoque de COT (Figura 1A) no solo é constituído predominantemente pela fração COam (Figura 1C) em comparação com a fração COp. Bayer et al. (2004) encontraram em seu estudo que os estoques de COT foram compostos por mais de 80% pela fração COam. Segundo os mesmos autores, isso ocorre pois essa fração possui baixa sensibilidade ao manejo em curtos períodos em função de sua ciclagem ser mais lenta, além disso, Christensen (1996) ressalta que o COam possui interação com a fração mineral do solo e formando compostos organominerais, em um processo de estabilização química. Portanto, o COam, ocasionalmente, não é um bom indicador da eficiência do manejo nos atributos do solo, pois alterações no seu armazenamento na matéria orgânica levam tempo para serem identificados (CARMO et al., 2012).

É desejável que o solo tenha uma quantidade apropriada de COp, pois este assegura o fluxo do carbono e a continuidade da atividade dos microrganismos, porém é necessário também que este possua teores suficientes de COam para que não ocorra diminuição do estoque de carbono resultando em perda e degradação do solo (CARMO et al., 2012).

Conclusão

Com a geoestatística foi possível espacializar as frações granulométricas da matéria orgânica no sistema agroflorestal, podendo auxiliar futuramente na verificação da qualidade do manejo que está sendo realizado na área.

Necessitam-se mais estudos que espacializem as frações físicas da matéria orgânica em sistemas agroflorestais como ferramenta para o auxílio no manejo das áreas.

Referências Bibliográficas

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis na matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M.; PINTO, F. A. C.; SOUZA, C. M. A. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, Ceará, v. 44, n. 1, p.1-9, 2013.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of American Journal**, Netherlands, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992.

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 soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; OLIVEIRA, I. A.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E. Spatial variability of physical attributes in Alfissol under agroforestry, Humaitá region, Amazonas state, Brazil. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 56, n. 2, p. 149-159, 2013.

CARMO, F. F.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Biosci. J**, Uberlândia, v.28, n.3, p.420-431, 2012.

CHRISTENSEN, B. T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. IN: CARTER, M. R.; STEWART, B. A. (Eds.). **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Lewis, 1996, p. 97-165.

CRUZ, J. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MATIAS, S. S. R.; CAMACHO-TAMAYO, J. H.; TAVARES, R. C. Análise espacial de atributos físicos e carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.2, p.271-278, 2010.

DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob Sistema de Plantio Direto. **Revista Ciência Agrônômica**, Ceará, v. 43, n. 3, p. 453-461, 2012.

DONATO, L.; LIMA, M. G. Distribuição geográfica do sistema agroflorestal na região do Vale do Ribeira. **Geografia**, Londrina, v. 22, n. 3, p. 47-64, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.

FROUFE, L. C. M.; SEOANE, C. E. S. Levantamento fitossociológico comparativo entre sistema agroflorestal multiestrato e capoeiras como ferramenta para a execução da reserva legal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67 p. 203-225, 2011.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Ciências Agrárias**, Londrina, v.36, n.2, p.693-704, 2015.

GOIS, G.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F. Modelos teóricos transitivos aplicados na interpolação espacial do índice de precipitação padronizada (SPI) para episódios de El Niño forte no estado do Tocantins. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 371-387, 2015.

GOLCHIN, A. et al. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.32, p.1043-1068, 1994.

LIMA, S. S.; LEITE, L. F. C.; OLIVEIRA, F. C.; COSTA, D. B. Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 51-60, 2011.

MATEUS, F. A.; MIRANDA, C. C.; VALCARCEL, R.; FIGUEIREDO, P. H. A. Estoque e capacidade de retenção hídrica da serapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na Mata Atlântica. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 3, 2013.

MÉIER, M.; TEIXEIRA, H. M.; FERREIRA, M. G.; FERRARI, E. A.; LOPES, S. I.; LOPES, R.; CARDOSO, I. M. Sistemas agroflorestais em área de preservação permanente. **Revista Agriculturas: experiências em agroecologia**, v. 8, n. 2, p. 12-17, 2011.

CORADO NETO, F. C.; SAMPAIO, F. M. T.; VELOSO, M. E. C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v.58, n.1, p.75-83, 2015.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 38-46, 2012.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa, 2013. 353p.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, A. F. Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.41, n.1, p.1-8, 2010.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; SOUZA, Z. M.; BRITO, W. B. M.; FRANCISCON, U.; CASTIONI, G. A. F. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem em Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v.58, n.4, p.434-441, 2015.