

CONTINUIDADE ESPACIAL DE CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DE PINUS (*Pinus pinaster* Aiton) E DE ATRIBUTOS DO SOLO.

SPATIAL CONTINUITY OF DENDROMETRICS CHARACTERISTICS OF PINUS (*Pinus pinaster* Aiton) AND SOIL ATTRIBUTES.

GLÉCIO M. SIQUEIRA^{1,*}
JORGE DAFONTE DAFONTE¹;
EVA VIDAL VÁZQUEZ²
ANTONIO PAZ GONZÁLEZ²
RAFAEL MONTANARI²

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação e a continuidade espacial de características dendrométricas de pinus (*Pinus pinaster* Aiton) e de atributos do solo. As amostragens foram realizadas em uma área de 0,25 ha cultivada com *Pinus pinaster* em Muras (Província de Lugo, Galícia, Espanha). Os atributos amostrados foram: o diâmetro da base das árvores (DB); o diâmetro a 0,30 m acima da base (D30); o diâmetro a altura do peito (a 1,3 m de altura, DAP), altura das árvores (ALT), profundidade do perfil do solo (PROF) e a condutividade elétrica aparente do solo a 0,3 m de profundidade ($CE_a - H$) e a 1,5 m de profundidade ($CE_a - V$). O uso da geoestatística permitiu caracterizar a variabilidade espacial de todos os atributos em estudo, com exceção da profundidade da rocha que apresentou efeito pepita puro. Os dados apresentaram moderada razão de dependência espacial entre amostras. Os mapas de variabilidade espacial não demonstram uma relação entre os mapas dos atributos de solo e planta estudados.

Palavras-Chave: geoestatística; silvicultura de precisão; condutividade elétrica aparente do solo.

¹Universidad de Santiago de Compostela (USC), Escuela Politécnica Superior, 27002, Lugo, España.

* Bolsista MAEC-AECID (Autor correspondente).

² Universidad de A Coruña (UDC), Facultad de Ciencias, A Zapateira s/n, 15071 A. Coruña, España.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the relationship and spatial pattern of dendrometrics characteristics of pine (*Pinus pinaster* Aiton) and soil properties. The measurements were made at 0.25 ha area planted with *Pinus pinaster* in Muras (Province of Lugo, Galicia, Spain). The soil properties sampled were: the tree diameter at base (DB), the diameter at 0.30 m height (D30), the diameter at breast height (1.3 m height, DAP), height trees (ALT), depth of the soil profile (PROF) and the soil apparent electric conductivity to 0.3 m depth (CE_a -H) and 1.5 m depth (CE_a -V). The semivariogram allowed to detect the spatial dependence in all studied properties, except for the depth of the soil profile that showed pure nugget effect. Data showed moderate spatial dependence ratio between samples. It was not found a similar spatial pattern between the soil and plant studied properties maps.

Keywords: geostatistics; precision forestry; soil apparent electric conductivity.

INTRODUÇÃO

De acordo com NANOS et al. (2004) os sistemas silviculturais são estruturados espacialmente em distintas escalas geográficas, e dependentes da forma de cultivo ou mesmo do processo de regeneração natural. Desta maneira, a variabilidade espacial dos sistemas florestais passa a ser considerada por meio do uso de técnicas geoestatísticas, incorporando ao processo de manejo uma série de informações que até então eram ignoradas.

NANOS & MONTERO (2002) ressaltam a importância do estudo da variabilidade espacial do diâmetro na altura do peito, como sendo uma importante ferramenta para a análise do comportamento espacial dos sistemas silviculturais. No entanto, deve-se considerar que outras características dendrométricas das árvores devem ser analisadas para se assegurar um nível de precisão adequado. Por outra parte, é preciso inserir no processo de manejo informações de clima e de solo para se determinar como estas influenciam o crescimento e a relação entre as características dendrométricas das árvores.

Nesse sentido, a condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) medida por indução eletromagnética é um método não invasivo e tem sido utilizada com frequência nos últimos anos, devido a sua correlação com outras propriedades do solo como a textura, umidade, matéria

orgânica, salinidade, camadas de impedimento, etc. (DOOLITTLE et al., 1994; LESCH et al., 2005), que por sua vez estão relacionadas com o desenvolvimento dos cultivos.

Desta maneira, este trabalho teve como objetivo avaliar a continuidade espacial de características dendrométricas de *Pinus pinaster* (Aiton) e da condutividade elétrica aparente e profundidade do solo em Muras (Província de Lugo, Galícia, Espanha).

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo possui aproximadamente 0,25 ha e está localizada na propriedade "Pazos de Viveiró" no município de Muras norte da Província de Lugo (Galícia, Espanha), cujas coordenadas geográficas são: latitude 43° 27' 47" N, longitude 7° 36' 58" W com uma altitude média de 930 m. O solo da área de estudo é classificado como Umbrisol Húmico, cuja rocha matriz apresenta-se entre 0,25-0,50 m de profundidade com textura franco-arenosa de acordo com FAO-ISRIC (1994). O material geológico da área de estudo de acordo com IZCO SEVILLANO et al. (2001) é composto predominantemente por materiais metamórficos e afloramentos graníticos. As principais características físicas e químicas do solo da área de estudo na camada de 0,0-0,2 m

de profundidade foram determinadas de acordo com metodologia descrita por CAMARGO et al. (1986).

O clima da região segundo a classificação de Koppen é do tipo Cfb, sendo caracterizado pelas baixas temperaturas entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ de mínima e 25 ° de máxima, com uma temperatura média anual de $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ e com uma precipitação média anual de 1.800 mm.

A área de estudo vem sendo manejada com *Pinus pinaster* (Aiton) plantados no ano de 1994 com um espaçamento de 3 m x 3 m. As medidas de solo e planta foram realizadas em 26 de janeiro de 2007 em 122 pontos de amostragem distribuídos ao acaso na área de estudo (Figura 1) e georeferenciados utilizando um GPS RTK (StarFire de John Deere^o, HUSO29T UTM WGS84).

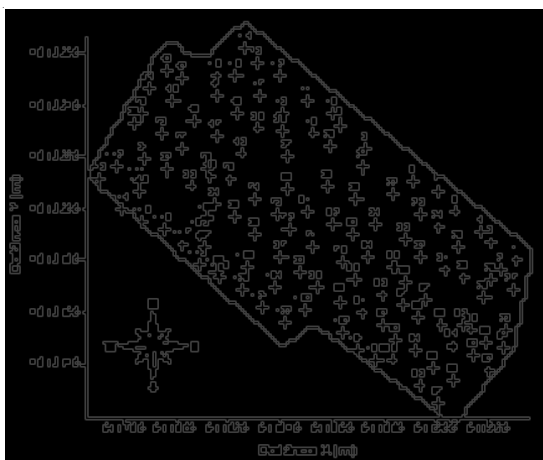


FIGURA 1. Esquema de amostragem dos atributos

de planta e solo para a área de estudo.

As características dendrométricas avaliadas foram: o diâmetro da base das árvores (DB); o diâmetro a 0,30 m acima da base (D30); o diâmetro a altura do peito (a 1,3 m de altura, DAP) e a altura das árvores (ALT). Os atributos do solo analisados foram: a profundidade do perfil do solo (PROF) e a condutividade elétrica aparente do solo a 0,3 m de profundidade (CE_a-H) e a 1,5 m de profundidade (CE_a-V).

*A citação de marcas comerciais não indica recomendação dos autores.

O diâmetro da base das árvores (DB, m), o diâmetro a 0,30 m acima da base (D30, m) e o diâmetro a altura do peito (a 1,3 m de altura, DAP, m) foram medidos utilizando uma fita métrica. A altura das árvores (ALT, m) foi determinada utilizando uma prancheta dendrométrica. A profundidade do perfil do solo foi determinada por meio de tradagens, identificando a profundidade do solo até o encontro com a rocha matriz.

A condutividade elétrica aparente do solo (CE_a , mS m^{-1}) foi determinada utilizando um equipamento de indução eletromagnética EM38-DD fabricado por GEONICS Ltda^o. O equipamento é composto por duas unidades de leitura uma na posição horizontal que mede a condutividade elétrica aparente até 0,30 m de profundidade (CE_a-H) e uma unidade na posição vertical que mede a condutividade elétrica aparente até 1,5 m de profundidade (CE_a-V) (GEONICS, 2005).

Os dados foram analisados por meio do conjunto de programas GEOSTAT (VIEIRA et al., 2002) que favoreceu a determinação dos principais momentos estatísticos (média, valor mínimo, valor máximo, coeficiente de variação-CV, assimetria e curtose) e a modelagem da variabilidade espacial dos dados por meio do semivariograma experimental (Equação 1), seguindo os pressupostos da hipótese intrínseca da geoestatística (VIEIRA, 2000): onde a semivariância é estimada a partir de $\hat{\gamma}^*(h)$ 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.

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

Uma vez determinada a variabilidade espacial por meio do semivariograma, os mesmos foram ajustados a três modelos matemáticos (esférico, exponencial e gaussiano), sendo o melhor ajuste escolhido em função da técnica de "jack-knifing", conforme apresentado por CARVALHO et al. (2002). Desta maneira, foi possível determinar os parâmetros de ajuste do semivariograma: efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1) e alcance (a). A razão de dependência espacial (RD, %) foi determinada de acordo CAMBARDELLA et al. (1994), onde: < 25 % forte dependência espacial; de 25 a 75 % moderada dependência espacial; > 75 % fraca dependência espacial. O programa KRIGE (VIEIRA et al., 2002) foi utilizado para fazer a interpolação dos dados por meio da técnica de krigagem sem tendência e com variância mínima.

O programa SURFER 7.0 (GOLDEN SOFTWARE, 1999) foi utilizado para espacialização dos dados interpolados por meio do programa KRIGE para os atributos que apresentaram dependência espacial.

RESUSTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as principais características físicas e químicas do solo da área de estudo. Dentre as características apresentadas ressaltamos os valores de matéria orgânica (MO = 85,00 g dm⁻³), pH (4,1), H+Al (150,00 mmol_c dm⁻³) e porcentagem de saturação de bases (V% = 14,00 %) que indicam a presença de elevada acidez do solo. De acordo com FUENTES YAGÜE (2002) a presença de elevada acidez do solo nesta zona é devido aos elevados índices pluviométricos que contribui para a lixiviação/precipitação do cálcio da camada arável. O elevado índice de precipitação pluviométrico da área de estudo, aliado as baixas temperaturas e a pouca profundidade do solo permitem um descenso da taxa de decomposição da MO do solo (LERÓS et al., 2000), associada as condições de hidromorfia da área de estudo (IZCO SEVILLANO et al., 2001).

TABELA 1. Características físicas e químicas na camada de 0,0-0,2 m de profundidade para o solo da área de estudo.

Composição granulométrica														
Argila	Silte	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Classificação textural									
9,1 %	24,7 %	56,2 %	27,9 %	28,2 %	Franco-arenosa									
Características químicas														
MO	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%	B	Cu	Fe	Mn	Zn
dm ⁻³	---	mg dm ⁻³	-----	-----	mmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	%	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----
5,0	4,1	58,0	1,5	18,0	4,0	150	23,5	173,1	14,0	0,51	0,5	175,0	5,2	5,3

* A citação de marcas comerciais não indica recomendação dos autores.

MO: matéria orgânica; **P:** fósforo; **K:** potássio; **Ca:** cálcio; **Mg:** magnésio; **H+Al:** acidez potencial; **SB:** soma das bases; **CTC:** capacidade de troca catiônica; **V%:** porcentagem de saturação; **B:** boro; **Cu:** cobre; **Fe:** ferro; **Mn:** manganês; **Zn:** zinco.

A Tabela 2 apresenta os principais parâmetros estatísticos para os atributos de solo e planta estudados. De acordo com WARRICK & NIELSEN (1980) valores de coeficiente de variação (CV, %) $\leq 12\%$ são considerados como indicativos de baixa variabilidade; entre 12% e 60% como de variabilidade média; e $> 60\%$ como indicativos de alta variabilidade dos dados. Para o presente estudo os valores de CV demonstram que os atributos apresentam uma média variabilidade (Tabela 2). O menor e maior valor de CV é descrito para a CE_a-V ($mS\ m^{-1}$) e para ALT (m), respectivamente. Os valores de CV aumentam na seguinte ordem: $CE_a-V < ALT <$

$CE_a-H < DB < D30 < DAP < PROF$. Os valores de assimetria e curtose indicam que os dados apresentam distribuição de frequência lognormal, uma vez que valores de assimetria e curtose próximos de 0 e 3 respectivamente indicam que os dados apresentam distribuição de frequência normal (CARVALHO et al., 2002).

A Tabela 3 apresenta a correlação linear simples para os atributos em estudo. Os valores do coeficiente de correlação (r) demonstram que existe uma elevada correlação entre os atributos de planta (DB, D30, DAP e ALT). CORREIA et al. (2006) estudando atributos de *Pinus pinaster* (Aiton) em fragmentos florestais em Portugal encontraram valores de coeficiente de correlação entre o diâmetro na altura do peito (DAP) e a altura total das árvores (ALT) semelhantes ao descrito neste estudo ($r = 0,742$). O coeficiente de correlação entre os atributos de planta (DB, D30, DAP e ALT) e solo (PROF, CE_a-V e CE_a-H) é baixo.

TABELA 2. Parâmetros estatísticos para os atributos estudados.

Atributo	Unidade	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Assimetria	Curtose
DB	m	0,132	0,071	0,190	17,3	-0,223	-0,067
D30	m	0,111	0,059	0,178	18,8	-0,078	0,326
DAP	m	0,072	0,025	0,144	30,0	0,169	0,103
ALT	m	3,889	2,200	5,200	16,6	-0,330	-0,123
PROF	m	0,264	0,110	0,730	39,2	1,316	2,944
CE_a-V	$mS\ m^{-1}$	6,138	3,000	8,000	15,4	-0,519	0,393
CE_a-H	$mS\ m^{-1}$	8,163	4,000	13,000	16,9	0,567	2,119

DB: diâmetro da base das árvores; D30: diâmetro a 0,3 m de altura; DAP: diâmetro na altura do peito (1,3 m de altura); Altura: altura das árvores; Profundidade: profundidade da rocha; CE_a-V : condutividade elétrica aparente na camada de 0,0-1,5 m de profundidade; CE_a-H : condutividade elétrica aparente na camada de 0,0-0,3 m de profundidade.

A condutividade elétrica aparente medida por indução eletromagnética (CE_a-V e CE_a-H) apresentou correlação negativa ($r = -0,433$). Este fato não era esperado uma vez que as medições da condutividade elétrica aparente com o dipolo vertical (CE_a-V) apresentam uma maior sensibilidade na camada de 0,0-0,30 m de profundidade (GEONICS, 2005), que é representada em grande parte pela CE_a-H . Desta maneira, a presença de correlação negativa entre CE_a-V e CE_a-H para a área de estudo pode estar relacionada com o tipo de solo e com o material

geológico presente em subsuperfície, composto basicamente por materiais metamórficos (piçarras e esquistos) fraturados (IZCO SEVILLANO et al., 2001). Assim, a presença de uma correlação linear negativa entre a CE_a-V e CE_a-H ($r = -0,433$) se deve porque a proximidade da rocha a superfície do solo interfere sobre as medidas da condutividade elétrica aparente do solo principalmente no dipolo vertical (CE_a-V), ocasionando uma distorção na relação entre a CE_a-V e CE_a-H .

TABELA 3. Correlação linear simples para os atributos de planta e solo em estudo.

	DB	D30	DAP	ALT	PROF	CE_a-V	CE_a-H
DB	1,000						
D30	0,921	1,000					
DAP	0,800	0,832	1,000				
ALT	0,638	0,671	0,742	1,000			
PROF	0,087	0,073	0,020	-0,102	1,000		
CE_a-V	-0,087	-0,105	-0,008	-0,056	-0,103	1,000	
CE_a-H	0,051	0,072	0,077	0,102	-0,081	-0,433	1,000

A análise geoestatística por meio da modelagem do semivariograma experimental (Tabela 4 e Figura 2) demonstrou que a profundidade do perfil do solo até encontrar a rocha matriz (PROF, m) apresentou efeito pepita puro. A presença de efeito pepita puro indica que o espaçamento não foi suficiente para detectar a

variabilidade espacial (VIEIRA, 2000; SIQUEIRA et al., 2008). Os demais atributos se ajustaram ao modelo matemático esférico, coincidindo com outros estudos que descrevem este modelo como o que mais se ajusta aos parâmetros de planta e solo (CAMBARDELLA et al., 1994; VIEIRA, 2000; CARVALHO et al., 2002; SIQUEIRA et al., 2008).

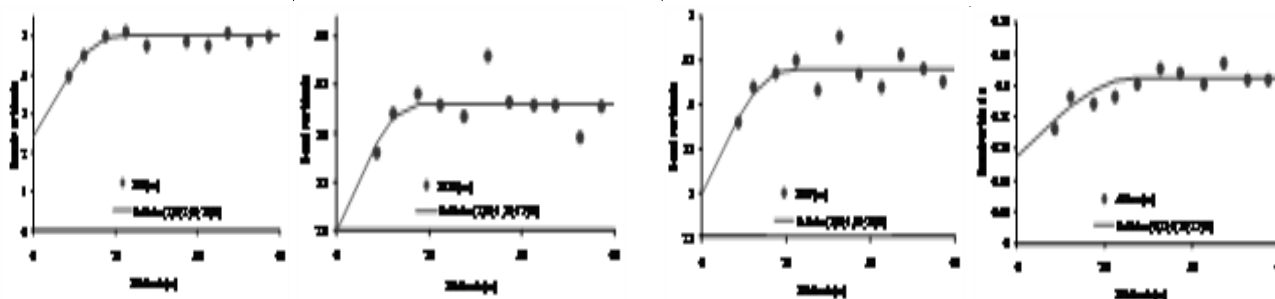
TABELA 4. Parâmetros de ajuste do semivariograma para os atributos estudados.

Atributo	Modelo	C_0	C_1	a	RD
DB	Esférico	2,40	2,60	20,00	48,00
D30	Esférico	2,80	1,30	17,00	68,29
DAP	Esférico	3,00	1,40	20,00	68,18
ALT	Esférico	0,22	0,20	27,00	52,38
PROF	Efeito pepita puro				
CE _a -V	Esférico	0,30	1,20	29,00	20,00
CE _a -H	Esférico	0,30	0,50	30,00	37,50

C_0 : efeito pepita; C_1 : variância estrutural; a: alcance (m); RD: razão de dependência espacial (%).

Os valores de alcance demonstram que a condutividade elétrica aparente na camada de 0,0-1,5 m de profundidade (CE_a-V) e na camada de 0,0-0,3 m de profundidade (CE_a-H) apresentaram os maiores valores de alcance (29,00 m e 30,00 m, respectivamente). De acordo com VIEIRA (2000) e SIQUEIRA et al. (2008) os valores de efeito pepita (C_0) indicam a descontinuidade espacial, ou seja, a variabilidade não detectada durante o processo de amostragem. Neste caso verifica-se que o diâmetro da base (DB), o diâmetro a 0,30 m da base (D30) e o diâmetro na altura do peito (DAP) apresentaram a maior descontinuidade entre amostras (2,40, 2,80 e 3,00 respectivamente).

A altura total (ALT) apresentou o menor valor de C_0 (0,22). A condutividade elétrica aparente na camada de 0,0-1,5 m de profundidade (CE_a-V) e na camada de 0,0-0,3 m de profundidade (CE_a-H) apresentaram um mesmo valor de C_0 (0,30). A razão de dependência espacial entre amostras (RD, %) demonstra que CE_a-V apresenta forte razão de dependência espacial entre amostras, de acordo com a classificação proposta por CAMBARDELLA et al. (1994). Os demais atributos apresentaram moderada razão de dependência espacial entre amostras. Os atributos em estudos apresentaram a seguinte ordem de razão de dependência espacial: CE_a-V > CE_a-H > DB > ALT > DAP > D30.



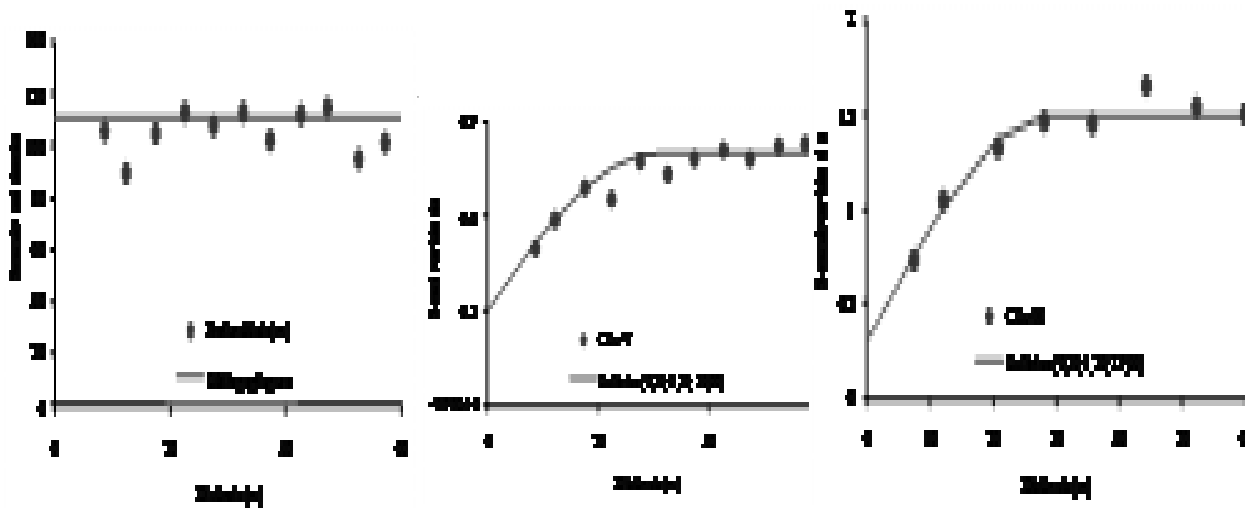
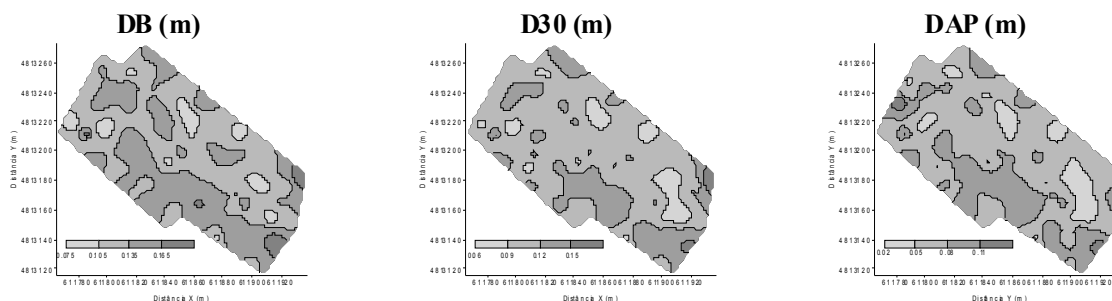


FIGURA 2. Semivariograma para os atributos de planta e solo em estudo.

Os mapas de variabilidade espacial confirmam a mediana variabilidade dos dados discutida anteriormente, por meio dos valores de CV (Tabela 2), uma vez que, os mapas não apresentam homogeneidade na distribuição das linhas de contorno (Figura 3). Por outra parte, os mapas de DB, D30 e DAP demonstram haver um padrão de similaridade na distribuição das linhas de contorno. A similaridade no padrão de distribuição das linhas de contorno para DB, D30 e DAP já eram esperados uma vez que estes atributos de planta são dependentes entre si. O mapa de variabilidade espacial da altura total das árvores (ALT, Figura 3) descreve que as maiores árvores estão localizadas na metade esquerda

da área de estudo. A comparação entre os mapas de DB, D30, DAP e ALT demonstram que apenas DB e ALT apresentam certa similaridade na distribuição das linhas de contorno. Comparando os mapas de variabilidade espacial dos atributos de planta (DB, D30, DAP e ALT) e do solo (CE_a -V e CE_a -H) verifica-se que não existe similaridade na distribuição das linhas de contorno entre os mapas. O fato dos mapas de variabilidade espacial dos atributos de planta e solo, corroboram como os dados apresentados na Tabela 3, que demonstra a presença de baixos valores de coeficientes de correlação entre estes atributos.



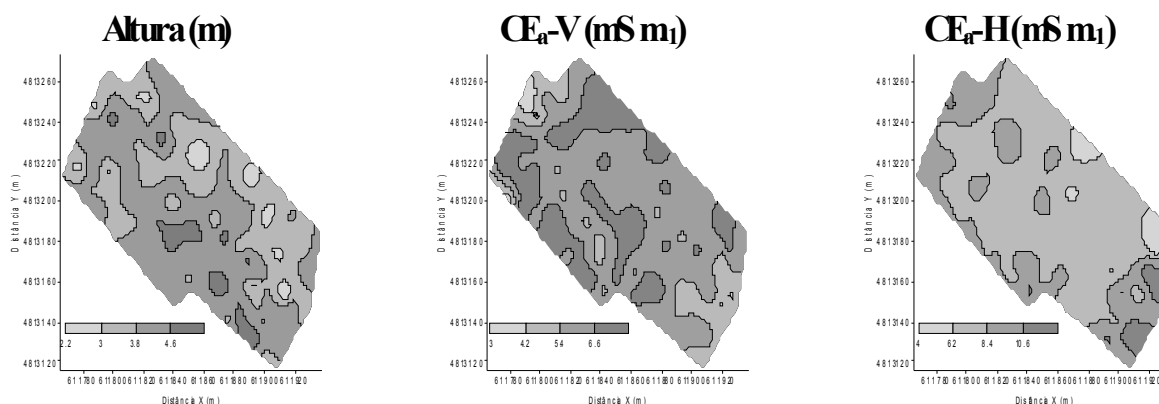


FIGURA 3. Mapas de variabilidade espacial dos atributos de planta e solo.

Os mapas de variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo (CE_a -V e CE_a -H) não apresentam similaridade no padrão de distribuição das linhas de contorno. DOOLITTLE et al. (1994) estudando a relação entre claypans e a condutividade elétrica aparente (CE_a -V e CE_a -H) encontrou maiores valores de condutividade elétrica ($mS\ m^{-1}$) para o dipolo vertical (CE_a -V) como resultado da interação do sensor de medida da condutividade elétrica com os atributos do solo em profundidade, principalmente o conteúdo de argila e umidade. O mapa de variabilidade espacial para CE_a -H apresenta maiores valores de condutividade elétrica que o mapa de CE_a -V, este fato se deve porque a proximidade da rocha matriz a superfície do solo propicia um menor volume de solo explorado pelo dipolo vertical (CE_a -V) fazendo com que este apresente menores valores de condutividade elétrica quando comparado ao dipolo horizontal (CE_a -H).

CONCLUSÕES

A utilização da geoestatística permitiu a análise da variabilidade espacial das características dendrométricas de *Pinus pinaster* (Aiton) e dos atributos do solo, apresentando um valor médio de alcance de 23,83 m, sendo que a condutividade elétrica aparente (CE_a -V = 29,00 m e CE_a -H = 30,00 m) apresenta maiores valores

de alcance que os atributos de planta; Os atributos de planta (DB, D30, DAP e ALT) e solo (CE_a -V e CE_a -H) apresentaram moderada razão de dependência espacial entre amostras (RD = 25,00-75,00 %), com exceção de CE_a -V que apresentou forte dependência espacial (RD = 20,00 %); Os mapas de variabilidade espacial demonstram que existe um padrão de similaridade na distribuição das linhas de contorno entre os mapas dos atributos de planta (DB, D30, DAP e ALT). Todavia, não existe um padrão de similaridade na distribuição das linhas de contorno entre os mapas dos atributos de planta (DB, D30, DAP e ALT) e solo (CE_a -V e CE_a -H), fato que é confirmado por meio dos baixos valores de coeficiente de correlação (r).

AGRADECIMENTOS

Ao Ministério de Assuntos Exteriores e de Cooperação (MAEC, Espanha) pela concessão de bolsa de doutorado para o primeiro autor. Ao Ministério de Educação e Ciência da Espanha (Projeto CGL2005-08219-C02-02), a Xunta de Galícia (Projeto PGIDIT06PXIC291062PN) e ao Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) pelo financiamento parcial deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química y física de solos do Instituto Agronômico*. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106).
- CAMBARDELLA, C.E.; 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*, (SSSAJ) Madison, WI, n.58, p.1501-1511, 1994.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M. & VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.
- CORREIA, I.; ALMEIDA, H.; AGUIAR, A.; ROCHA, E.; PESSOA, J. Desenvolvimento de um índice de selecção de proveniências de *Pinus Pinaster* Aiton aos 8 anos, na Mata Nacional do Escaroupim. *Silva Lusitana*, POR, v.14, n.1, p.1-21, 2006.
- DOOLITTLE, J.A., SUDDUTH, K.A.; KITCHEN, N.R.; INDORANTE, S.J. Estimating depths to claypans using electromagnetic induction methods. *Journal of Soil Water Conservation*, Ankeny, IA, v.49, n.6, p.572-575, 1994.
- FAO-ISRIC. *World reference base for soil resources*. Roma y Wageningen: FAO, 1994. 161p.
- FUENTES YAGÜE, J.L. *Manual práctico sobre utilización de suelos y fertilizantes*. España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. Ediciones Mundi Prensa, 2002. 159 p.
- GEONICS. *EMD38-DD Ground Conductivity Meter-Dual Dipole Version*. Ontario: GEONICS, 2005. 34p.
- GOLDEN SOFTWARE. *Surfer: User's Guide (Versión 7.0)*. EEUU: Golden Software, 1999. 679 p.
- IZCO SEVILLANO, J.; DIAZ VARELA, R.; MARTINEZ SANCHEZ, S.; RODRÍGUEZ GUITIÁN, M.A.; RAMIL REGO, P.; PARDO GAMUNDI, I. *Análisis y valor de la sierra de oxistra: un modelo de aplicación de la directiva Hábitat en Galicia*. Galicia: Colección Técnica. Centro de Información e Tecnoloxía Ambiental. Consellería de Medio Ambiente. Xunta de Galicia, 2001, 161p.
- LEIRÓS, M.C.; TRASAR-CEPEDA, C.; SEOSANE, S.; GIL-SOTRES, F. Biochemical properties of acid soils under climax vegetation (Atlantic oakwood) in na área of the European Temperate-humid zone (Galicia, NW Spain): general parameters. *Soil Biology & Biochemistry*, Elsevier, v.32, p.733-745, 2000.
- LESCH, S.M.; CORWIN, D.L.; ROBINSON, D.A. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computers and Electronics in Agriculture*, Elsevier, v.46, p.351-378, 2005.
- NANOS, N.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C.; BRAVO, F. Studying within-stand structure and dynamics with geostatistical and molecular marker tolls. *Forest Ecology and Management*, Elsevier, v.189, p.223-240, 2004.
- NANOS, N.; MONTERO, G. Spatial prediction of diameter distribution models. *Forest Ecology and Management*, Elsevier, v.161, p.147-158, 2002.
- SIQUEIRA, G.M.; VIEIRA, S.R.; CEDDIA, M.B. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. *Bragantia*, Campinas, SP, v.67, n.1, p.203-211, 2008.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H., SCHAEFER, G.R. (Ed.) *Tópicos*

em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, 2000. p. 1-54.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical 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, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, 2002. p.1-45.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. ed. *Application of soil physics*. New York. Academic Press, 1980. 385 p.