

Resumo

Poucos estudos têm sido conduzidos para verificar as relações existentes entre o crescimento das florestas e os atributos químicos dos solos, responsáveis pelo potencial produtivo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de propriedades dendrométricas sob povoamentos de *Pinus* e a relação destes com os atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo do Instituto Florestal de Batatais – SP. Para o mapeamento dos teores de Ca, Mg, P e K, as amostras de solos foram coletadas nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos regulares de 36 m, totalizando uma área de 16 hectares com espécies de *Pinus*, na profundidade de 0, 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, sendo coletadas 123 amostras em cada uma das duas profundidades, totalizando 246 amostras. Ao redor de cada ponto georreferenciado foram selecionadas nove árvores de *Pinus*, de maneira que cada ponto cadastrado fosse rodeado de forma uniforme, realizando-se as medidas de altura e diâmetro na altura do peito. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e geoestatística. De acordo com os estudos feitos e resultados obtidos, conclui-se que as árvores de *Pinus* apresentaram maior crescimento, com maiores valores de altura das árvores e do diâmetro na altura do peito, nas regiões em que os teores dos atributos químicos do solo foram maiores e nas região de menor declividade.

Palavras chave: Geoestatística; Propriedades dendrométricas; Dependência Espacial.

Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas de *pinus* do instituto florestal de batatais – SP

Juan Gabriel Cristhoffer Lopes Ruiz¹

Marcelo Zanata²

Teresa Cristina Tarlé Pissara²

Spatial variability of chemical attributes in areas of the *pinus* institute of batatais – sp

Abstract

Few studies have been conducted to verify the relationship between the growth of forests and chemical properties of the soil, responsible for production potential. The objective of this study was to evaluate the spatial variability of dendrometric properties under *Pinus* stands and their relation with the chemical attributes of an Oxisol of the Forest Institute of Batatais - SP. For the mapping of Ca, Mg, P and K, the soil samples were collected at the crossing points of a grid with regular intervals of 36 m, with a total area of 16 hectares with species of *Pinus*, in the 0, 0-0,20 m and 0,20-0,40 m, and 123 samples collected in each of the two depths, totaling 246 samples. Around each georeferenced point were selected nine trees of pine, so that each point registered were surrounded evenly by performing the measurements of height and diameter at breast height. Data were submitted to descriptive statistical and geostatistical analysis. According to the studies done and results obtained, it is concluded that the pine trees grew faster, with greater height values of trees and diameter at breast height, in areas where the levels of soil chemical properties were higher and the lower-slope region.

Key words: Geostatistics; Dendrometric properties Spatial dependence.

Variabilidad espacial de atributos químicos del suelo en áreas de *Pinus* del instituto Florestal de Batatais –SP

Resumen

Pocos estudios han sido realizados para verificar las relaciones existentes entre el crecimiento de las selvas y los atributos químicos de los suelos, responsables por el potencial produtivo. El objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad espacial de propiedades dendrométricas sobre gradas de *Pinus* y la

Received at: 16/04/16

Accepted for publication at: 10/08/16

¹ Prof. Dr - Centro Universitário de Bebedouro SP - R. Prof. Orlando França de Carvalho, 325 - Centro, Bebedouro - SP, 14701-070 - Email: juanlopesruiz@gmail.com

² Eng. Agr. Dr. Centro Universitário de Bebedouro SP - Email: marcel_zanata@hotmail.com, teresap1204@gmail.com.

relación de estos con los atributos químicos de un Latosol Rojo amarillo del Instituto Florestal de Batatais-SP. Para el mapeo de los tenores de Ca, Mg, P y K, las muestras de suelo fueron colectadas en los puntos de cruce de una malla con intervalos regulares de 36m, totalizando una área de 16 ha. Con especies de *Pinus*, en la profundidad de 0,0-0,20m y 0,20-0,40 m, siendo colectadas 123 muestras en cada una de las dos profundidades, totalizando 246 muestras. Alrededor de cada punto geo referenciado fueron seleccionados nueve árboles de *Pinus*, de manera que cada punto catastrado fuera rodeado de una forma uniforme, realizándose las medidas de altura y diámetro en la altura del pecho. Los datos fueron sometidos a análisis estadística descriptiva y geo estadística. De acuerdo con los estudios hechos y resultados obtenidos, se concluye que los árboles de *Pinus* presentan mayor crecimiento, con mayores valores de altura de árboles y del diámetro en la altura del pecho, en las regiones en que los tenores de los atributos químicos del suelo fueron mayores y en las regiones de menor declividad.

Palabras clave: Geo estadística; Propiedades dendrométricas; Dependencia Espacial

Introdução

Avanços tecnológicos no segmento florestal têm mostrado a importância de se medir e obter aspectos da variação espacial e temporal de propriedades do solo que afetam o rendimento das espécies dos povoamentos florestais, com o objetivo de otimizar o gerenciamento do processo de produção (BOGNOLA et al., 2008).

Os principais determinantes ambientais da produtividade florestal são o clima, a fisiografia e o solo. Numerosos estudos têm sido conduzidos para verificar as relações existentes entre o crescimento das florestas e os atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, principais responsáveis pelo potencial produtivo de um sítio (SCHNEIDER, 2008). Quando os fatores climáticos e fisiográficos se mantêm constantes, mediante procedimento adequado de estratificação, o solo é o fator que tem relação com o crescimento da floresta (RALSTON, 1967).

Assim, a determinação das propriedades químicas do solo são fatores básicos na condução de povoamentos e planejamento da produção florestal, evitando a degradação de seus atributos, visando à produção sustentável (ORTIZ et al., 2006) e, sobretudo contribuindo para a aplicação de técnicas de silvicultura de precisão. As relações hipsométricas, ou seja, as funções relacionadas ao diâmetro a altura do peito e altura total da árvore, são bastante sensíveis às variações de sítio tornando-se imprescindível a sua caracterização, justificando desta maneira o estudo detalhado de suas características dendrométricas e dos atributos do solo que interferem sobre o crescimento dos sistemas florestais (RIGATTO et al., 2004).

Nesse contexto, a aplicação de técnicas de geoestatística permite modelar e descrever a variabilidade espacial dos atributos de solo e planta (SIQUEIRA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2015),

favorecendo a construção de mapas de isolinhas com o nível de detalhe desejável para maior compreensão das relações entre o solo e as espécies florestais. O conhecimento da variabilidade espacial e temporal dos fatores que afetam a produção e a produtividade dos povoamentos florestais permite realizar intervenções precisas, para obter o máximo rendimento de acordo com as potencialidades do solo e dos demais fatores ambientais locais (PELLISSARI et al., 2014).

Dessa forma, a utilização combinada de sistemas de informações geográficas e métodos geoestatísticos permite amparar tecnicamente decisões estratégicas e complexas em relação ao sistema de manejo florestal adotado, seus efeitos ambientais e a produtividade das diferentes essências florestais, contribuindo para o desenvolvimento de uma produção florestal sustentável. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial de propriedades dendrométricas (altura e diâmetro a altura do peito) de povoamento de *Pinus* e a relação destes com os atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo do Instituto Florestal de Batatais -SP.

Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no Instituto Florestal, em Batatais, no estado de São Paulo, sendo realizado no ano de 2014. A área de estudo está situada sobre as coordenadas 20° 53' a 20° 57' S e 47° 34' a 47° 39' W, a 880 m de altitude (Figura 1)

De acordo com o sistema de classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como mesotérmico úmido de verão quente (Cwa), ou seja, verão quente e chuvoso com inverno frio e seco. Apresenta, no mês mais seco, totais de chuvas



Figura 1. Área manejada anualmente, com corte raso dos talhões antigos e novo plantio com espécies tropicais e faz parte da Microbacia do córrego da Cachoeira - uma das áreas de contribuição do manancial de abastecimento de água para a zona urbana de Batatais.

inferiores a 30 mm, temperaturas médias superiores a 22°C no mês mais quente e temperaturas menores que 18°C no mês mais frio. A precipitação média regional varia entre 1100 e 1700 mm anuais (CEPAGRI, 2015).

A área de estudo foi escolhida por sua representatividade na região em importância florestal, com características específicas de Latossolo Vermelho Amarelo, com textura média

Coleta e análise dos dados

Para o mapeamento dos teores de Ca, Mg, P e K, as amostras de solos foram coletadas nos pontos de cruzamento de uma malha com intervalos regulares de 36 m, totalizando uma área de 16 hectares com espécies de *Pinus*, na profundidade de 0- 0,20 m e 0,20 - 040 m, sendo coletadas 123 amostras em cada uma das duas profundidades, totalizando 246 amostras. As coletas foram realizadas entre os meses de novembro e dezembro de 2014, sendo que a área foi estaqueada com auxílio de uma estação total, e posteriormente, os pontos foram georreferenciados com auxílio de um receptor de navegação GPS (Garmin eTrex Legend C, Garmin International Inc., USA), em pontos de controle do lado externo da área para não ocorrer interferência no cadastro de pontos.

As propriedades das plantas estudadas foram a altura das árvores e diâmetro a altura do

peito(DAP). Ao redor de cada ponto georreferenciado foram selecionadas nove árvores de *Pinus*, de maneira que cada ponto cadastrado fosse rodeado de forma uniforme, realizando-se as medidas de altura e DAP de cada uma das unidades, utilizando uma suta. Para a obtenção das alturas das árvores de *Pinus*, utilizou-se uma mira topográfica.

Para os atributos químicos do solo, foram determinados os teores de Ca, Mg e K trocáveis e P utilizando-se o método da resina trocadora de íons (RAIJ et al., 2001).

Análise estatística

Após obtenção dos dados, a avaliação dos atributos químicos do solo juntamente com a altura, e o DAP das árvores de *Pinus* foi primeiramente realizada a análise exploratória dos dados, calculando-se a média, a mediana, o máximo e mínimo, a variância, o coeficiente de variação, o coeficiente de assimetria e curtose e o teste de normalidade. O coeficiente de variação (CV) foi calculado com base no critério de WARRICK e NIELSEN (1980), que classifica o CV como baixo < 12 %, médio de 12 a 60 % e alto > 60 %. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, no software estatístico Minitab 14 (MINITAB, 2000).

Para a caracterização da variabilidade espacial,

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

utilizou-se a análise geoestatística (MATHERON, 1963; ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Sob a teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental foi estimado pela equação:

sendo, $\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ; $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$, são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; a variância estrutural, C_1 ; o patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar, o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; e o alcance, a distância da origem até onde o patamar

atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas (VIEIRA et al., 1983; TRANGMAR et al., 1985). Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizou-se o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 1998). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerou-se o maior R2 (coeficiente de determinação).

Na análise do grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classificação de CAMBARDELLA et al. (1994), em que valores de $[(C_0/(C_0+C_1))$ menores que 25 % são considerados dependência espacial forte, valores de $[(C_0/(C_0+C_1))$ entre 25 e 75 % indicam dependência espacial moderada e valores de $[(C_0/(C_0+C_1))$ maiores que 75 % determinam dependência espacial fraca.

Resultados discussão

Os resultados referentes à análise descritiva para os valores de Ca, Mg, P, K altura das árvores (m) e DAP (cm) são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Estatística descritiva do P resina (mg dm^{-3}), K, Ca e Mg (mmolc dm^{-3}), altura (m) e DAP (m) nas profundidades de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, na área de *Pinus* do Instituto Florestal, Batatais - SP.

Estatística descritiva	Atributos				Atributo da planta	
	-----Profundidade 0,0-0,20 m -----				-----	
	P resina	K	Ca	Mg	Altura	DAP
Média	4,33	0,48	2,55	1,40	5,88	9,48
Mediana	4,00	0,40	2,00	1,00	5,92	9,61
Mínimo	3,00	0,20	2,00	1,00	3,98	6,06
Máximo	7,00	1,30	6,00	5,00	7,51	12,17
Desvio Padrão	0,92	0,20	0,98	0,94	0,66	1,09
Variância	0,84	0,04	0,97	0,88	0,43	1,19
Coefficiente de Variação (%)	21,00	42,00	38,00	67,00	11,00	11,00
Assimetria	0,48	1,61	1,80	2,33	-0,43	-0,31
Curtose	0,06	3,10	2,42	4,47	0,27	0,36
d^1	0,25*	0,23*	0,41*	0,48*	0,07 ^{ns}	0,09 ^{ns}
	-----Profundidade 0,20-0,40 m-----					
Média	3,13	0,41	2,33	1,13		
Mediana	3,00	0,40	2,00	1,00		
Mínimo	2,00	0,20	2,00	1,00		
Máximo	5,00	1,00	8,00	4,00		
Desvio Padrão	0,80	0,16	0,81	0,43		
Variância	0,63	0,02	0,66	0,18		
Coefficiente de Variação (%)	25,00	38,00	35,00	38,00		
Assimetria	0,47	1,26	3,91	4,03		
Curtose	-0,02	1,96	20,88	19,60		
d^1	0,29*	0,26*	0,44*	0,51*		

DAP = diâmetro da altura do peito; d^1 = *significativo a 5% de probabilidade pelo teste Kolmogorov-Smirnov. DBH= Diameter at breast height. d^1 = normality test, *significant by Kolmogorov-Smirnov test;

A maior parte dos atributos dos manejos estudados apresentaram valores próximos da média e mediana (Tabela 1), indicando distribuição próxima a normal.

Os coeficientes de assimetria e curtose estão próximos de zero (Tabela 1), para todas as variáveis caracterizando distribuição simétrica, justificados pelos valores de média e mediana.

Os valores de CV para os atributos do solo e planta foram classificados como baixo, médios e altos, indicando que estes atributos apresentam variabilidade espacial. Para analisar a variabilidade espacial dos atributos do solo e da planta e o seu padrão espacial os atributos foram submetidos à análise geoestatística, sendo este, expresso pelos modelos de semivariogramas ajustados (Figura 2). O modelo de semivariograma esférico ajustou melhor a quase todas as variáveis analisadas nas duas profundidades avaliadas, a exceção do fósforo na profundidade de 0,20-0,40 m que o modelo exponencial foi melhor ajustado (Figura 2).

Na análise do grau de dependência espacial das variáveis, mostrou que na sua maioria apresentaram moderada dependência espacial, com exceção do Ca e Mg na profundidade 0,0 - 0,20 m e do P na profundidade de 0,20-0,40 m (Figura 2).

Todas as variáveis analisadas apresentaram coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,80 (Figura 2), ou seja, no mínimo 80% da variabilidade explicada pelos ajustes de semivariogramas.

-Os atributos estudados apresentaram diferentes valores de alcance e estes foram superiores ao valor de espaçamento utilizado na malha de amostragem para as variáveis.

-Os mapas de krigagem dos atributos químicos do solo são representados na Figura 3.

-Comparando as informações dos atributos químicos do solo (Figura 3) com os atributos da planta, nota-se que o crescimento em altura (Figura 4) do povoamento de *Pinus* foi maior em locais com maiores concentrações de Ca, Mg, P e K.

Os teores de Ca, Mg, P, K estão concentrados nas regiões altas e planas da área. Nas regiões onde os valores desses nutrientes foram menores foram em regiões de divisores de água, o que indica um perda de nutrientes em decorrência do fluxo de água da região estudada e apresenta uma menor altura em relação as árvores dessas áreas.

-A maior parte dos atributos dos manejos estudados apresentou valores próximos da média e mediana (Tabela 1), indicando distribuição próxima

a normal, a qual é considerada aceitável em estudos geoestatísticos (GONÇALVES; FOLEGATTI, 2002). Porém, alguns atributos apresentaram esses valores afastados de zero, indicando distribuição assimétrica, sendo estes confirmados pelos maiores valores de assimetria, evidenciando que são influenciados por valores extremos (OLIVEIRA et al., 2015).

Na Tabela 1, observa-se que os valores da média ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) variaram entre 2,55, na profundidade de 0,0-0,20 metros e 2,3 em maior profundidade (0,20-0,40 metros) para o elemento Ca e, sendo a concentração encontrada no solo, aceitável dentro da faixa para um crescimento adequado da espécie arbórea. Segundo ADAMS e MOORE (1983), para manter um crescimento ótimo do sistema radicular é necessário haver uma concentração de Ca no solo em torno de 2,5 a 8,0 $\text{mmol}_c / \text{dm}^3$ e, para atingir essa concentração, deve-se fazer a aplicação de calcário. Para o bom desenvolvimento radicular, é preciso que o Ca esteja presente em todo volume de solo, nas profundidades superficiais (0,0-0,20 metros) e subsuperficiais (abaixo dos 0,20 metros de profundidade), as quais são ocupadas pelas as raízes, para que consigam ficar em contato com o nutriente. Nas profundidades subsuperficiais utiliza-se o gesso agrícola, a fim de que o Ca fique disponível para as raízes nas profundidades mais profundas do solo (PRADO, 2008).

Os teores médios de Mg, variaram entre de 1,40 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ na profundidade de 0,0-0,20 m e 1,13 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ na profundidade de 0,20-0,40 metros. No trabalho de CORREA et al. (2011), os autores trabalharam com *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em Latossolos Vermelho e Neossolo Quartzarênico e RIGATTO et al. (2004) trabalharam com *Pinus taeda* em Latossolos e Cambissolos de textura média e argilosa, no qual observaram teores baixos a médios de Ca e Mg.

Os valores da média variaram entre 4,3 $\text{mg} / \text{dm}^{-3}$ na camada de 0,0-0,20 m e 3,13 $\text{mg} / \text{dm}^{-3}$ em maior profundidade (0,20-0,40cm) para o elemento Fósforo e, de 0,48 a 0,41 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ para Potássio nas duas profundidades respectivamente. De acordo com a interpretação dos níveis de fósforo e potássio obtidos do Manual de Adubação, os teores de fósforo no solo encontram-se em nível médio satisfatório (menor ou igual a 3,0 a 7,0 $\text{mg} / \text{dm}^{-3}$, enquanto que os níveis de potássio estão pouco satisfatórios (menor ou igual que 0,05 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), considerados baixos. No estudo da cultura é pouco estudado a exigência destes elementos, e alguns

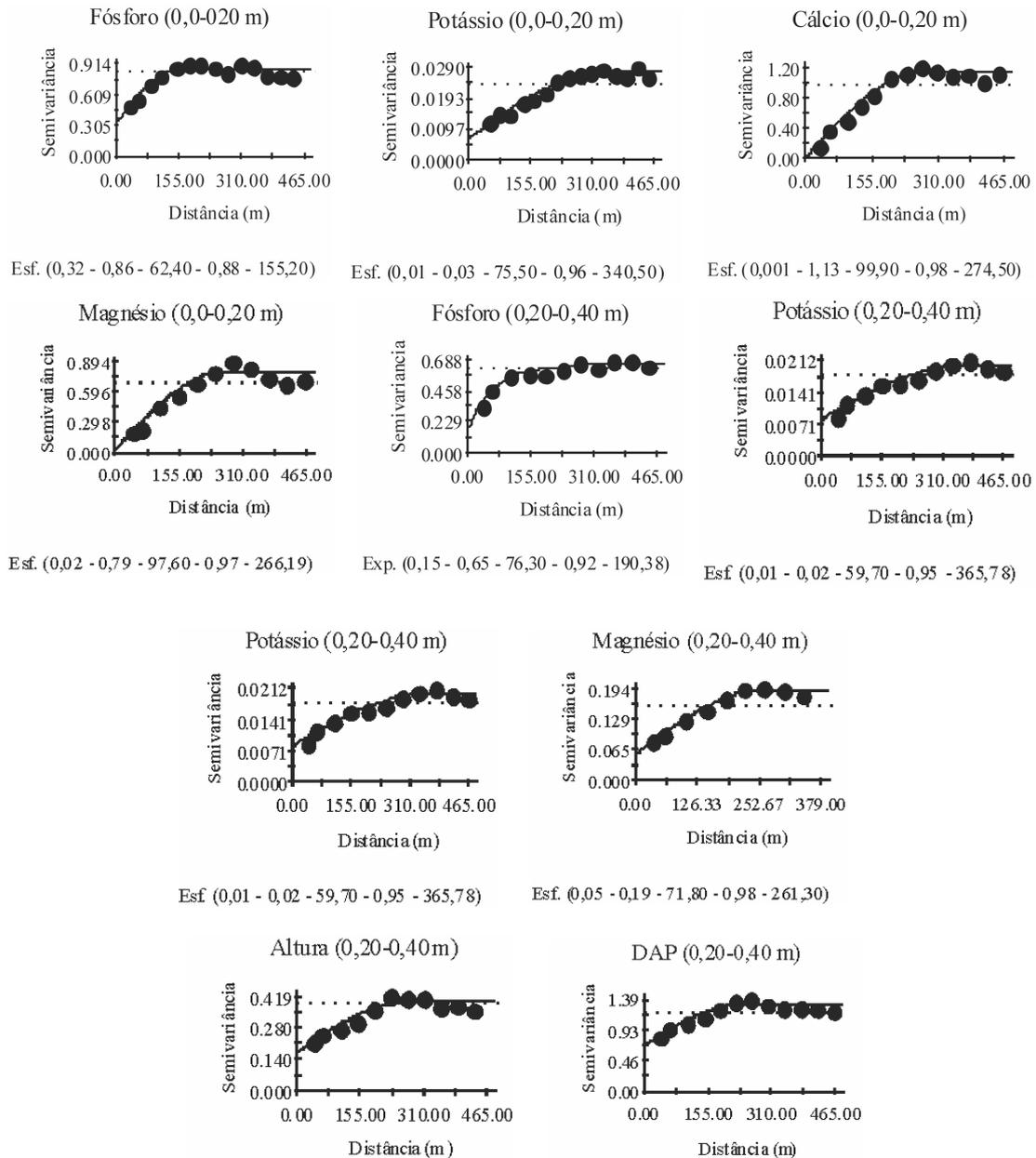


Figura 2. Semivariogramas ajustados aos atributos do solo e propriedades de planta nas profundidades de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, na área de *Pinus* do Instituto Florestal, Batatais - SP. DAP= diâmetro na altura do peito; Esf. = esférico; Exp. = Exponencial; [modelo (efeito pepita - patamar - $[(C_0/(C_0+C_1)] \times 100 - R^2 - \text{alcance})]$. $[(C_0/(C_0+C_1)] \times 100 =$ grau de dependência espacial; $R^2 =$ coeficiente de determinação. DAP = diâmetro da altura do peito

autores, como BARROS e BRANDI (1975) e LOPES (1983), concordam que a cultura do *Pinus* é pouca exigente em fósforo e potássio, considerando assim uma cultura pouco capaz de provocar desequilíbrios desses nutrientes à longo prazo no solo. Entretanto, vários estudos estão contrapondo estas conclusões, verificando que variáveis climatológicas podem influenciar na disponibilidade deste elemento. De

acordo com MELLO et al. (1983), a temperatura pode influenciar a disponibilidade de fósforo, uma vez que, normalmente, solos em regiões de maior temperatura, fixam mais fósforo do que em regiões temperadas.

Os valores médios encontrados para altura das árvores e DAP foram de 5,88 m e 9,78 cm, respectivamente. De acordo a GOMES e PAIVA (2004)

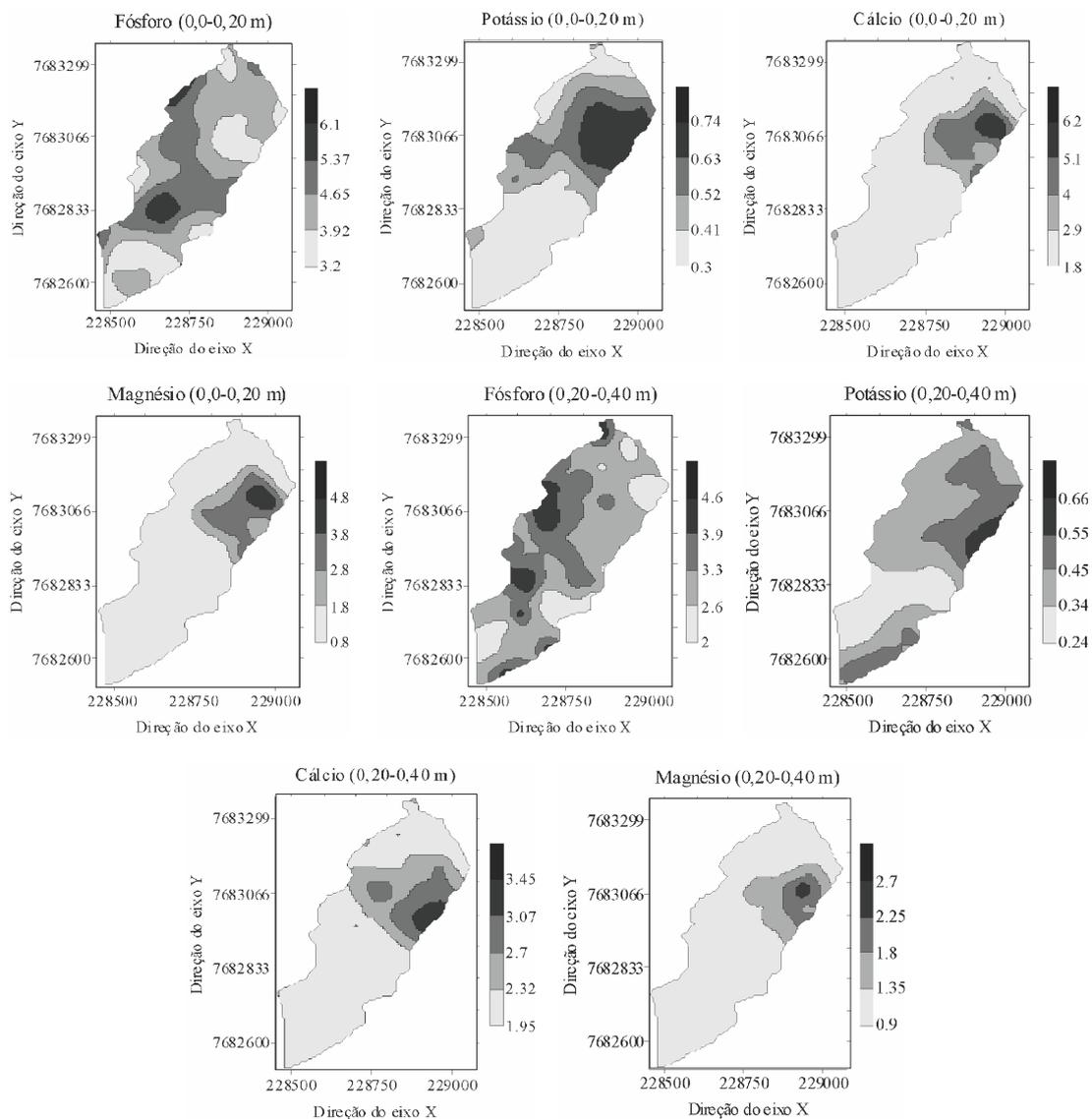


Figura 3. Distribuição espacial dos atributos químicos do solo nas profundidades nas profundidades de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, na área de *Pinus* do Instituto Florestal, Batatais - SP. DAP = diâmetro da altura do peito

a altura das plantas e DAP são muito importantes, porém não podem ser avaliados isoladamente para determinar a qualidade das plantas e a capacidade de sobrevivência no campo.

Os coeficientes de assimetria e curtose estão próximos de zero (Tabela 1), para todas as variáveis caracterizando distribuição simétrica, justificados pelos valores de média e mediana. Os resultados referentes ao teste Kolmogorov-Smirnov indicaram normalidade para alguns atributos nos ambientes estudados. Apesar de a normalidade dos dados não ser exigência da geoestatística, essa permite observar maior precisão das estimativas da krigagem, as quais são com base nos valores médios (ISAACS;SRIVASTAVA, 1989; CRESSIE, 1991). No entanto, parte dos atributos não apresentou normalidade dos dados nos diferentes solos.

Os valores de CV para a classificação de atributos do solo apresentaram baixo ($CV < 12\%$), médios ($12\% < CV > 24\%$) altos valores ($CV > 24\%$), indicando baixa, média e alta variabilidade respectivamente. É importante destacar que os atributos K, Ca, Mg nas duas profundidades e P resina na profundidade de 0,0-0,20 m, apresentaram altos valores de CVs, indicando que estes atributos apresentam alta variabilidade, podendo não ser detectada devido à distância de coleta das áreas. Altos valores de CV é uma estimativa de maior heterogeneidade dos atributos, indicando maior variabilidade. Para CARVALHO et al. (2003), os resultados de análises de atributos do solo costumam apresentar valores altos de CV. Por outro lado, a altura e o diâmetro altura do peito apresentaram baixa variabilidade com coeficiente de variação de

11% evidenciando uma baixa heterogeneidade das plantas avaliadas da área de estudo, que podem ter várias causas, dentre as quais merecem destaque: processos de formação do solo, acúmulo e distribuição das partículas do solo em função da forma do relevo (convexo, retilíneo e côncavo) e do fluxo de água na área (ARTUR et al., 2014). A medida estatística CV permite comparar a variabilidade entre amostras de variáveis com unidades diferentes, porém não permitindo avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo e nem seu padrão espacial. Para isto, os atributos foram submetidos à análise geoestatística, que ao apresentarem dependência espacial, este comportamento foi expresso pelos modelos de semivariogramas ajustados (Figura 2).

O modelo de semivariograma esférico ajustou melhor a quase todas as variáveis analisadas nas duas profundidades avaliadas, a exceção do fósforo na profundidade de 0,20-0,40 m que o modelo exponencial foi melhor ajustado (Figura 2). O modelo esférico obtido foi similar ao encontrado na maioria dos trabalhos em ciência do solo (CARVALHO et al., 2002). De acordo com CARVALHO et al. (2002), o modelo matemático esférico é o que predomina nos trabalhos em ciência do solo. Por outro lado, MCBRATNEY e WEBSTER (1983) e SIQUEIRA et al., (2010) destacam os modelos esférico e exponencial como àqueles mais utilizados em ciências do solo e ambientais. O ajuste dos modelos aos atributos explica o comportamento dos atributos, uma vez que segundo ISAACS e SRIVASTAVA (1989) os modelos exponenciais são mais bem ajustados a fenômenos erráticos na pequena escala, enquanto os modelos esféricos descrevem propriedades com

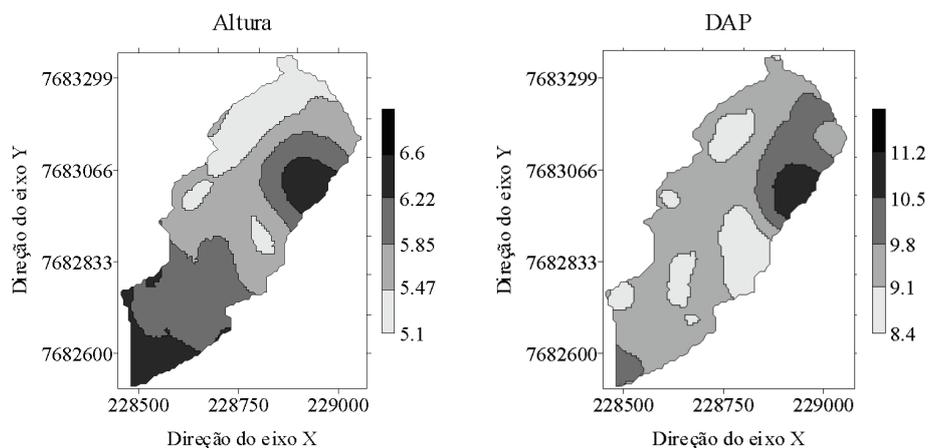


Figura 4. Distribuição espacial dos atributos das plantas nas profundidades de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, na área de *Pinus* do Instituto Florestal, Batatais - SP. DAP = diâmetro da altura do peito.

alta continuidade espacial, ou menos erráticos na curta distância.

A análise da relação $[(C_0/(C_0+C_1))]$, do grau de dependência espacial, mostrou que as variáveis em estudo na sua maioria apresentaram moderada dependência espacial, com exceção do Ca e Mg na profundidade 0,0 - 0,20 m e do P na profundidade de 0,20-0,40 m (Figura 2), sendo ideal para essas variáveis, o adensamento da malha de amostragem

Todas as variáveis analisadas apresentaram coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,80 (Figura 2), ou seja, no mínimo 80% da variabilidade existente nos valores da semivariância estimada são explicadas pelos modelos ajustados (CAMPOS et al., 2007).

O alcance é um parâmetro importante na análise geoestatística, pois expressa a dependência espacial ou distância em que uma variável pode apresentar o mesmo efeito. Os atributos estudados apresentaram diferentes valores de alcance variando de 155,20 a 365,78 e estes foram superiores ao valor de espaçamento utilizado na malha de amostragem para as variáveis, indicando que as amostras estão espacialmente relacionadas e, assim, há continuidade na distribuição espacial dos atributos físicos do solo em cultivo de *Pinus*, o que permite que se façam interpolações (VIEIRA, 2000). Pode-se afirmar que quanto maior o alcance, menor é a variabilidade, pois, segundo MARQUES JÚNIOR et al., (2008), o alcance representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si.

Os mapas de krigagem dos atributos químicos do solo são representados na Figura 3. Comparando as informações dos atributos químicos do solo

(Figura 3) com os atributos da planta, nota-se que o crescimento em altura (Figura 4) do povoamento de *Pinus* foi maior em locais com maiores concentrações de Ca, Mg, P e K. O mesmo foi observado em trabalhos de MOLINA et al., (1987), que analisaram os efeitos desses atributos sobre o crescimento e sobrevivência do *Pinus* e constataram que o fósforo, quando adicionado com o potássio, exerce papel de grande importância no crescimento em altura e produção de matéria seca foliar.

Os maiores teores de Ca, Mg, P, K estão concentrados nas regiões altas e planas da área. Nas regiões onde os valores desses nutrientes foram menores foram em regiões de divisores de água, ou seja, onde a declividade da área foi maior, o que indica uma perda de nutrientes em decorrência do fluxo de água da região estudada, e conseqüentemente, influenciou diretamente no desenvolvimento das plantas, onde estas apresentaram menor altura e DAP, em relação as plantas localizadas nas regiões planas da área.

Conclusão

Os atributos químicos do solo e as variáveis da planta estudadas apresentaram dependência espacial, ajustando-se aos modelos de semivariogramas esféricos e exponencial;

Para as características do presente estudo, nas regiões de maiores concentrações de Ca, Mg, P e K as árvores de *Pinus* apresentam maior crescimento, em que se encontra a região de menor declividade;

As técnicas geoestatísticas apresentam-se como ferramentas eficientes nos estudos dos atributos químicos do solo em cultivo de *Pinus*, mostrando a sua relação com as variáveis da planta.

Referências

- ADAMS, F.; MOORE, B.L. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of coastal plain soils. Soil Science Society of America Journal, v. 47,n.1, p. 99-102, 1983.
- ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo associada ao microrrelevo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 2, p. 141-149, 2014.
- BARROS, N.F.; BRANDI, R.M. influência de três espécies florestais sobre a fertilidade de solo de pastagem em Viçosa, M.G. Brasil Florestal, v.21, n. 6, p. 24-29, 1975.
- BOGNOLA, I.; RIBEIRO JÚNIOR, P.; SILVA, E.; LINGAU, C.; HIGA, A. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. Revista Floresta, v. 38, n. 2, p. 373-385, 2008.
- 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 Science Society of American Journal, v. 58, n.5, p.1501- 1511. 1994

Applied Research & Agrotechnology v9 n2 may/aug. (2016)

Print-ISSN 1983-6325 (On line) e-ISSN 1984-7548

- CAMPOS, M.C.C.; FERRAZ, F.B.; FREITAS, E.V.S. e SOUZA, Z.M. Dependência espacial de atributos físicos e hídricos de um Espodossolo da zona da mata de Pernambuco. *Revista Biologia e Ciências da Terra*, v.7, n.1, p.84-91, 2007.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M. e VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y. & FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n.4, p.695-703, 2003.
- CEPAGRI. Clima dos municípios paulistas. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br> Acesso em: 13 jan. 2016.
- CRESSIE, N. *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley, 1991.
- CORRÊA, R.S; BELLOTE, A.F.J. Atributos and biomass yield from soil attributes and biomass yield from *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 2, p. 181-187, 2011.
- GOMES, J.N; PAIVA, H.N. Viveiros Florestais – propagação assexuada. 3. Ed. Viçosa: UFV, 2014. 116 p.
- GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V. Correlação espacial entre retenção de água e textura do solo, para fins de manejo de irrigação. *Engenharia Agrícola*, v.22, n.3, p.296-303, 2002.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. *An introduction to applied geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- LOPES, M.I.M.S. Influência do cultivo de *Pinus* sobre algumas características de um Latossolo vermelho-escuro primitivamente sob vegetação de cerrado. 1983. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.
- MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T.; BARBIERI, D.M. Variabilidade espacial de matéria orgânica, P, K e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar por longo período. *Revista Biologia e Ciências da Terra*, v.8, n.1, p.125-143, 2008.
- MATHERON, G. Principles of geostatistics. *Economic Geology*, v.58, n.8, p.1246-1266, 1963.
- MCBRATNEY, A.B; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties. *Soil Science*, v.135, n.3, p.177-183, 1983.
- MELLO, F. de A.; BRASIL SOBRINHO, M. de O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETO, A.; KIEHL, J. de C. Fertilidade do solo. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.
- MINITAB RELEASE 14.1. *Statistical Software*.US/ Canadá. 2000.
- MOLINA, G.; HERRERO, G.; YERO, L.; SANCHEZ, J.; LOBAINA, B. Efecto de NPK sobre las posturas de *Pinus maestrensis* em viveiro y en campo. *Revista Florestal Baracoa, La Habana*, v.17, n. 2, p.85-96, 1987.
- OLIVEIRA I.A; CAMPOS, M.C.C; MARQUES JUNIOR, J; AQUINO, R.E; TEIXEIRA, D.B; SILVA, D.M.P. Use of Scaled Semivariograms in the Planning Sample of Soil Physical Properties in Southern Amazonas, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.39, n.1, p.31-39, 2015.
- ORTIZ, J.L. ; VETTORAZZI, C.A. ; COUTO, H.T.Z. ; GONCALVES, J.L.M. Relações espaciais entre o potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e do relevo. *Scientia Forestalis*, n.72, p.67-79, 2006.
- PELLISSARI, A. L.; CALDEIRA, S. F.; SANTOS, V. S. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo em povoamento de *Tectona grandis*. *Cerne*, v. 20, n. 3, p. 377-384, 2014.
- PRADO, R. M. *Nutrição de plantas*. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 408 p.
- RAIJ, B. VAN. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute. 2011. 420 p.

RALSTON, C.W. Recognition and mapping of site types for afforestation. In: FAO World Symposium on man-made forest and their industrial importance, Canberra, 1967. Proceedings. Canberra, 1967. v.1, p.172-87.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J.L.M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. Revista *Árvore*, v. 29, n. 5, p. 701- 709, 2005.

ROBERTSON, G.P. GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+ user's guide. Plainwell: Gamma Design Software, 1998.152p.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P. Introdução ao manejo florestal. 2. ed. Santa Maria: FACOS-UFSM, 2008. 566 p.

SIQUEIRA, D.S; MARQUES JÚNIOR, J; PEREIRA, G.T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. *Geoderma*, v.155, n.1-2, p.55-66, 2010.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S. e UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*, v. 38, p.54-94, 1985.