

## Correlação espacial dos atributos químicos do solo com o desenvolvimento da teca em Mato Grosso

Allan Libanio Pelissari<sup>1</sup>, Sidney Fernando Caldeira<sup>2</sup>, Vanderley Severino dos Santos<sup>3</sup>, Joilson Onofre Pereira dos Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná, Av. Pref. Lothário Meissner, 900, Jardim Botânico, Campus III, CEP 80210-170, Curitiba, Paraná, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança, CEP 78060-900, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Av. Zulmira Canavarros, 95, Centro, CEP 78000-000, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

\*Autor correspondente:  
allanpelissari@gmail.com

### Termos para indexação:

*Tectona grandis*  
Variabilidade espacial  
Geoestatística,  
Krigagem

### Index terms:

*Tectona grandis*  
Spatial variability  
Geostatistic  
Kriging

**Resumo** - O objetivo do trabalho foi investigar as correlações espaciais dos atributos químicos do solo com o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis*) no município de Nossa Senhora do Livramento, MT. Foram alocadas 46 parcelas permanentes de 15 m x 30 m e obtidos os valores médios anuais do povoamento do diâmetro a 1,3 m do solo e da altura total do segundo ao nono ano de idade. Também foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-0,20 m, aos dois anos, para a determinação do pH, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, fósforo e potássio disponíveis, para a posterior modelagem dos padrões espaciais, por geoestatística. O diâmetro a 1,3 m do solo e a altura total da teca apresentam maior correlação espacial com o pH e cálcio do solo, além da baixa semelhança espacial com o potássio e magnésio, ausência para o fósforo e relação inversa com o alumínio.

### Histórico do artigo:

Recebido em 17/02/2012  
Aprovado em 27/08/2012  
Publicado em 28/09/2012

### Spatial correlation of soil chemical attributes with the development of teak in Mato Grosso

doi: 10.4336/2012.pfb.32.71.247

**Abstract** - The objective of this study was to investigate the spatial correlations of soil chemical attributes with the development of teak (*Tectona grandis*) in the city of Nossa Senhora do Livramento, Mato Grosso State, Brazil. It was allocated 46 permanent plots of 15 m x 30 m. From the stand it was obtained the mean annual values of diameter at 1.3 m above the ground and total height of second to ninth years of age. Soil samples from 0 to 0.20 m depth were also obtained at the second year, to determine pH, calcium, magnesium and aluminum, phosphorus and potassium for subsequent modeling of spatial patterns by geostatistics. The diameter at 1.3 m and the total height of teak present higher spatial correlation with the chemical soil attributes pH and calcium, low spatial similarity with potassium and magnesium, absence for phosphorus and inverse relationship with aluminum.

## Introdução

Os plantios de espécies florestais de rápido crescimento e de grande capacidade de extração de nutrientes acarretam impactos significativos nas reservas minerais dos solos. Por isso, a busca pela eficiência no planejamento e na gestão florestal envolve o conhecimento das características das espécies cultivadas e do local onde se desenvolvem, visando o adequado manejo nutricional e a manutenção da produtividade da cultura.

No entanto, os métodos tradicionais utilizados para o estudo do desenvolvimento das culturas florestais utilizam uma medida de tendência central, geralmente a média, e uma de dispersão, como a variância, sem considerar as relações espaciais. Assim, à medida que cresce a necessidade por informações detalhadas, consolida-se a utilização de ferramentas aplicadas pela silvicultura de precisão, como a geoestatística, possibilitando intervenções localizadas e a melhoria na eficiência da aplicação de insumos, que, por ventura, reduzam os custos de produção e os impactos ambientais (Vettorazzi & Ferraz, 2000).

A geoestatística é fundamentada no estudo de uma função espacial numérica que varia de um local para outro com continuidade e cujos valores são relacionados com a posição espacial que ocupam (Faraco et al., 2008), permitindo a estimativa de uma determinada variável em locais não amostrados e a aplicação em mapeamentos, planejamentos de amostragens e modelagens espaciais (Gomes et al., 2007).

A teca (*Tectona grandis* L.f.) é uma espécie florestal considerada, atualmente, uma alternativa às madeiras de alto valor econômico para o suprimento sustentável das indústrias de base florestal (Caldeira et al., 2000; Drescher, 2004), e com pleno desenvolvimento em uma grande variedade de solos, principalmente os de textura franco-arenosa a argilosa, profundos e férteis (Tanaka et al., 1998; Ombina, 2008).

Entre os principais atributos químicos do solo, de influência direta no desenvolvimento da teca, pode-se destacar o pH, o cálcio e o potássio e outros, como o magnésio e o fósforo, os quais, em baixos níveis, atendem às exigências da espécie. Também é importante o conhecimento sobre os efeitos nocivos do alumínio trocável (Matricardi, 1989; Tanaka et al., 1998; Castellanos, 2006).

Desta forma, o objetivo do trabalho foi investigar as correlações espaciais dos atributos químicos do solo e as variáveis que influenciam o desenvolvimento da teca, tais como o diâmetro a 1,3 m do solo e a altura total, em um povoamento florestal no município de Nossa Senhora do Livramento, estado de Mato Grosso.

## Material e métodos

O estudo foi desenvolvido em um povoamento homogêneo de teca, com 213 ha implantados em 1999, no espaçamento 3 m x 3 m, na Fazenda Campina, da empresa Teca do Brasil Ltda., localizada no município de Nossa Senhora do Livramento, estado de Mato Grosso, entre as coordenadas geográficas 16°13'30''S a 16°13'50''S e 56°22'30''W a 56°24'30''W.

O clima da região é do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (Peel et al., 2007), com precipitação média de 1.300 mm ano<sup>-1</sup>, temperatura média anual de 25 °C e umidade relativa do ar de 70% a 75% (Campello Júnior et al., 1991). O relevo é suavemente ondulado e o solo é classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico (Santos et al., 2006) de textura franco-argilo-arenosa. Não houve adubação no preparo do solo ou durante a condução do povoamento. As desramas ocorreram a partir do segundo ano após o plantio e os desbastes, do tipo seletivo, foram executados aos cinco e aos oito anos, com a remoção de 40% e 33%, respectivamente, do número de árvores por hectare.

Foram alocadas sistematicamente 46 parcelas permanentes de 15 m x 30 m (450 m<sup>2</sup>), de acordo com a intensidade de amostragem determinada para o inventário florestal. Dessas, foram obtidos os valores médios anuais do diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e da altura total (Ht) a partir do segundo ano de idade do povoamento, quando os indivíduos apresentaram altura superior a 1,3 m, com a avaliação até os nove anos. Também foram coletadas amostras de solo no centro geograficamente referenciado de cada parcela, aos dois anos de idade do povoamento, na profundidade de 0-0,20 m, correspondente ao volume de solo onde grande parte do sistema radicular da teca está presente, de acordo com Matricardi (1989). Foram determinados o pH em H<sub>2</sub>O, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al), segundo Claessen (1997). A análise descritiva das variáveis é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1.** Análise descritiva do diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e da altura total (Ht), para a teca de dois a nove anos de idade, e dos atributos químicos do solo.

Variável	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coeficiente			Normalidade
				Variação	Assimetria	Curtose	
DAP (2 anos)	5,34	5,45	0,88	16,52	-0,34	-0,66	0,97*
DAP (3 anos)	9,45	9,78	0,98	10,37	-0,58	-0,88	0,92 <sup>ns</sup>
DAP (4 anos)	12,17	12,52	1,03	8,50	-0,73	-0,62	0,90 <sup>ns</sup>
DAP (5 anos)	13,96	14,16	1,04	7,48	-0,94	0,18	0,91 <sup>ns</sup>
DAP (6 anos)	16,21	16,57	1,06	6,53	-1,09	0,15	0,86 <sup>ns</sup>
DAP (7 anos)	17,72	18,16	1,82	10,25	-2,63	8,09	0,71 <sup>ns</sup>
DAP (8 anos)	18,88	19,21	1,22	6,49	-0,94	0,14	0,91 <sup>ns</sup>
DAP (9 anos)	20,56	20,82	1,28	6,21	-0,78	-0,21	0,93 <sup>ns</sup>
Ht (2 anos)	4,59	4,67	0,88	19,08	-0,28	-0,56	0,98*
Ht (3 anos)	8,30	8,39	1,19	14,28	0,11	-0,78	0,98*
Ht (4 anos)	10,73	10,91	1,45	13,49	-0,08	-0,92	0,97*
Ht (5 anos)	12,20	12,41	1,14	9,31	-0,74	0,51	0,94 <sup>ns</sup>
Ht (6 anos)	13,81	14,12	1,30	9,41	-1,03	0,40	0,90 <sup>ns</sup>
Ht (7 anos)	15,56	15,58	0,25	1,61	-0,83	0,81	0,95 <sup>ns</sup>
Ht (8 anos)	16,98	17,10	0,47	2,74	-1,11	0,51	0,88 <sup>ns</sup>
Ht (9 anos)	17,68	17,80	0,46	2,61	-1,12	0,43	0,88 <sup>ns</sup>
pH	5,93	6,00	0,42	7,02	-0,48	0,69	0,96*
P	12,08	9,65	7,15	59,15	1,19	0,67	0,87 <sup>ns</sup>
K	135,92	133,00	35,56	26,16	0,34	-0,24	0,97*
Ca	4,99	5,80	1,98	39,79	-0,86	-0,49	0,86 <sup>ns</sup>
Mg	1,79	1,70	0,79	44,10	0,90	0,26	0,92 <sup>ns</sup>
Al	0,10	0,01	0,29	293,51	3,92	15,45	0,38*

\* = significativo a 5% pelo teste de Shapiro-Wilk; e <sup>ns</sup> = não significativo.

Para modelar os padrões espaciais foi utilizada a geoestatística com o ajuste de semivariogramas, sendo testados os modelos esférico, exponencial, gaussiano e linear, com o programa GS+ 7.0 versão demonstração (Robertson, 2008). A seleção dos modelos foi baseada no maior coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e na validação cruzada, a qual, quando ideal, fornece um coeficiente linear (a) igual a um; coeficiente angular (b) igual a zero; e coeficiente de determinação da validação cruzada ( $R^2_{vc}$ ) igual a um. Além disso, a fim de verificar a presença de anisotropia, os semivariogramas foram executados na direção de  $0^\circ$  do eixo X,  $90^\circ$  do eixo Y e  $45^\circ$  e  $-45^\circ$  nas diagonais (Vieira, 2000). Também foram calculados os graus de dependência espacial (GD) conforme Cambardella et al. (1994), sendo: forte, se  $GD < 25\%$ ; moderada, entre  $26\% \leq GD \leq 75\%$ ; e fraca, se  $GD > 75\%$ .

A interpolação e a espacialização foram realizadas pela krigagem ordinária pontual, que considera a dependência espacial e estima, sem tendência e com variância mínima, a confecção de mapas (Corá & Beraldo, 2006), sendo estes elaborados com o programa Surfer 8.0 versão demonstração (Golden Software, 2002), utilizando a média de cada variável e o desvio padrão para a determinação das classes.

## Resultados e discussão

Os modelos esférico e gaussiano proporcionaram os melhores ajustes para os atributos químicos do solo aos dois anos de idade do plantio (Tabela 2). Os atributos K, Ca e Mg apresentaram forte grau de dependência espacial (GD), enquanto para pH, P e Al, o GD foi moderado. Possivelmente, as variações no GD podem estar relacionadas com os fatores intrínsecos de formação do solo, como o material de origem, relevo, clima, micro-organismos e tempo, conforme Cavalcante et al. (2007).

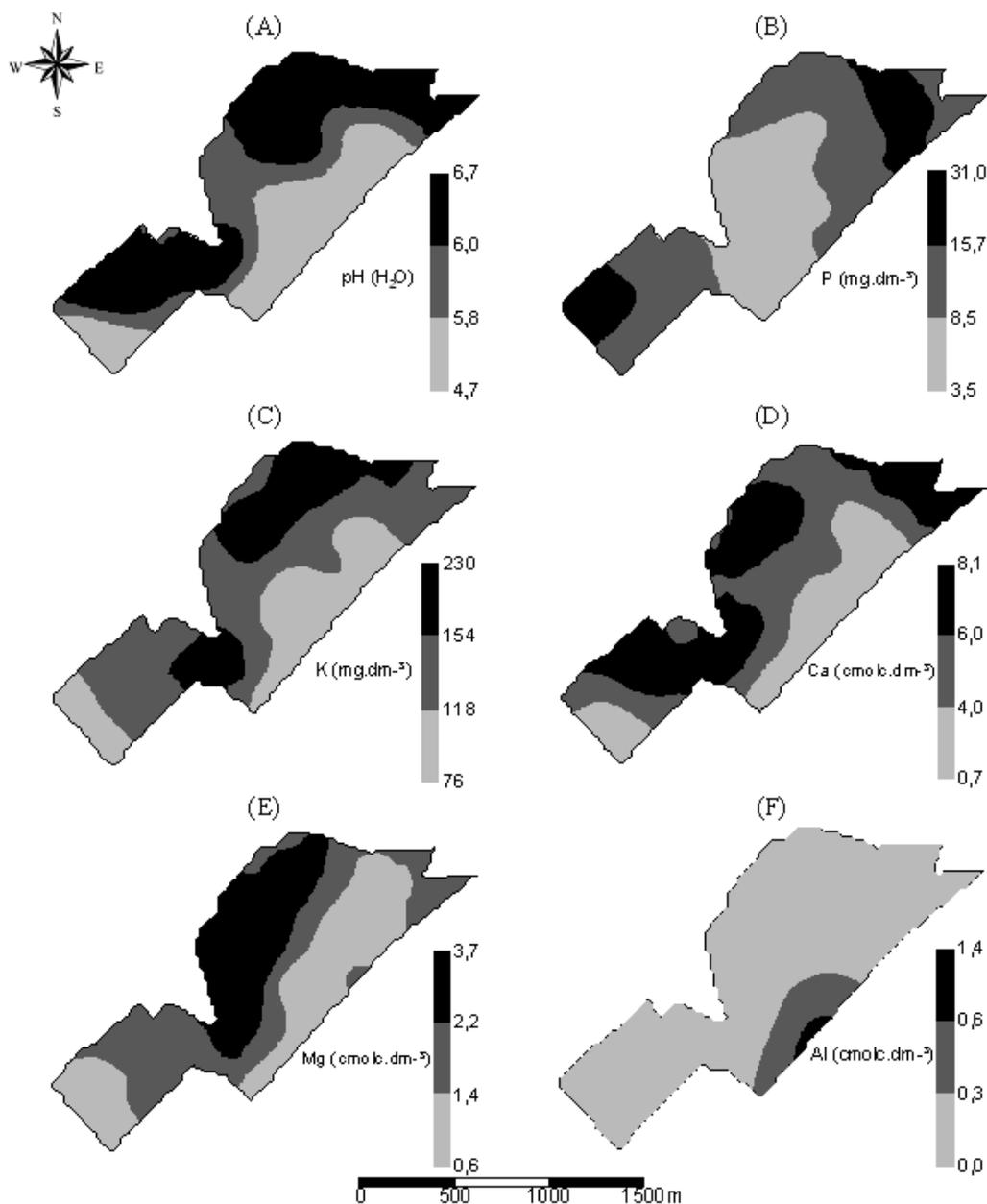
Os ajustes dos modelos foram eficientes, com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,9 e coeficientes lineares (a) próximos a zero, exceto para o potássio. O aumento do coeficiente linear superestima valores baixos da variável e subestima valores altos, de acordo com Vieira (2000). No entanto, este apresentou elevados coeficientes angulares (b). Enquanto o coeficiente de determinação da validação cruzada ( $R^2_{vc}$ ) variou de 0,11 a 0,58.

Os semivariogramas foram avaliados em diferentes direções e não foram detectadas anisotropias. Assim, os seus parâmetros foram utilizados para as estimativas da distribuição espacial dos atributos químicos do solo na área do povoamento de teca (Figura 1).

**Tabela 2.** Parâmetros dos semivariogramas ajustados para os atributos químicos do solo, na profundidade de 0-0,20 m, aos dois anos de idade do povoamento de teca.

Atributo	Modelo	$C_0$	C	A (m)	GD	$R^2$	Validação cruzada		
							a	b	$R^2_{vc}$
pH	Gaussiano	0,081	0,188	381,00	Moderado	0,95	0,180	0,968	0,29
P	Gaussiano	0,108	0,429	595,65	Moderado	0,97	3,470	0,769	0,23
K	Esférico	178,0	1458,0	700,00	Forte	0,94	17,49	0,857	0,41
Ca	Esférico	0,060	4,688	798,00	Forte	0,97	0,280	0,935	0,56
Mg	Esférico	0,037	0,796	791,00	Forte	0,96	0,040	0,958	0,58
Al	Esférico	0,049	0,114	513,00	Moderado	0,91	0,040	0,646	0,11

$C_0$  = efeito pepita; C = patamar; A = amplitude; GD = grau de dependência espacial;  $R^2$  = coeficiente de determinação; a = coeficiente linear; b = coeficiente angular; e  $R^2_{vc}$  = coeficiente de determinação da validação cruzada.



**Figura 1.** Distribuição espacial do pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alumínio (Al) do solo, para o povoamento de teca.

De modo geral, os atributos químicos do solo apresentaram valores superiores aos recomendados por Mollinedo Garcia (2003), Vaides López (2004) e González (2010), para plantios de teca. No entanto, foi observada uma grande amplitude numérica e espacial, o que pode estar relacionado com a topografia suavemente ondulada da área de estudo. Isto evidencia os riscos do uso de valores médios para o manejo da fertilidade do

solo em plantios de teca, visto que, em alguns locais a aplicação de fertilizante será inferior à dosagem necessária e, em outros, será excessiva. Assim como relatado por Corá et al. (2004), Rufino et al. (2006), Cavalcante et al. (2007) e Silva et al. (2007) para diferentes culturas agrícolas e florestais.

Os ajustes dos semivariogramas para o diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e altura total (Ht), dos dois aos nove

anos de idade do plantio (Tabela 3), demonstraram que o desenvolvimento da teca apresenta dependência espacial e predominância de melhores ajustes com o modelo gaussiano. Foram verificados baixos valores de  $C_0$ , o que demonstra a satisfatoriedade dos ajustes dos semivariogramas e diferentes valores de alcance (A), os quais indicam uma grande heterogeneidade das variáveis (Chig et al., 2008).

Os ajustes dos semivariogramas demonstraram moderada dependência espacial, semelhantes aos observados por Kanega Júnior et al. (2007) em povoamentos de *Eucalyptus* sp. com 2,5 a 4,5 anos de idade. Isso indica a necessidade de uma análise específica da continuidade espacial das variáveis da teca em diferentes idades.

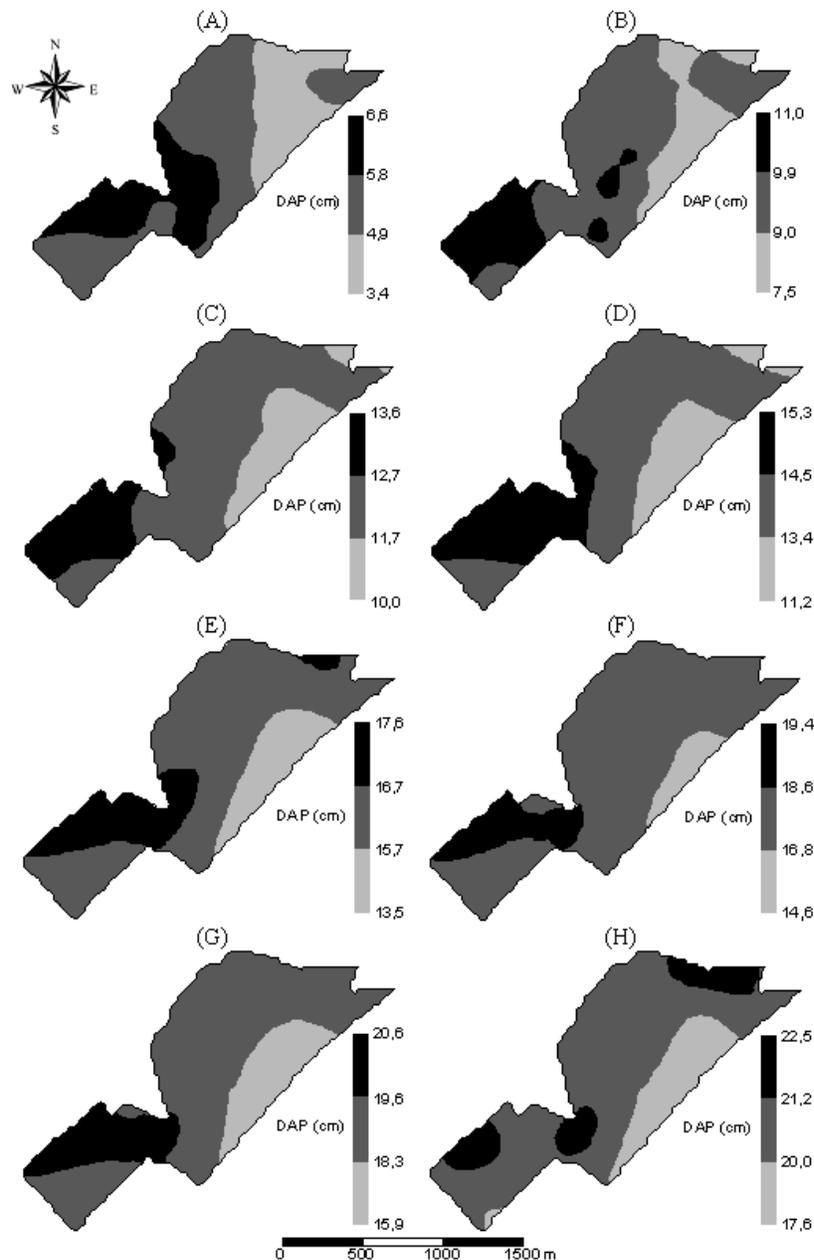
**Tabela 3.** Parâmetros dos semivariogramas ajustados para o diâmetro a 1,3 m do solo e altura total, para a teca de dois a nove anos de idade.

Idade (anos)	Modelo	$C_0$	C	A (m)	GD (%)	$R^2$	Validação cruzada		
							a	b	$R^2_{vc}$
Diâmetro a 1,3 m do solo (DAP)									
2	Esférico	0,323	0,884	1.200,00	Moderado	0,98	0,230	0,956	0,35
3	Exponencial	0,345	0,948	275,00	Moderado	0,92	1,260	0,866	0,21
4	Exponencial	0,469	1,127	406,00	Moderado	0,97	1,680	0,861	0,21
5	Gaussiano	0,446	1,280	618,75	Moderado	0,98	3,720	0,733	0,20
6	Gaussiano	0,659	1,319	468,00	Moderado	0,97	2,030	0,873	0,21
7	Gaussiano	0,765	1,531	508,00	Moderado	0,99	1,700	0,904	0,22
8	Gaussiano	0,856	1,811	553,00	Moderado	0,99	0,230	0,987	0,31
9	Gaussiano	0,913	1,827	387,00	Moderado	0,98	2,410	0,881	0,21
Altura total (Ht)									
2	Gaussiano	0,415	0,876	620,55	Moderado	0,95	0,300	0,936	0,34
3	Gaussiano	0,727	1,455	442,00	Moderado	0,93	0,020	0,996	0,37
4	Gaussiano	0,746	2,153	605,76	Moderado	0,93	1,150	0,892	0,41
5	Gaussiano	0,790	1,494	668,00	Moderado	0,97	2,090	0,828	0,21
6	Gaussiano	0,839	1,754	320,00	Moderado	0,95	0,580	0,955	0,25
7	Gaussiano	0,023	0,063	247,58	Moderado	0,98	2,160	0,861	0,25
8	Gaussiano	0,101	0,267	532,00	Moderado	0,99	0,040	0,997	0,41
9	Gaussiano	0,120	0,246	496,00	Moderado	0,99	1,470	0,916	0,22

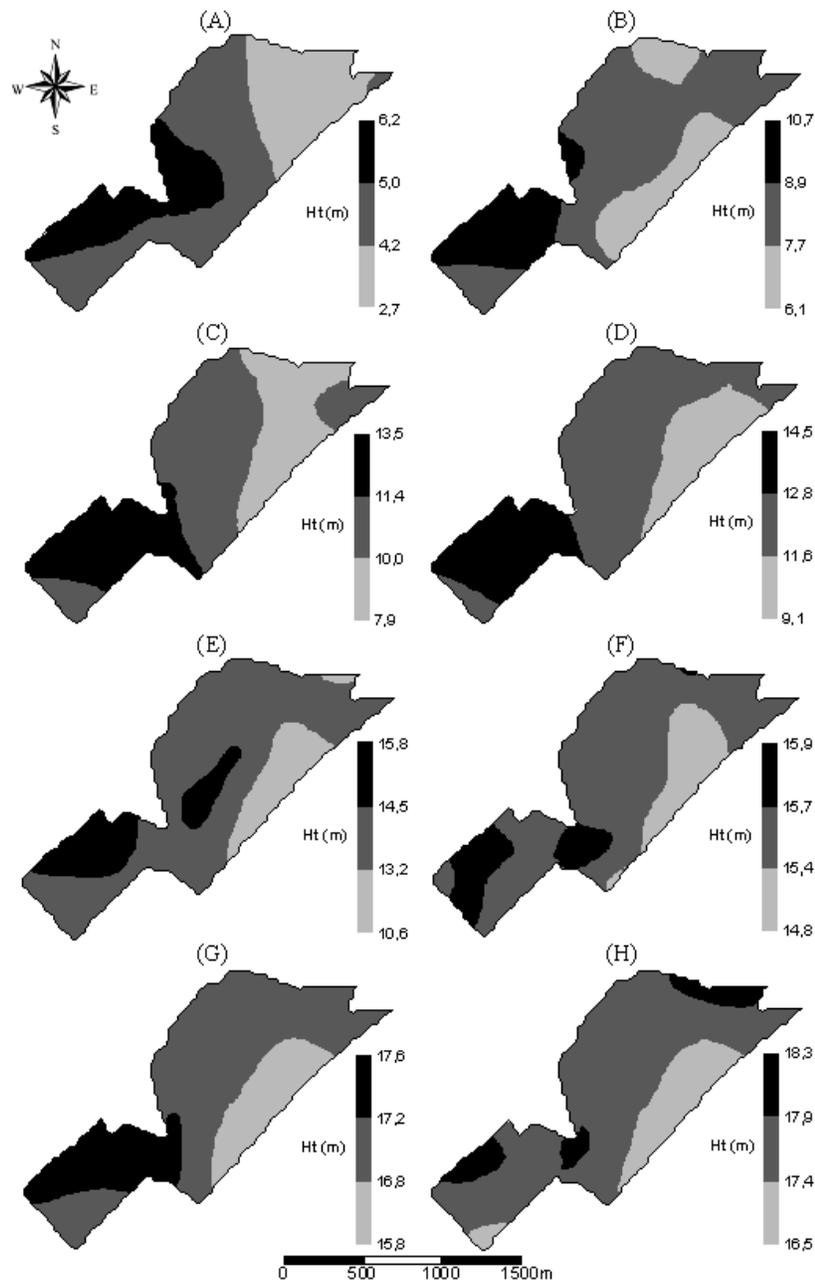
Os valores dos coeficientes de regressão ( $R^2$ ) dos semivariogramas foram acima de 0,92 e superiores aos observados por Lima et al. (2010) em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* de 20 anos de idade, com grade de amostragem de 84 pontos alocados sistematicamente, sendo o  $R^2$  de 0,77 para o perímetro à altura do peito e 0,73 para a altura total. A validação cruzada demonstrou bons ajustes, confirmando que os modelos foram eficientes para

as estimativas do desenvolvimento da teca em locais não amostrados.

Ajustados os semivariogramas, constatada a dependência espacial entre as amostras e a ausência de anisotropias, os valores das variáveis foram interpolados por meio da krigagem ordinária, e então, confeccionada a distribuição espacial do diâmetro a 1,3 m do solo (Figura 2) e da altura total (Figura 3) dos dois anos aos nove anos de idade.



**Figura 2.** Distribuição espacial do diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) para a teca de dois (A) a nove (H) anos de idade.



**Figura 3.** Distribuição espacial da altura total (Ht) para a teca de dois (A) a nove (H) anos de idade.

A distribuição espacial do DAP ficou caracterizada como pouco alterada entre as idades, apenas com mudanças mais significativas aos dois (Figura 2A) e aos três anos (Figura 2B). Para a altura total foram constatados comportamentos variáveis da espacialização em relação às idades. De maneira geral, as regiões leste e sudoeste apresentaram, respectivamente, os menores e

maiores valores das variáveis da teca, com semelhança espacial aos atributos pH (Figura 1A) e Ca (Figura 1D).

A maior similaridade com o pH do solo deve-se ao fato deste atributo ser relevante para o crescimento das plantas, pois está diretamente relacionado à disponibilidade de nutrientes e é um potencial indicador da qualidade do solo (Lima et al., 2010), enquanto

para o Ca, a correlação espacial constatada se deve ao caráter calcícola da teca, sendo altamente exigente neste elemento (Matricardi, 1989; Márquez et al., 1993; Tanaka et al., 1998).

Não foi observada alta semelhança espacial das variáveis da teca aos dois e aos três anos de idade com os atributos químicos do solo. Neste período, o desenvolvimento da espécie está efetivamente mais relacionado às práticas de implantação, como o preparo do solo, além da disponibilidade de espaço aéreo e radicular. Apesar das operações de desrama iniciarem aos dois anos de idade, a massa vegetal desramada é pequena e há muito espaço de crescimento disponível, pois, a copa formada está restrita apenas às folhas aderidas ao fuste principal. A partir dos três anos, a emissão de galhos é mais intensa e efetivamente inicia-se a formação da copa, com o aumento do volume de biomassa desramada na segunda operação e, de forma crescente, com a terceira desrama aos quatro anos. Nesta idade, as copas apresentam um contato maior e, finalmente, aos cinco anos é observado o fechamento do dossel.

Além disso, a espacialização diferenciada nos primeiros anos de plantio indica que, no período de estabelecimento, a taxa de acúmulo de nutrientes pelas árvores é pequena e, somente após a plena adaptação, segue-se o intenso crescimento e acúmulo de nutrientes, com elevadas taxas de absorção, que se relacionam diretamente com a idade (Gonçalves et al., 2000). Assim, à medida que aumenta o processo de competição, os fatores do sítio se manifestam na forma de diferenças espaciais que afetam a estrutura da continuidade espacial do povoamento florestal (Kanega Júnior et al., 2007).

Não houve similaridade espacial das variáveis da teca com o P do solo (Figura 1B). No entanto, ficou evidente que o menor crescimento da teca se concentrou na região leste da área de estudo, onde foram observados os menores níveis de pH (Figura 1A), K (Figura 1C), Ca (Figura 1D) e Mg (Figura 1E) no solo, além da relação inversa com o Al (Figura 1F).

De modo geral, não foi observada uma correlação espacial elevada entre as variáveis de solo e da teca, semelhante ao constatado por Rufino et al. (2006) em dois povoamentos de *Eucalyptus* sp. com 0,8 e 1,5 anos de idade. Isso, segundo Montezano et al. (2006), se deve à impossibilidade de se isolar ou medir todos os fatores bióticos e abióticos que influenciam o desenvolvimento de uma cultura nos estudos em escala de campo.

## Conclusões

É possível estabelecer as correlações espaciais entre o desenvolvimento da teca e os atributos químicos do solo, o que possibilita intervenções silviculturais precisas e direcionadas para as diferentes condições edáficas, visando a maximização da produção ao longo da rotação da cultura.

## Referências

- CALDEIRA, S. F.; CALDEIRA, S. A. F.; MENDONÇA, E. A. F. de; DINIZ, N. N. Caracterização e avaliação da qualidade dos frutos de teca (*Tectona grandis* L.f.) produzidos no Mato Grosso. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 22, n. 1, p. 216-224, 2000.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, Wisconsin, v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- CAMPELLO JÚNIOR, J. H.; PRIANTE FILHO, N.; CASEIRO, F. T. Caracterização macroclimática de Cuiabá. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 3., 1991, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL/NEMA, 1991. p. 542-552.
- CASTELLANOS, A. F. R. **Efecto del establecimiento de plantaciones forestales de Teca (*Tectona grandis* L.f.) en áreas de potrero sobre las características del suelo en Petén, Guatemala**. 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Agroforesteria Tropical) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba.
- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. de. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 37, n. 2, p. 394-400, 2007.
- CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; NOVAES FILHO, J. P.; RODRIGUES, L. C. M.; JOHNSON, M. S.; WEBER, O. L. dos S. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. **Acta Amazonica**, Manaus, AM, v. 38, n. 4, p. 715-722, 2008.
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 1).
- CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 1013-1021, 2004.
- CORÁ, J. E.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p. 374-387, 2006.

- DRESCHER, R. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn. F., em povoamentos jovens de duas regiões do Estado de Mato Grosso.** 2004. 133 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- FARACO, M. A.; URIBE-OPAZO, M. A.; SILVA, E. A. A. da; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, p. 463-476, 2008.
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer user's guide.** Colorado: Golden Software, 2002. 664 p.
- GOMES, N. M.; SILVA, A. M. da; MELLO, C. R. de; FARIA, M. A. de; OLIVEIRA, P. M. de. Métodos de ajuste e modelos de semivariograma aplicados ao estudo da variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 435-443, 2007.
- GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. de M.; BENEDETTI, V. (Org.). **Nutrição e Fertilização Florestal.** Piracicaba, SP: IPEF, 2000. p. 01-57.
- GONZÁLEZ, S. A. S. **Relación del suelo con el crecimiento inicial y contenido foliar de teca (*Tectona grandis*), y adaptación de leguminosas para control de arvenses bajo un sistema fertirriego en Campeche, México.** 2010. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Ecológica) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba.
- KANEGAE JUNIOR, H.; MELLO, J. M. de; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de. Avaliação da continuidade espacial de características dendrométricas em diferentes idades de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 859-866, 2007.
- LIMA, C. G. da R.; CARVALHO, M. de P. e; NARIMATSU, K. C. P.; SILVA, M. G. da; QUEIROZ, H. A. de. Atributos físico-químicos de um Latossolo do cerrado brasileiro e sua relação com características dendrométricas do eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, p. 163-173, 2010.
- MÁRQUEZ, O.; HERNÁNDEZ, R.; TORRES, A.; FRANCO, W. Cambios en las propiedades físico-químicas de los suelos en una cronosecuencia de *Tectona grandis*. **Turrialba**, v. 43, n. 1, p. 37-41, 1993.
- MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores de solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L. F.) cultivada na grande Cáceres - Mato Grosso.** 1989. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- MOLLINEDO GARCIA, M. S. **Relación suelo-planta, factores de sitio y respuesta a la fertilización, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis* L. f.), en la zona Oeste, Cuenca del canal de Panamá.** 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agroforestería Tropical) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba.
- MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homogeneamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, p. 839-847, 2006.
- OMBINA, C. A. **Soil characterization for teak (*Tectona grandis*) plantations in Nzara District of South Sudan.** 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Université des Sciences et Techniques de Masuku, Gabão.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen–Geiger climate classification. **Hydrology Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633–1644, 2007.
- ROBERTSON, G. P. **GS+ geostatistics for the environmental sciences.** Plainwell: Gamma Design Software, 2008. 179 p.
- RUFINO, T. M. C.; THIERSCH, C. R.; FERREIRA, S. O.; KANEGAE JUNIOR, H.; FAIS, D. Uso da Geoestatística no estudo da relação entre variáveis dentrométricas de povoamentos de *Eucalyptus* sp. e atributos do solo. **Ambiência**, Guarapuava, v. 2, n. 1, p. 83-93, 2006.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. da (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.
- SILVA, F. M. da; SOUZA, Z. M. de; FIGUEIREDO, C. A. P. de; MARQUES JÚNIOR, J.; MACHADO, R. V. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 37, n. 2, p. 401-407, 2007.
- TANAKA, N.; HAMAZAKI, T.; VACHARANGKURA, T. Distribution, growth and site requirements of teak. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Tokyo, v. 32, p. 65-77, 1998.
- VAIDES LÓPEZ, E. E. **Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de teca (*Tectona grandis* L.f.), en plantaciones forestales de diferentes regiones en Guatemala.** 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciencias sobre Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba.
- VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Silvicultura de precisão: uma nova perspectiva para o gerenciamento de atividades florestais. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M. P.; QUEIROZ, D. M. **Agricultura de precisão.** Viçosa, MG: Editora UFV, 2000. p. 65-75.
- VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Org.). **Tópicos em ciência do solo:** v. 1. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 01-54.