



Comparação de modelos espaciais na distribuição da densidade de raízes finas em um sistema agroflorestal⁽¹⁾.

Camila Santos da Silva⁽²⁾; Carlos Magno Moreira de Oliveira⁽³⁾; Eduardo Vinicius da Silva⁽⁴⁾; Rafael Coll Delgado⁽⁵⁾; Marcos Gervásio Pereira⁽⁶⁾; Emanuel José Gomes de Araújo⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq, processo Nº 110204/2014-0 através do Núcleo Interdisciplinar em Agroecologia da UFRRJ (NIA-UFRRJ).

⁽²⁾ Graduanda do Curso de Engenharia Florestal e bolsista de Iniciação ao Extensionismo (IEX) pelo CNPq, Projeto Ambientes de Interação Agroecológica; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); Seropédica, Rio de Janeiro; milasdas@gmail.com; ⁽³⁾ Mestrando em Ciências Ambientais e Florestais; UFRRJ; ⁽⁴⁾ Professor Adjunto I; UFRRJ, Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura; ⁽⁵⁾ Professor Adjunto II; UFRRJ, Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais; ⁽⁶⁾ Professor Associado IV; UFRRJ, Instituto de Agronomia, Departamento de Solos; ⁽⁷⁾ Professor Assistente I; UFRRJ, Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura.

RESUMO: Os sistemas agroflorestais (SAF) possuem diferentes espécies, assim é importante entender a distribuição espacial das raízes finas nestes sistemas, pois são elas que absorvem água e nutrientes nas primeiras camadas do solo. Este estudo objetivou comparar modelos espaciais na distribuição da densidade de raízes finas em um SAF, na Fazendinha Agroecológica, em Seropédica, Rio de Janeiro. Foram coletadas 31 amostras de solo, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, sendo cada ponto de coleta georreferenciado. Raízes de até 2 mm de diâmetro foram selecionadas, secas na estufa e pesadas para determinação da densidade. O software ArcGIS 10.2 foi utilizado para fazer a análise variográfica e ajuste dos modelos de semivariância e, posteriormente, empregar a interpolação espacial através da Krigagem Ordinária de primeira ordem para analisar a distribuição espacial das raízes finas. Foram utilizados três modelos teóricos transitivos, sendo eles, exponencial, esférico e gaussiano. O melhor modelo foi selecionado a partir de suas estatísticas de precisão. De acordo com os resultados, o modelo exponencial foi o que apresentou melhor desempenho. O mapa do modelo exponencial, gerado através da Krigagem Ordinária, apresentou uma distribuição com pontos isolados, tal fato pode ter ocorrido devido aos SAFs apresentarem diversas espécies vegetais, assim ocorrendo diferentes densidades de raízes finas. O modelo exponencial pode ser empregado neste SAF para avaliar a distribuição espacial da densidade de raízes finas na área.

Termos de indexação: geoestatística, modelagem e interpolação.

INTRODUÇÃO

O uso de árvores na agricultura auxilia na diminuição da erosão e da perda de água, promovendo a ciclagem de nutrientes e a conservação da matéria orgânica, aumentando parte das raízes (Franco, 2000), em que as mesmas ajudam na infiltração da água, na retenção (Martins et al., 2000) e na textura do solo.

Os Sistemas Agroflorestais (SAF) são práticas culturais usadas pela agricultura, em que há o consórcio de espécies arbóreas, agrícolas e/ou animais, em uma mesma área. Estão havendo muitos estudos referentes à estes sistemas no Brasil, por apresentarem resultados satisfatórios ao agricultor, pelas práticas conservacionistas do solo, da água e para entender a interação que acontece entre as culturas e as árvores (Salgado et al., 2006).

Atualmente, é possível avaliar a variabilidade espacial da fertilidade do solo em locais com poucos hectares (Zanão Júnior et al., 2010), utilizando ferramentas como a geoestatística e a krigagem para mapeamentos, otimizando tempo e mão de obra.

O objetivo deste trabalho foi comparar três modelos espaciais, esférico, exponencial e gaussiano, na distribuição da densidade de raízes finas em um sistema agroflorestal, na Fazendinha Agroecológica, em 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 precipitação 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 Háptico.

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 açai, 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 gliricidia.

Tratamentos e amostragens

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 levadas para o Laboratório de Pesquisas e Estudos em Reflorestamento (LAPER), na UFRRJ, onde foram secas ao ar, destorroadas e com o auxílio de um paquímetro digital foram separadas as raízes finas com no máximo 2 mm e secas na estufa por três dias à 65°C. Logo depois as amostras foram pesadas e foi determinada a densidade de raízes finas, dividindo-se a massa seca pelo volume da sonda.

Análise geoestatística

Inicialmente, os dados coletados foram tabulados em planilhas eletrônicas do Microsoft Excel e associados com as coordenadas geográficas para espacialização das amostras, onde em cada ponto coletado foi feita uma média da densidade das raízes.

Foi utilizado o programa ArcGIS 10.2, onde foi empregado o método de interpolação espacial por Krigagem Ordinária de primeira ordem para analisar a distribuição espacial das raízes finas no Sistema Agroflorestal.

Foram avaliados os modelos teóricos transitivos (exponencial, esférico e gaussiano) na área, com objetivo de verificar qual o modelo possui melhor distribuição no SAF.

O modelo exponencial atinge o patamar assintoticamente e é dado por:

$$\text{Exp}(|h|) = \begin{cases} 0 & , |h|=0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right) & , |h| \neq 0 \end{cases}, \text{ em que, } a \text{ é o alcance}$$

prático e h é a distância em que o valor do modelo é 95% do patamar (Isaaks & Srivastava, 1989).

O modelo esférico é o mais usado, a sua equação é dada por:

$$S_{ph}(|h|) = \begin{cases} 0 & , |h|=0 \\ 1,5\left(\frac{|h|}{a}\right) - 0,5\left(\frac{|h|}{a}\right)^3 & , 0 < |h| \leq a \\ 1 & , |h| > a \end{cases}$$

O modelo gaussiano é usado para formar acontecimentos constantes, sua equação é dada por:

$$\text{Gau}(|h|) = \begin{cases} 0 & , |h|=0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{|h|^2}{a}\right) & , |h| \neq 0 \end{cases}, \text{ sendo um modelo}$$

semelhante ao exponencial.

Foi aplicada a estatística descritiva com a finalidade de analisar qual o desempenho dos modelos matemáticos teóricos, usando o Erro Padrão de Estimativa (EPE), os Coeficientes de Determinação e Correlação de Pearson (r^2 e r) e o índice de concordância de Willmott (d).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como pode ser observado na **tabela 1**, o modelo exponencial apresentou menor EPE, portanto, as densidades das raízes dos pontos coletados são próximas aos valores estimados por este modelo.

Os coeficientes de determinação (r^2) e correlação (r) foram maiores no modelo exponencial (47% e 68%), apontando que os valores observados estão próximos aos estimados.

De acordo com Lima et al. (2010) em um estudo da análise espacial de atributos químicos do solo, obtiveram que para as variáveis P, K e Al ajustou-se o modelo exponencial, expressando valores altos de r^2 , 0,92, 0,90 e 0,54, respectivamente.

O índice de concordância de Willmott (d) apresentou um valor próximo a um no modelo exponencial. O "d" varia de zero, quando não há concordância, a um, quando há uma concordância



completa, estando relacionado com a aproximação dos valores reais com os observados (Araujo et al., 2011).

Tabela 1 – Estatísticas descritivas para os modelos avaliados.

Parâmetros	Exponencial	Esférico	Gaussiano
EPE (g.cm ⁻³)	0,00040	0,00044	0,00090
r ²	0,47211	0,25554	0,19389
r	0,68711	0,50551	0,44033
d	0,81284	0,69048	0,54367

Dalchiavon et al. (2012), encontrou resultados semelhantes para fósforo, potássio, cálcio e magnésio, em uma profundidade de 0-10 cm, em um sistema de plantio direto sobre um Latossolo Vermelho Distroférico, em que o modelo matemático teórico ajustado foi o exponencial.

Na **figura 1** é apresentando o mapa de interpolação espacial pela Krigagem Ordinária, onde é possível analisar a distribuição espacial da densidade das raízes finas na área. Pode-se observar que as concentrações das raízes estão em pontos isolados, correspondendo uma área pequena em relação ao sistema.

Tal fato pode ter ocorrido pelo SAF apresentar diferentes tipos de espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas e por obter um relevo com declividade, assim ocorrendo diferentes densidades de raízes. Segundo Costa et al. (1999), a vastidão e a quantidade de raízes desenvolvidas em um local, dependerá de diversos fatores, como as características físicas e químicas do solo, a genética das espécies, a relação parte aérea e raiz, o manejo do solo e as espécies utilizadas.

Valcarcel et al. (2007) afirmam que o desenvolvimento das raízes tem relação com a serrapilheira e as primeiras camadas do solo, pois é nesta região que possui um maior desenvolvimento de raízes finas, absorvendo água, nutrientes liberados pela ciclagem e aumentando a quantidade de oxigênio.

Na região central do mapa, terço superior e médio da área, pode ser observado valores de 0,000264 g.cm⁻³ a 0,000543 g cm⁻³, indicando uma baixa densidade. Para Menezes (2005), é no topo dos morros, que regularmente os solos possuem maior desenvolvimento estrutural, melhor retenção de água e as raízes penetram facilmente, ocasionando um maior crescimento das plantas.

Na região leste é possível observar uma elevada densidade de raízes finas (0,00205 g.cm⁻³ a 0,00249 g.cm⁻³), este local está situado no topo do morro, apresentando um sítio plano. Abel (2012) encontrou resultados semelhantes em um estudo sobre a

influência da topografia e da fertilização sobre o crescimento de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* em um sistema silvipastoril, em que o topo do morro apresentou as maiores médias para as raízes, no terço superior valores intermediários e o terço médio, as menores médias. Tal fato também pode explicar a razão da região oeste do mapa apresentar baixas densidades de raízes finas, por estar localizado nas partes mais baixas da área.

CONCLUSÕES

O modelo exponencial é o de melhor desempenho e pode ser aplicado para retratar a continuidade espacial da densidade de raízes finas e espacializá-la no sistema agroflorestal da Fazendinha Agroecológica.

AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo Interdisciplinar em Agroecologia da UFRRJ (NIA-UFRRJ), ao CNPq, ao Laboratório de Sensoriamento Remoto Ambiental e Climatologia Aplicada na geração espacial e análise geoestatística dos resultados e a Embrapa Agrobiologia pelo apoio no desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

- ABEL, E. L. S. Influência da topografia e da fertilização sobre o crescimento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em sistema silvipastoril [dissertação]. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2012.
- ARAUJO, G. L.; REIS, E. F.; MARTINS, C. A. S. et al. Desempenho comparativo de métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀). Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. 2011; 5:84-95.
- COSTA, A.; ROSOLEM, C. A.; TORRES, H. Distribuição de raízes de leguminosas em função de alterações nas características químicas e físicas em solos do Paraná. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E ESTUDOS DE CASOS, Aracajú, 1999. Anais. Aracajú, 1999. p.191-202.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M. et al. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um Latossolo Vermelho Distroférico sob Sistema Plantio Direto. Revista Ciência Agronômica. 2012; 43:453-461.

FRANCO, F. S. Sistemas agroflorestais: uma contribuição para a conservação dos recursos naturais na zona da mata de Minas Gerais [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2000.

ISAACS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, 1989. 561p.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; ROCHA, W. et al. Análise espacial de atributos químicos do solo e da produção da cultura pimenta-do-reino (*Piper nigrum*, L.). IDESIA (Chile). 2010; 28:31-39.

MARTINS, E. G. et al. Deposição de serrapilheira e nutrientes em povoamentos de grevilea de diferentes origens no sudoeste do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 3., Manaus, 2000. Resumos. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.127-129.

MENEZES, A. A. Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2005.

SALGADO, B. G.; MACEDO, R. L. G.; ALVARENGA, M. I. N. et al. Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Lavras-MG. Revista Árvore. 2006; 30:343-349.

VALCARCEL, R.; VALENTE, F. D. W.; MOROKAWA, M. J. et al. Avaliação da Biomassa de raízes finas em área de empréstimo submetida a diferentes composições de espécies. Revista Árvore. 2007; 31:923-930.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, E. C. et al. Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em Latossolo sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2010; 34:389-400.

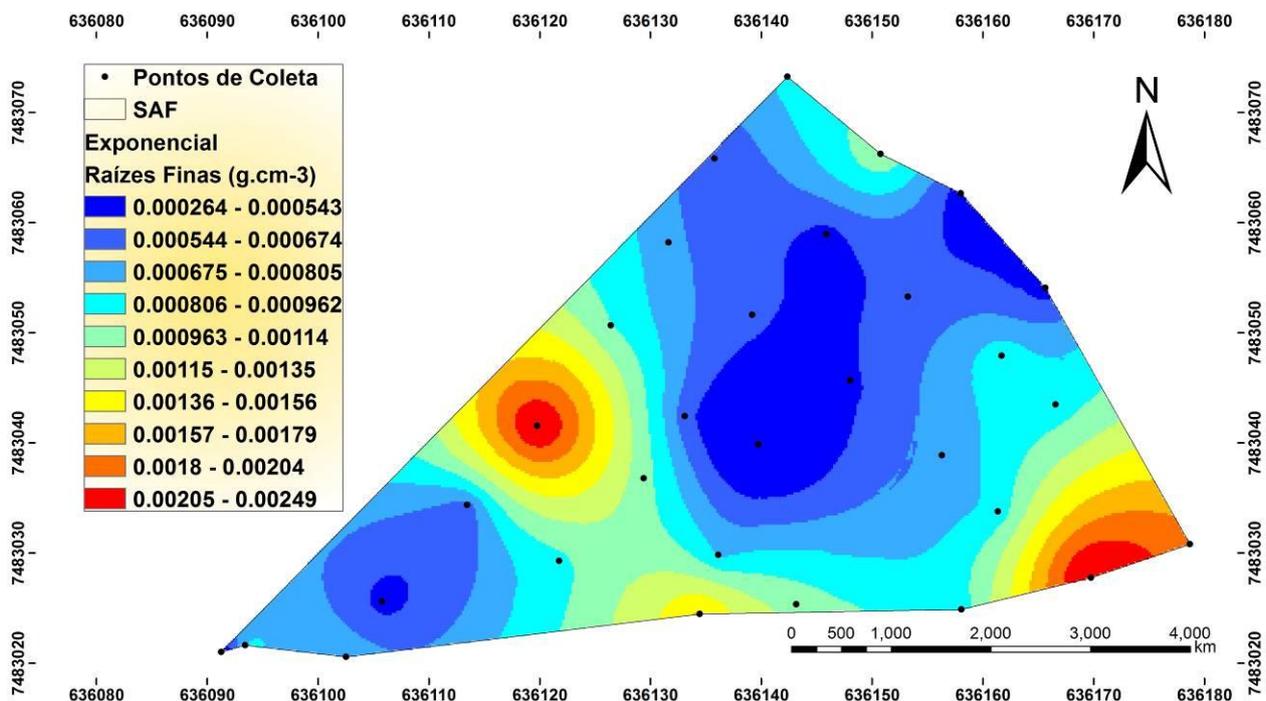


Figura 1 – Mapa da distribuição espacial de raízes finas por Krigagem Ordinária de primeira ordem, através do modelo exponencial, em um Sistema Agroflorestal, localizado na Fazendinha Agroecológica.