

Relação Espacial entre Características Dendrométricas de Seringueira (*Hevea Brasiliensis*) e de Atributos Físicos do Solo

Sidney Rosa Vieira ¹

Luiza Honora Pierre ²

Célia Regina Grego ³

Glécio Machado Siqueira ⁴

RESUMO

VIEIRA, S. R.; PIERRE, L. H.; GREGO, C. R. e SIQUEIRA, G. M. **Relação espacial entre características dendrométricas de seringueira (*Hevea brasiliensis*) e de atributos físicos do solo.** O objetivo deste trabalho foi determinar a variabilidade espacial e relação entre características dendrométricas de *Hevea brasiliensis* e de atributos físicos do solo. As medições foram realizadas em uma área de 10 ha cultivada com seringueira no Centro Experimental Central do Instituto Agrônomo – IAC (Campinas, São Paulo, Brasil). As árvores de *Hevea brasiliensis* [(Willd. ex Adr. To Juss.) Müell. Arg.] foram plantadas em 1992 com espaçamento de 3 m x 7 m. As amostragens foram realizadas em 232 pontos com espaçamento de 20 m x 20 m. As características dendrométricas e os atributos físicos avaliados foram: o diâmetro na altura do peito (Diâmetro, m), a altura das árvores (Altura, m), a condutividade hidráulica saturada (K_s , m dia⁻¹) e a resistência do solo à penetração (RP, MPa). As características dendrométricas de seringueira e os atributos físicos do solo apresentaram grau de dependência espacial moderado-baixo; Os valores de efeito pepita (C_0) demonstram que as características dendrométricas das árvores de seringueira (diâmetro e altura) apresentam menor descontinuidade espacial que os atributos físicos do solo (condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração); As características dendrométricas das árvores de seringueira (diâmetro e altura) apresentam maior estabilidade espacial ao longo do tempo que os atributos físicos do solo, que são mais susceptíveis ao processo de manejo e as características do solo e clima.

Palavras-chave: geoestatística; variabilidade espacial; atributos de planta e do solo.

ABSTRACT

VIEIRA, S. R.; PIERRE, L. H.; GREGO, C. R. e SIQUEIRA, G. M.. **Spatial relationship between rubber tree (*Hevea brasiliensis*) dendrometric characteristics and soil physical attributes.** The objective of this work was to determine the spatial variability and the relationship between dendrometric characteristics of *Hevea brasiliensis* and soil physical attributes. The measurements were carried out in a 10 ha area cultivated with rubber trees in the Centro Experimental Central of the Instituto Agrônomo - IAC (Campinas, São Paulo State, Brazil). The *Hevea brasiliensis* [(Willd. ex Adr. To Juss.) Müell. Arg.] trees were planted in 1992 on a 3 m x 7 m spacing. The measurements were taken in 232 points at a 20 m x 20 m spacing. The dendrometric characteristics and soil physical attributes were: diameter of the trees (Diameter, m), the height of the trees (Height, m), the saturated hydraulic conductivity (K_s , m day⁻¹) and resistance to penetration (RP, MPa). The dendrometric characteristics of rubber and the soil physical attributes showed moderate to low degree of spatial dependence; the values of the nugget effect (C_0) for the dendrometric characteristics of the rubber trees (diameter and height) have lower

spatial discontinuity than the soil physical attributes (hydraulic conductivity and resistance to penetration); the dendrometric characteristics of the rubber trees (diameter and height) are more stable in space over time as compared to the soil physical attributes, which are more susceptible to the management process and to soil and climate characteristics.

Key words: geostatistics; spatial variability; plant and soil attributes.

INTRODUÇÃO

A seringueira [*Hevea brasiliensis* (Willd. ex ADR. TO JUSS.) MÜELL. ARG.], originária da região amazônica do Brasil, é atualmente a principal fonte de borracha natural do mundo (GONÇALVES et al., 2001). De acordo com o International Rubber Study Group (IRSG) (2007), a demanda de borracha natural para 2020 é da ordem de 9,71 milhões de toneladas ano⁻¹, contra uma produção de 7,06 milhões de toneladas ano⁻¹. Estimativas demonstram que para o ano 2035 haverá um déficit de produção de 5,0 milhões de toneladas ano⁻¹.

Apesar de ter sua origem na região amazônica, atualmente no Brasil os principais cultivos estão localizados no Planalto Ocidental do estado de São Paulo devido, principalmente, às condições climáticas presentes nessa região que não favorecem o desenvolvimento do “mal-das-folhas” [*Microcyclus ulei* (P. HENN.) V. ARX] (GONÇALVES et al., 2001). Segundo esses autores, o cultivo de seringueira no Brasil está se expandido para as latitudes de 19° e 23° S, abrangendo os estados de Minas Gerais, Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso e norte do Paraná. Ortolani et al. (2000) descrevem que devido à expansão geográfica da seringueira para outros locais com agroclimas bem diferenciados da região de origem, a periodicidade e a amplitude dos fatores térmicos e hídricos, principalmente, alteram o comportamento fenológico da cultura, havendo necessidade do desenvolvimento e da adaptação de novas tecnologias de produção.

Vetorazzi & Ferraz (2000) ressaltam que o uso da chamada silvicultura de precisão favorece a coleta e análise de dados geoespaciais, viabilizando intervenções localizadas na floresta com exatidão e precisão adequadas. Assim, o estudo da distribuição espacial das variáveis dendrométricas das plantas de seringueira e seu relacionamento com os demais atributos do solo, torna-se essencial para compreender o comportamento e a relação entre essas propriedades.

Vários trabalhos demonstram que a variabilidade de propriedades do solo é espacialmente dependente, ou seja, dentro de certo domínio, as diferenças entre os valores de uma determinada propriedade podem ser expressos em função da distância de separação entre os pontos amostrados (WARRICK & NIELSEN, 1980; VIEIRA et al., 1981; McBRATNEY & WEBSTER, 1986; CAMBARDELLA et al., 1994; CARVALHO et al., 2002; SOUZA et al., 2004; GREGO & VIEIRA, 2005; SIQUEIRA et al., 2008). De acordo com Vieira et al. (1981), a análise das amostragens que não consideram as variâncias calculadas e a distância de separação entre as amostras não fornece uma descrição completa da variabilidade de uma propriedade.

As características físicas de um solo são modificadas de acordo com o tipo de uso e cultivo a que o mesmo é submetido. Algumas mudanças ocorrem num período curto de tempo ou mesmo numa simples prática de preparo; outras, apenas com um manejo contínuo serão visíveis ou mensuráveis. (Vieira, 1981). Segundo Brancalião (2002) e Camargo e Alleoni (1997), as alterações que podem ocorrer nas características físicas do solo, principalmente nos aspectos referente a tamanho e arranjo dos poros, influenciam os processos de infiltração e capacidade de retenção de água.

Existem diversos fatores que podem ocasionar mudanças nesses processos e a compactação do solo é um dos mais importantes, tomando, muitas vezes, dimensões sérias, pois causa além de restrições ao crescimento e desenvolvimento radicular, uma série de outros problemas relacionados à qualidade do solo e à produtividade das plantas.

A compactação do solo determina, de certa maneira, as relações entre ar, água e temperatura, e estas influenciam outros aspectos gerais do ambiente. Fatores externos podem provocar alterações no arranjo das partículas do solo, diminuindo, geralmente, o volume ocupado por determinada massa de terra e o tamanho dos poros que permitem livre circulação de ar e água – os chamados macroporos. Por conseguinte, outros atributos físicos do solo – aeração, temperatura, e resistência mecânica à penetração – são modificados, afetando também atributos químicos e biológicos.

A condutividade hidráulica também pode fornecer informações que permitem caracterizar com segurança o estado atual de qualidade do solo em termos de estrutura e a facilidade do movimento de água no solo. Para Reichardt (1988), o fluxo de drenagem reduz drasticamente em tempos curtos devido à redução da condutividade hidráulica. Segundo Castro (1995), a compactação do solo e a descontinuidade dos poros reduzem significativamente a condutividade do solo saturado. Gonçalves et al. (1999) concluíram que, para caracterizar apropriadamente a variabilidade do armazenamento de água, a amostragem adequada é fundamental. Dessa maneira, a condutividade hidráulica saturada pode ser um parâmetro indicador do efeito de manejo e das alterações na estrutura do solo.

Desta maneira, a geoestatística permite conhecer a estrutura espacial das variáveis e estimar os valores desconhecidos e os valores de variáveis correlacionadas. Ela deve ser empregada para determinar a dependência espacial das propriedades do solo e dos atributos de crescimento e produção das culturas. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar a variabilidade espacial e relação entre características dendrométricas de *Hevea brasiliensis* (diâmetro e altura) e de atributos físicos do solo (condutividade hidráulica saturada e resistência à penetração).

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido em uma área de 10 ha do Centro Experimental Central do Instituto Agrônomo (IAC), Campinas, São Paulo, Brasil, com latitude 22° 53' S, longitude 47° 04' W, altitude média de 600 m e declividade de 6,5%. O solo da área é um Latossolo Vermelho, apresentando textura argilosa (EMBRAPA, 2006) e o clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido.

As árvores de *Hevea brasiliensis* [(Willd. ex Adr. To Juss.) Müell. Arg.] foram plantadas em 1992 com espaçamento entre as árvores de 3 m x 7 m (totalizando 928 árvores), utilizando os seguintes clones IAC 35, PR 261, GT 1, PB 235, RRIM 70, IAN 835, PR 255, RRIM 600 e PB 330. Neste estudo, foram demarcados 232 pontos de amostragem com espaçamento de 20 m x 20 m (Figura 1). Em cada ponto de amostragem foram avaliadas as quatro árvores dispostas ao seu redor, como mostra a Figura 1.

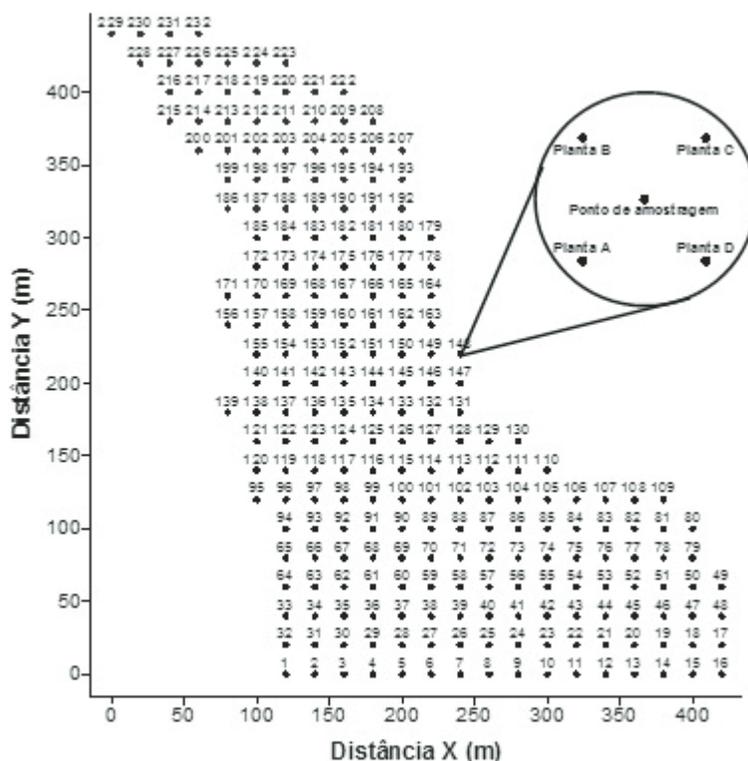


Figura 1. Grade de amostragem das características dendrométricas e dos atributos físicos do solo.

As características dendrométricas avaliadas foram: o diâmetro na altura do peito (DAP, m) e a altura das árvores (Altura, m). O diâmetro foi medido utilizando uma fita métrica a 1,3 m obtendo-se, assim, a sua circunferência que posteriormente foi utilizada para obtenção do diâmetro. A altura das árvores foi determinada por meio do método indireto utilizando uma prancheta dendrométrica ou hipsômetro, conforme descrito por Couto et al. (1989). Desta maneira, foi possível a determinação do diâmetro e a altura de cada uma das árvores e o valor médio das avaliações.

Os atributos físicos do solo estudados foram: a resistência do solo à penetração (RP, MPa) e a condutividade hidráulica do solo saturado (K_q , m dia⁻¹). A resistência do solo à penetração foi medida com penetrômetro de impacto modelo STOLF-PLANALSULCAR (STOLF et al., 1983) até 0,40 m de profundidade, sendo a resistência do solo à penetração calculada a cada 0,10 m de profundidade (RP₀₋₁₀, RP₁₀₋₂₀, RP₂₀₋₃₀ e RP₃₀₋₄₀). A condutividade hidráulica do solo foi medida com permeâmetro de carga constante modelo IAC (VIEIRA, 1998), na profundidade de 0,0-0,1 m (K_{q10}) e 0,1-0,2 m (K_{q20}).

Os dados foram analisados por meio do conjunto de programas GEOEST (Vieira et al., 2002), que forneceu os principais parâmetros estatísticos (média, variância, DP – desvio -padrão, CV - coeficiente de variação, assimetria e curtose) e geoestatísticos. O semivariograma experimental foi utilizado para determinar a variabilidade e a dependência espacial entre as amostras, representando quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado, sendo então expresso por meio da Equação 1:

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

onde a semivariância é estimada a partir de $\gamma^*(h)$ e $N(h)$ representa o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$ separadas por um vetor (h) . Desta forma, a dependência espacial manifesta-se como uma correlação entre as amostras que diminui à medida que a distância entre os pontos amostrais aumenta e desaparece completamente quando a distância entre os pontos é suficientemente grande, os quais, neste caso, são considerados estatisticamente independentes (VIEIRA, 2000). Desta maneira, o gráfico do semivariograma é composto por uma série de valores (efeito pepita, variância estrutural e alcance), aos quais é preciso adequar um modelo matemático. O efeito pepita (C_0) indica a descontinuidade entre as amostras, ou seja, a variabilidade espacial não detectada durante o processo de amostragem do solo. A variância estrutural (C_1) apresenta-se como um componente do semivariograma que indica o ponto onde a correlação entre as amostras se estabiliza. O alcance (a) representa o tamanho das manchas de variabilidade espacial para um determinado atributo, onde a partir deste ponto não existe mais correlação entre as amostras. O grau de dependência espacial entre amostras foi determinado conforme proposto por Cambardella et al. (1994), sendo <25 % alto, 25-75 % médio e >75 % baixo.

Todos os atributos físicos do solo envolvidos neste estudo ajustaram-se ao modelo esférico. De acordo com a Equação 2, o modelo esférico é descrito inicialmente como linear (aproximadamente 1/3 do alcance - $0 < h < a$) e, em seguida, apresenta uma parte pendente (2/3 do alcance - $h > a$).

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \quad 0 < h < a$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \quad h > a \quad (2)$$

Uma vez ajustado um modelo matemático ao semivariograma, utilizou-se a técnica de krigagem para fazer a interpolação dos dados para os locais não amostrados sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000; GREGO & VIEIRA, 2005; SIQUEIRA et al., 2008).

O software SURFER 7.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999) foi então utilizado para construção de mapas de isolinhas para os diferentes atributos envolvidos neste estudo, utilizando os valores estimados por meio da técnica de krigagem para os locais não amostrados. Desta maneira, as isolinhas são determinadas pelo software SURFER 7.0 baseando-se em um algoritmo linear e não tendencioso expresso por meio da técnica de krigagem, conforme descrito por Siqueira et al. (2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características dendrométricas de *Hevea brasiliensis* apresentaram baixos valores de coeficiente de variação (CV) (Tabela 1), enquanto os atributos físico-hídricos do solo apresentaram elevados valores de CV, principalmente os dados de condutividade hidráulica do solo saturado, conforme classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980). Os valores de CV para a condutividade hidráulica saturada e de resistência mecânica do solo à penetração coincidem com os valores encontrados por Vieira (1998) e Souza et al. (2004), respectivamente. Os valores dos coeficientes de

assimetria e curtose indicam que todos os dados apresentam distribuição de frequência lognormal, uma vez que estes parâmetros estão distanciados de 0 e 3, de acordo com Carvalho et al. (2002). Verifica-se que os valores de média para o diâmetro e altura das 4 plantas estudadas (A, B, C e D) estão próximos um dos outros. Este fato pode indicar determinada homogeneidade destas características dendrométricas na área de estudo, uma vez que os valores de variância e desvio padrão (DP) também são baixos (Tabela 1).

Atributo	Unidade	Média	Variância	DP	CV	Assimetria	Curtose
Diâmetro A		0,20	16,32	4,04	20,51	-0,62	0,56
Diâmetro B		0,19	16,26	4,03	20,74	-0,43	0,51
Diâmetro C	m	0,20	12,53	3,59	17,58	-0,42	0,36
Diâmetro D		0,19	13,51	3,67	18,55	-0,65	0,38
Diâmetro Médio		0,20	5,75	2,39	12,12	-0,40	1,80
Altura A		10,82	4,80	2,19	20,28	0,71	0,73
Altura B		10,72	4,85	2,20	20,55	0,58	0,41
Altura C	m	11,16	3,93	1,98	17,77	0,39	-0,10
Altura D		11,25	4,78	2,18	19,44	-0,16	0,53
Altura Média		10,92	3,69	1,92	17,61	0,46	-0,13
K_{q10}	m dia ⁻¹	97,66	4,66	68,32	69,96	0,97	0,55
K_{q20}		101,7	6,27	79,20	77,86	1,29	1,39
RP_{0-10}		1,18	0,14	0,37	31,71	1,26	2,08
RP_{10-20}	MPa	1,98	0,95	0,97	49,10	1,76	4,00
RP_{20-30}		3,76	4,61	2,14	57,05	1,48	2,12
RP_{30-40}		4,93	4,44	2,10	42,74	1,12	1,78

Tabela 1. Parâmetros estatísticos das características dendrométricas e dos atributos físicos do solo.

A condutividade hidráulica saturada na camada de 0,1-0,2 m de profundidade (K_{q20}) e a resistência do solo à penetração na camada de 0,0-0,1 m de profundidade (RP_{0-10}) apresentaram efeito pepita puro (Tabela 2). A presença de efeito pepita puro para estes atributos demonstra que o espaçamento utilizado durante o processo de amostragem não foi suficiente para detectar a variabilidade espacial. Este fato se deve principalmente em função da grande variação dos dados, conforme demonstrado pelo desvio padrão (68,32) e coeficiente de variação (69,96 %).

Atributo	Modelo	C_0	C_1	C_0+C_1	a (m)	GD (%)
Diâmetro A	Esférico	11,27	5,17	16,44	49,18	68,55
Diâmetro B	Esférico	6,01	10,51	16,52	37,28	36,38
Diâmetro C	Esférico	6,30	6,80	13,10	40,00	48,09
Diâmetro D	Esférico	5,20	8,00	13,20	40,00	39,39
Diâmetro Médio	Esférico	4,25	1,50	5,75	56,74	73,91
Altura A	Esférico	2,31	2,23	4,54	94,83	50,88
Altura B	Esférico	1,92	2,69	4,61	89,10	41,65
Altura C	Esférico	1,50	2,00	3,50	82,00	42,86
Altura D	Esférico	2,00	2,30	4,30	74,00	46,51
Altura Média	Esférico	1,07	2,38	3,45	91,78	31,01
K_{q10}	Esférico	4300	1700	6000	150,00	71,67
K_{q20}			Efeito pepita puro			
RP_{0-10}			Efeito pepita puro			
RP_{10-20}	Esférico	0,73	0,33	1,06	230,47	68,87
RP_{20-30}	Esférico	2,81	2,56	5,37	234,71	52,33
RP_{30-40}	Esférico	2,60	2,00	4,60	150,00	56,52

C_0 : efeito pepita; C_1 : variância estrutural; a: alcance; C_0+C_1 : patamar; GD: grau de dependência espacial.

Tabela 2. Parâmetros de ajuste do semivariograma para as características dendrométricas e para os atributos do solo envolvidos neste estudo.

A condutividade hidráulica na camada de 0,0-0,1 m de profundidade (K_{q10}) apresentou o maior valor de efeito pepita ($C_0 = 4300$). De acordo com Trangmar et al. (1985), valores elevados de efeito pepita (C_0) indicam uma variância não explicada ou ao acaso, frequentemente causada por erros de medições ou variações dos atributos que não foram detectadas na escala de amostragem, fato que é confirmado por meio do elevado valor de coeficiente de variação ($CV = 69,96\%$) descrito para a condutividade hidráulica na camada de 0,0-0,1 m de profundidade (K_{q10}). Siqueira et al. (2008), estudando a variabilidade espacial de atributos físicos do solo por métodos diversos, descrevem que os atributos que apresentam maiores valores de coeficiente de variação (CV) também apresentam maiores valores de efeito pepita (C_0), indicando uma maior descontinuidade entre amostras.

Os demais atributos de solo e planta apresentaram baixos valores de efeito pepita. Isaaks & Srivastava (1989) descrevem que a magnitude dos valores de efeito pepita (C_0) é importante durante o processo de interpolação por krigagem, pois quanto maior for a diferença do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C_1$) do semivariograma que é representada pelos valores do grau de dependência espacial (GD), maior a continuidade do fenômeno, menor a variância da estimativa, ou maior a confiança que se pode ter na estimativa para os locais não amostrados. Neste estudo em particular, deve-se ter em mente que os valores de efeito pepita (C_0) representam distintas grandezas, uma vez que espera-se que as características dendrométricas das plantas de seringueira apresentem uma população amostral mais estável que os atributos físicos do solo estudados. Isso se deve porque a variabilidade espacial das características dendrométricas é representada pela integração de uma série de fatores do sistema solo-planta-atmosfera, enquanto os atributos físicos do solo (condutividade hidráulica saturada e resistência do solo à penetração) são mais suscetíveis ao tipo de manejo praticado na área. Assim, as características dendrométricas das árvores de seringueira são mais estáveis no tempo, e por isso apresentam menores valores de efeito pepita (C_0) quando comparado aos atributos físicos do solo (condutividade hidráulica saturada e resistência do solo à penetração).

Os atributos de planta e solo que apresentaram dependência espacial ajustaram-se ao modelo esférico, corroborando os outros autores que descrevem este modelo como o que mais se ajusta aos parâmetros de solo e planta (CAMBARDELLA et al., 1994; VIEIRA, 2000; SOUZA et al., 2004; GREGO & VIEIRA, 2005; SIQUEIRA et al., 2008).

As características dendrométricas de *Hevea brasiliensis* (diâmetro e altura) apresentaram os menores valores de alcance (a). Os atributos físicos hídricos do solo apresentaram maiores valores de alcance, estando entre 150 m e 234,71 m. O grau de dependência espacial (GD), de acordo com Cambardella et al. (1994), é descrito como moderado-baixo para os atributos estudados. A condutividade hidráulica saturada na camada de 0,0-0,1 m de profundidade (K_{q10}) apresentou o maior valor de efeito pepita (C_0) indicando uma maior variabilidade espacial não detectada durante o processo de amostragem.

Os mapas de isolinhas (Figura 2) demonstram que as características dendrométricas de *Hevea brasiliensis* apresentam uma distribuição das linhas de contorno muito mais suave que os mapas de condutividade hidráulica saturada (K_q) e de resistência do solo à penetração (RP). Verifica-se que o mapa do diâmetro médio das árvores apresenta o mesmo padrão de distribuição das linhas de contorno dos mapas individuais do diâmetro. O mesmo fato ocorre com os mapas da altura das árvores. Vale ressaltar que o diâmetro $M_{\text{dió}}$ e altura $M_{\text{édia}}$ das árvores de seringueira também apresentam menores valores de variância, DP e CV (Tabela 1). Nota-se também que não há um padrão de similaridade de distribuição de linhas de contorno entre os mapas das características dendrométricas avaliadas.

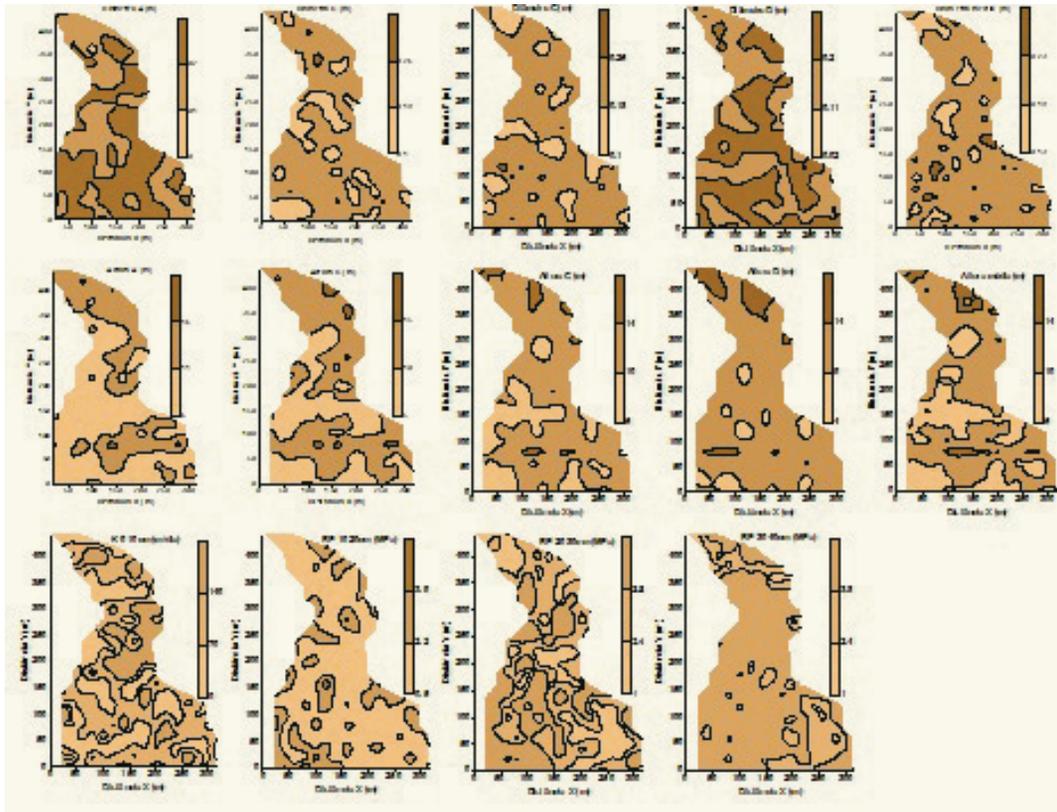


Figura 2. Mapas de variabilidade espacial para os atributos em estudo: diâmetro (m), altura (m), condutividade hidráulica saturada (m dia^{-1}) e resistência do solo à penetração (MPa).

Os mapas de K_{q10} e de RP_{20-30} apresentam a maior variabilidade de distribuição das linhas de contorno. Este fato coincide com os elevados valores de coeficiente de variação (Tabela 1, respectivamente 69,96 % e 57,05 %) que apresentam estes atributos, indicando uma maior variação dos dados. Rehfeldt et al. (1992) encontraram elevada variabilidade espacial da condutividade hidráulica estudando um solo de várzea, cuja variabilidade é atribuída a fatores de heterogeneidade do solo. Os valores de condutividade hidráulica saturada (K_q) são considerados altos de acordo com a classificação de Klute & Dirksen (1986). Grego e Vieira (2005) descrevem que a resistência do solo à penetração é uma medição pontual e, por isso, apresenta grande variabilidade no solo.

Quando se comparam os mapas das características dendrométricas, verifica-se que apesar do diâmetro das árvores ser bastante homogêneo na área, esta característica não exerce grande influência sobre a altura das mesmas, uma vez que o mapa de alturas possui linhas de contorno bem diferentes do mapa de diâmetro das árvores. Pode-se dizer que isso é importante uma vez que árvores com maior diâmetro apresentam um maior painel de exploração de látex. Todavia, este fato não implica em uma maior produção de látex uma vez que a sua produção envolve uma série de interações entre as árvores e as condições edafoclimáticas (CASTRO, 2000; VIRGENS FILHO et al., 2007).

Os mapas de resistência do solo à penetração demonstram que há um aumento dos valores de RP em profundidade, conforme apresentado na Tabela 1 (RP_{0-10} : 1,18 MPa; RP_{10-20} : 1,98 MPa; RP_{20-30} : 3,76 MPa; RP_{30-40} : 4,93 MPa). Observa-se que também existe um determinado padrão de

similaridade na distribuição das linhas de contorno nos mapas de RP. Comparando-se os mapas de K_q e de RP, verifica-se que zonas onde há menor K_q , ocorrem menores valores de RP.

CONCLUSÕES

1. As características dendrométricas de seringueira e os atributos físicos do solo apresentaram grau de dependência espacial moderado-baixo, sendo que o tamanho médio das zonas de variabilidade espacial está em torno dos 56,74 m para o diâmetro das árvores, 91,78 m para a altura das árvores, 150 m para a condutividade hidráulica saturada e 205 m para a resistência do solo à penetração
2. Os valores de efeito pepita demonstram que as características dendrométricas das árvores de seringueira (diâmetro e altura) apresentam menor descontinuidade espacial que os atributos físicos do solo (condutividade hidráulica e resistência do solo à penetração), descrevendo que se o espaçamento de amostragem fosse menor seria possível determinar com maior precisão as zonas de variabilidade espacial destes atributos.
3. As características dendrométricas das árvores de seringueira (diâmetro e altura) apresentam maior estabilidade espacial ao longo do tempo do que os atributos físicos do solo, que são mais suscetíveis ao processo de manejo e às características do solo e clima.

NOTAS

¹ UFRRJ/Instituto Agronomico

² UFRRJ/Instituto Agronomico

³ embrapa-cnpm

⁴ MAEC-AECID - España

REFERÊNCIAS

BRANCALIÃO, S.R. **Efeito da fitomassa do milho sobre as propriedades físicas e químicas de um nitossolo vermelho e na produtividade da soja cultivada em sistemas de semeadura direta em Botucatu-SP**. Botucatu, 2002. 72p. Tese (Doutorado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CAMARGO, O.A., ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: O.A. Camargo, L.R.F. Alleoni, 1997. 132p.

CAMBARDELLA, C.A.; MOOMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEM, D.L.; TURVO, R.F.; KONOPA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science of América Journal**, Madison, v.47, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geostatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p.1151-1159, 2002.

CASTRO, O.M de. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba, 1995. 147p. (Tese de Doutorado) - Escola Superior Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, 1995.

CASTRO, P.R.C. Bases fisiológicas da produção de látex e da estimulação de *Hevea brasiliensis*. In: Bernardes, M.S. (ed.). **Sangria da seringueira**. Piracicaba: ESALQ/USP, p.45-63, 2000.

COUTO, H.T.Z. do; BATISTA, J.L.F.; RODRIGUES, L.C.E. Mensuração e gerenciamento de pequenas florestas. **Documentos Florestais**, Piracicaba, SP, v.5, n.1, p.1-37, nov. 1989.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

GOLDEN SOFTWARE **Surfer 7.0. Contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers**. User's Guide. Golden Software, New York, 1999, 619p.

GONÇALVES, A.C.A., FOLEGATTI, M. V. & VIEIRA, S.R. Padrões de amostragem e intensidade de krigagem na caracterização do armazenamento de água no solo, em área irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 23(3): 485-495, 1999.

GONÇALVES, P.S.; BATAGLIA, O.C.; ORTOLANI, A. A.; FONSECA, F.S. **Manual de Heveicultura para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.78p.

GREGO, R.G.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.169-177, 2005.

IRSG - INTERNATIONAL RUBBER STUDY GROUP. **Rubber Statistical Bulletin**. Wembley, v.61, n.7, 59p, 2007.

ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York, Oxford University Press, 1989. 561p.

KLUTE, A.; DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. Part 1. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.687-732.

MCBRATNEY, A.B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science**, v. 37, p.617- 639, 1986.

ORTOLANI, A.A; PEZZOPANE, J.E.M.; SENTELHAS, P.C. Aspectos climáticos condicionantes da produção da seringueira. In: Bernardes, M. S. (ed). **Sangria da seringueira**. Piracicaba: ESALQ/USP, p.1-20, 2000.

REHFELDT, K.R.; BOGGS, J.M.; GELHAR, L.W. Field study of dispersion in a heterogeneous aquifer 3. Geostatistics analysis of hydraulic conductivity. **Water Resource Research**, v.28, n.12, p.3309-3324, 1992.

VIEIRA, S. R. et al.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 12:211-216, 1988.

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.1, p.203-211, 2008.

SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.937-944, 2004.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. Penetrômetro de impacto IAA/PLANALSUCARStolf: recomendação para seu uso. **STAB**, v.1, n.3, p.18-23, 1983.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v.38, p.45-93, 1985.

VETORAZZI, C.A.; FERRAZ, S.F.B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM A, QUEIROZ DM (eds) **Agricultura de Precisão**. Viçosa, pp. 65-75, 2000.

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

VIEIRA, S.R. Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo. **O Agrônomo**, Campinas, v.47-50, p.125, 1998.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C. & REYNOLDS, W.D. Handbook for geoestatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, J.M. **Tópicos em Ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, 2002. p.1-45.

VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.45, p.1040-1048, 1981.

VIRGENS FILHO, A.C. Exploração de seringais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.28, n.237, p.105-119, 2007.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (ed) **Applications of soil physics**. Academic Press, New York. 1980.