

Variabilidade espacial do Índice de Diversidade de Shannon-Wiener em Floresta Ombrófila Mista

Spatial variability of the Shannon-Wiener Diversity Index in a Mixed Ombrophilous Forest

Lúcio de Paula Amaral¹, Regiane Aparecida Ferreira²,
Gerson do Santos Lisboa³, Solon Jonas Longhi⁴ e Luciano Farinha Watzlawick⁵

Resumo

Análises da diversidade de espécies são estudos rotineiros para caracterização de formações florestais nativas. Esses estudos são baseados na observação das espécies que ocorrem em um fragmento florestal num determinado espaço e em um dado momento. Porém, são raros os estudos que procuram mostrar a variabilidade espacial do seu comportamento ao longo da floresta. O presente trabalho objetivou caracterizar a variabilidade espacial do número de espécies (S) e do Índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') observados em unidade amostrais de 500 m² em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista (FOM), utilizando a krigagem ordinária para gerar estimativas em locais não amostrados. Foram utilizadas 45 unidades amostrais georreferenciadas de um levantamento fitossociológico realizado no ano de 2007, em General Carneiro-PR. A análise fitossociológica foi realizada no programa Mata Nativa 2.1®, obtendo-se os parâmetros fitossociológicos e o Índice de Diversidade de Shannon-Wiener. As análises espaciais e elaboração dos mapas de isolinhas foram realizadas no programa GS+®. Foi possível ajustar os semivariogramas, utilizando os modelos exponencial e esférico, observando-se forte dependência espacial (80 e 87%), respectivamente para S e H', resultando em mapas de isovalores considerados satisfatórios para as duas variáveis analisadas.

Palavras-chave: floresta com araucária; geoestatística; floresta de precisão.

Abstract

Analyses of the species diversity are routine studies for characterization of natural forest formations. These studies are based on the observation of the species that occur in a forest fragment in a certain space and moment. However, there are few studies that seek to show the spatial variability behavior in the forest. The present work aimed to characterize the spatial variability of the species number (S) and of the Index of diversity of Shannon-Wiener (H') observed in sampling units of 500 m² in a fragment of Mixed Ombrophilous Forest, using the ordinary kriging to generate estimates in a non-sampled site. 45 sampling units were used in a geo-referenced phyto-sociological survey done in 2007, in General Carneiro - PR. The phyto-sociological analysis was done within the program Mata Nativa 2.1®, in which the phyto-sociological parameters and the Shannon-Wiener Diversity Index were obtained. The spatial analyses and elaboration of the isoline maps were plotted in the GS+® program, It was possible to adjust the semivariograms, using the exponential and spherical models, finding a strong spatial dependence (80 and 87%), for S and H' respectively; resulting in iso-value maps considered satisfactory, for the two variables analyzed.

Keywords: Araucaria Forest; geostatistics, ordinary kriging

¹Engenheiro Florestal, Doutorando PPGEF-UFSM, Mestrando PPGAP-UFSM. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria - CCR, Prédio 44, sala 5248, Av. Roraima, 1000, Cidade Universitária, Camobi, Santa Maria-RS, CEP 97.105-900. E-mail: lpamaralengflorestal@gmail.com;

²Engenheira Florestal, PPGEF-UFSM. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria / CCR, Prédio 44, sala 5248, Av. Roraima, 1000, Cidade Universitária, Camobi, Santa Maria-RS, CEP 97.105-900. E-mail: regianeferreira220@hotmail.com;

³Gerson do Santos Lisboa¹, Engenheiro Florestal, doutorando PPGEF-UFSM. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria / CCR, Prédio 44, sala 5248, Av. Roraima, 1000, Cidade Universitária, Camobi, Santa Maria-RS, CEP 97.105-900. E-mail: gerson.lisboa@gmail.com;

⁴Solon Jonas Longhi, Engenheiro Florestal, Professor Doutor PPGEF-UFSM. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria / CCR, Prédio 44, sala 5248, Av. Roraima, 1000, Cidade Universitária, Camobi, Santa Maria-RS, CEP 97.105-900. E-mail: longhi.solon@gmail.com

⁵Luciano Farinha Watzlawick³, Engenheiro Florestal, Professor Doutor, PGA. UNICENTRO, Campus CEDETEG, R. Si-meão Camargo Varela de Sá, 03, Vila Carli, Guarapuava-PR, CEP 85.040-080. E-mail: farinha@unicentro.br

INTRODUÇÃO

Fenômenos naturais apresentam-se frequentemente com certa estruturação nas variações entre vizinhos, denominada de condicionamento espacial. Desta forma, pode-se dizer que as variações não são aleatórias e, portanto, apresentam algum grau de dependência espacial, ou seja, observações vizinhas exercem influências umas sobre as outras. Estima-se que mais de 80% das publicações na literatura ecológica não consideram a estrutura de dependência espacial no comportamento de seus respectivos dados (DORMANN, 2007), sendo as variáveis avaliadas apenas pela estatística clássica.

Neste sentido, estas análises que consideram a independência entre as amostras, baseadas na média e variância, vêm sendo substituídas por análises geoestatísticas fundamentadas na teoria das variáveis regionalizadas (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989). Tais análises são executadas por intermédio do ajuste do semivariograma em função do grau de dependência espacial apresentado pela variável de interesse (SOUSA *et al.*, 2004), complementando os métodos de inventário florestal e levantamentos florísticos, dando a tais trabalhos bases confiáveis e precisão para a tomada de decisão pelo gestor florestal/ambiental.

A geoestatística é um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, ou seja, aquelas que têm comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas (LANDIM, 1998; 2006). Segundo Isaaks e Srivastava (1989), a geoestatística fundamenta-se na esperança de que, na média, as amostras próximas, no tempo e no espaço, sejam mais similares entre si do que as que estiverem mais distantes. Segundo Andriotti (2003) a geoestatística destaca a importância das relações espaciais existentes entre as observações que compõem uma amostra, possibilitando também a quantificação dos erros cometidos nas avaliações. O semivariograma é a ferramenta de análise da continuidade ou dependência espacial, que verifica se existe correlação entre as amostras. Esta análise investiga a magnitude dessa correlação e a sua similaridade ou não com a distância (ZIMBACK, 2001), sendo o semivariograma dependente da distância (vetor h) entre x (ponto 1) e $x+h$ (ponto vizinho), (VIEIRA, 2000).

Na floresta, a geoestatística considera que valores obtidos nas parcelas ou unidades amos-

trais estão associados à sua localização no espaço e, portanto, através do uso de interpoladores é possível realizar a estimativa das variáveis obtidas pela amostragem em locais não amostrados (KANEGE JUNIOR *et al.*, 2007), desde que as mesmas apresentem dependência espacial, sendo isto uma grande vantagem desta forma de análise. Assim, evita-se o uso das extrapolações generalistas da amostra para a área total, que são substituídas por estimativas geradas por interpolações, deixando mais próximo da realidade o comportamento das variáveis ou parâmetros referentes à floresta em locais não amostrados.

Amaral *et al.* (2011) empregaram geoestatística e krigagem ordinária, para interpolação de diferentes alturas das árvores em um fragmento de Floresta Estacional Decidual em Itaara-RS, mostrando a diferença do uso de valores médios, extrapolados de unidades amostrais para área total, em relação ao uso de valores interpolados. Nesta comparação os autores observam que a média extrapolada representaria as alturas apenas em pequenas regiões do fragmento analisado, mostrando a melhor caracterização do comportamento desta variável pela krigagem. Existem no Brasil outros trabalhos mostrando a dependência espacial de variáveis florestais como o de Nunes *et al.* (2011), Amaral *et al.* (2010), Rufino *et al.* (2006), entre outros, descrevendo a dependência espacial de variáveis como área basal, quantidade de biomassa e carbono, alturas, número de fustes, diâmetro médio quadrático, entre outras.

O Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H'), também chamado de Índice de Shannon-Weaver, foi desenvolvido no período de 1948-1949, por Claude Elwood Shannon, e é um dos índices mais comumente utilizados para medir diversidade em dados categóricos, sendo baseado na teoria da informação (SHANNON; WIEVER, 1949). O uso da teoria da informação para estimar a diversidade de comunidades foi sugerido por Margalef (1957, 1958), onde a informação era baseada na atribuição de todos os indivíduos as suas respectivas espécies, sendo função do número de indivíduos. Porém a informação não seria dependente só do número total de indivíduos e do número total de espécies, mas também da proporção do número de indivíduos de cada espécie, implicando em que as espécies não sejam igualmente prováveis (HAIRSTON, 1959), e nem que o conteúdo da informação seja totalmente independente do tamanho da amostra (WHITTAKER, 1972), ou seja, essa informação

é dependente do espaço, e também do tempo, se for considerado a sucessão de espécies, o que justifica o uso da geoestatística para o estudo e análise espacial da diversidade.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi verificar se há dependência espacial para o número de espécies e sua diversidade expressa pelo Índice de Shannon-Wiener, analisar e representar cartograficamente a variabilidade espacial destas variáveis, utilizando a geoestatística com a técnica da krigagem ordinária pontual para gerar estimativas em locais não amostrados, na Floresta com Araucária.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é um fragmento de Floresta Ombrófila Mista - FOM (IBGE, 1992), domínio da Mata Atlântica, localizada em General Carneiro, sudoeste do Estado do Paraná (Figura 1). O fragmento possui 1.153,00 ha, constituindo a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Reserva Paisagem Araucária Papagaio-do-peito-roxo, pertencente à ONG Preservação, com área total de 1.254,92 ha. A sede da Reserva esta localizada na Latitude 26° 38' 41,26760" S e Longitude 51° 22' 16,26511" W.

O clima da região é do tipo Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb) "conforme classificação climática de Köppen" tendo os verões frescos e os invernos com ocorrência de severas geadas, não apresentando estações secas. A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22° C e a dos meses mais frios é superior a 18° C (PARANÁ, 1987), com altitude variando de 1.200 a 1300 m (MAACK, 1981).

O substrato geológico da região é formado pelo derrame de Trapp da formação Serra Geral (EMBRAPA, 1984). Ocorrem na região solos orgânicos e hidromórficos, com o predomínio de Neossolos Litólicos, Cambissolos e Argissolos (PARANÁ, 1987). As características topográficas dividem-se em plana, ondulada e montanhosa, sendo a última de maior predominância (EMBRAPA, 1999). Segundo Castella e Brites (2004) os principais usos do solo da região são o reflorestamento, pastagem e agricultura de subsistência.

Foram utilizados dados de 45 unidades amostrais (ua.) de 500 m² (10 x 50 m), instaladas em um levantamento fitossociológico realizado em 2007, distribuídas regularmente de forma sistemática, com espaçamento entre 400 e 600 m, localizadas com GPS de navegação, onde foram mensurados os diâmetros de todos os indivíduos com DAP (diâmetro a altura do peito = 1,30 m de altura) ≥ 10 cm, identificadas e contadas as espécies (S). Os dados do levantamento de campo foram processados utilizando-se um ferramenta específico para fitossociologia, o aplicativo Mata Nativa® versão 2.10, com o módulo cálculos/diversidade, onde se obteve o Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H').

O número de espécies (S) é uma variável importante, pois a partir dela é que se conhece a diversidade da floresta, calculando índices como o de Shannon-Wiener (H'). O H' estima a diversidade específica (MAGURRAN, 1988), e expressa a heterogeneidade florística da floresta (GREIG-SMITH, 1983; KREBS, 1978), sendo calculado pela seguinte fórmula:

$$H' = -\sum p_i * \ln p_i, \quad p_i = n_i/N$$

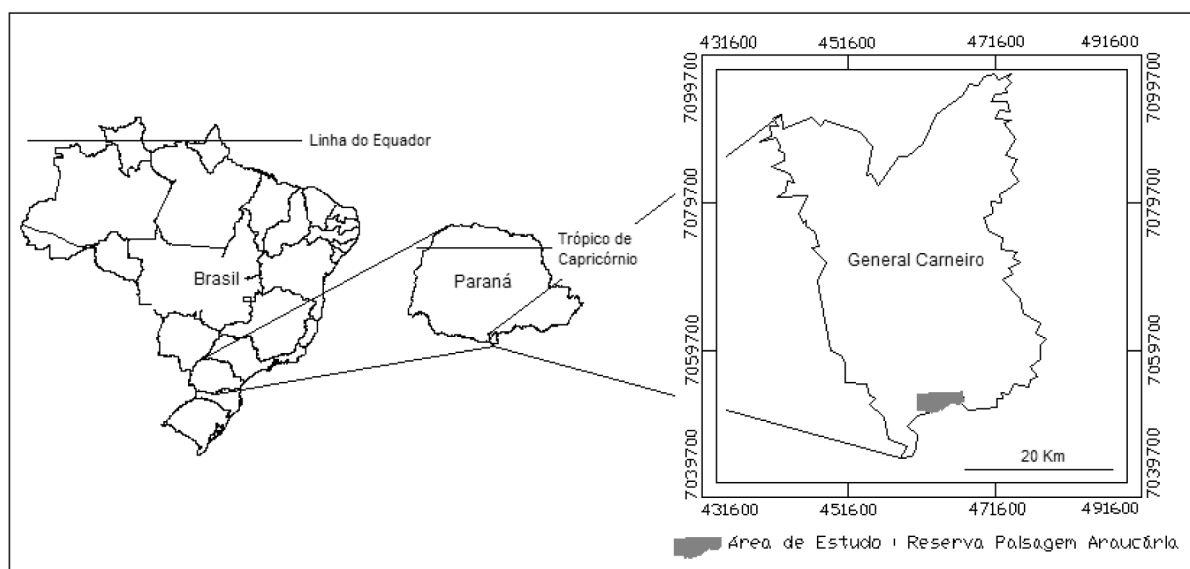


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo (Fuso 22J, Datum SAD 69 Brasil).

Figure 1. Location map of study area (Zone 22J, Datum SAD 69 Brazil).

sendo:

H' = Índice de Shannon-Wiener;

p_i = proporção de indivíduos da i -ésima espécie;

\ln = logaritmo de base neperiano (e);

n_i = número de indivíduos amostrados para a espécie i ;

N = número total de indivíduos amostrados.

A dependência espacial, base do semivariograma, verificada nos dados é dada por (ISAACS; SRIVASYAVA, 1989):

$$\gamma_{(h)} = \frac{1}{2N_{(h)}} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]^2$$

onde:

$\gamma_{(h)}$ = é a semivariância estimada;

$N_{(h)}$ = é o número de pares de valores medidos $[Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]$ separados por um vetor h .

As coordenadas de cada ua. foram descarregadas no programa Track Maker Professional® versão 3.8 (Copyright© 1998-2004), e importadas para uma planilha eletrônica do Excel 2003 (Copyright – Microsoft Corporation), onde se realizou a estatística descritiva para os dados. A base de dados foi importada para o aplicativo GS+ versão 7.0 (Copyright© 1989-2004), onde foram realizados os procedimentos de análise semivariográfica, validação cruzada, interpolação dos dados, utilizando a krigagem ordinária pontual, e elaboração do mapa de isolinhas (GS+, 2000).

A estatística descritiva, como análise preliminar dos dados, teve o objetivo de melhor descrever as variáveis em estudo e resumí-las, para posterior análises espaciais. Na análise espacial, a escolha dos modelos, na geração do semivariogramas, foi realizada com base na menor soma dos quadrados dos resíduos (SQR), na classe de dependência espacial, conforme Zimback (2001), nas condições das retas dos dados reais e estimados na validação cruzada e nas isolinhas obtidas no mapa (AMARAL, 2010).

Segundo Guimarães (2004), no ajuste do modelo a sensibilidade do usuário é muito mais importante do que os valores de SQR e r^2 e, portanto, tentativas de ajustes diferentes ao proposto pelo programa, em seu módulo de padrão de análise, devem ser utilizadas, mesmo que isso cause queda no valor de r^2 e acréscimo no valor de SQR. A qualidade dos ajustes dos semivariogramas aos dados experimentais pode ser verificada por vários métodos. Vieira *et al.* (1983) sugerem o método de ajuste por tentativa e erro (ajuste a critério do observador) associado à

avaliação do modelo pela técnica da validação cruzada. Para Guimarães (2004) a validação cruzada deve ser feita com base em todos os parâmetros e não com base em parâmetros isolados e, segundo Ortiz *et al.* (2010), nem sempre o modelo que apresenta o menor efeito pepita é o que melhor se ajusta aos dados pela validação cruzada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise fitossociológica, foram amostrados 1034 indivíduos, pertencente a 61 espécies, distribuídas em 43 gêneros e 27 famílias. As famílias botânicas que apresentaram o maior número de espécies foram: *Myrtaceae* (11), *Lauraceae* (9), *Aquifoliaceae* e *Asteraceae* (4) seguido pelas *Anacardiaceae* e *Sapindaceae* (3), sendo que as demais famílias apresentaram duas ou uma espécie. A espécie que apresentou o maior número de indivíduos foi *Dicksonia sellowiana* (xaxim), com 121 indivíduos amostrados (11,69 % do total).

Watzlawick *et al.* (2005) estudando a composição florística e estrutura de um fragmento de FOM antropizado (com retirada de espécies de valor comercial), manejado pelas Indústrias Pizzato, em General Carneiro-PR, amostraram 39 espécies arbóreas pertencentes a 31 gêneros, distribuídos em 21 famílias, inventariando todos os indivíduos com DAP \geq 10 cm. Este resultado foi inferior ao observado na RPNN, que também passou por processos de retirada de espécies madeiráveis nos meados da década de 1990.

Galvão *et al.* (1989) também relataram baixo número de espécies arbóreas para a Flona de Irati-PR, relacionando o ocorrido com os históricos de exploração da floresta, entre outros fatores. Klauberg *et al.* (2010) observaram 46 espécies, 39 gêneros e 27 famílias botânicas, avaliando a florística e estrutura de um fragmento de FOM no Planalto Catarinense, no Parque Florestal Municipal de Lages, sendo o número de espécies também inferior ao observado neste trabalho. Isso mostra que mesmo tendo ocorrido exploração madeireira na RPPN a composição de espécies manteve-se relevante em relação a outros fragmentos de FOM, o que pode influenciar o comportamento espacial das variáveis analisadas.

A estatística descritiva para estas variáveis, contendo as medidas de posição (média, mediana e moda), as medidas de dispersão (valor mínimo e máximo, desvio padrão e variância) e as medidas de forma (assimetria, curtose e coeficiente de variação) estão relacionadas na tabela 1.

Tabela 1. Estatística descritiva para S e H' na RPPN Papagaio-do-peito-roxo
Table 1. Descriptive statistics for S and H' on RPPN Papagaio-do-peito-roxo.

Variável	Média	Mediana	Moda	V. Max.	V. min.	S ²	S	Assimetria	Curtose	CV %
S	10	10	10	17	3	11,41	3,38	-0,0004	-0,2279	34,31
H'	1,92	1,96	2,16	2,68	1,04	0,1496	0,3868	-0,4340	-0,0137	20,10

Legenda: S – número de espécies; H' – Índice de Diversidade de Shannon-Wiener; V. Max. – Valor máximo; V. min. – Valor mínimo; S² – Variância; S – Desvio Padrão; CV % - Coeficiente de Variação.

Legend: S – number of species; H' – Diversity index of Shannon-Wiener; V. Max. – Maximum value; V. min. – minimum value; S² – Variance; D. Padrão – Standard Deviation; CV % - Coefficient of Variation.

Os valores de média e mediana foram iguais para S (número de espécies) e bastante próximos para H' (Índice de Diversidade de Shannon-Wiener), indicando que o ponto central dos valores analisados é similar a média aritmética da variável estudada, não havendo discrepâncias acentuadas para a mesma. A variável H' apresentou um médio coeficiente de variação (CV%), abaixo de 30%, de acordo com os parâmetros propostos por Gomes (1976), diferentemente do observado para S, mostrando que os dados de campo para H' são confiáveis para serem geradas estimativas a partir dos mesmos, uma vez que a variância (S²) também é baixa, pois quanto maior a variância dos dados menor a qualidade de suas estimativas. Já para S, houve uma maior variância, devido aos distúrbios ocorrentes na floresta, o que provavelmente leve a um maior erro nas interpolações. Assim as análises geoestatísticas devem ser realizadas para verificar o seu comportamento e decidir, com bases nos parâmetros obtidos, se as estimativas podem ou não ser utilizadas.

Mesmo havendo alterações na floresta, o fragmento apresentou um H' geral de 3,42 nats ind⁻¹, o que pode ser considerado como uma diversidade alta, pois segundo Durigan (1999), os valores para este índice em geral situam-se entre 1,50 e 3,50 nats ind⁻¹ para a Floresta Ombrófila Mista. Watzlawick *et al.* (2005) também encontraram

alta diversidade para fragmento de FOM em General Carneiro, sendo o H' de 3,26. Klauberg *et al.* (2010) e Nascimento *et al.* (2001) encontraram, em fragmentos de FOM, H' de 3,05 e 3,0 nats ind⁻¹, respectivamente, considerando-os como índices medianos de diversidade, em função das ações antrópicas a que os locais foram submetidos, mesmo havendo um consenso de que valores maiores que 3,0 para este índice serem considerados como alta diversidade pela maioria dos especialistas em fitossociologia para a FOM. Isso sugere que alterações na floresta podem interferir na ocorrência das espécies, podendo então alterar também a estrutura espacial das variáveis analisadas. Os parâmetros obtidos pela análise semivariográfica encontram-se na Tabela 2, e na Tabela 3 estão os parâmetros resultantes da validação cruzada, que verifica a qualidade das estimativas geradas.

O número de espécies (S) observado nas unidade amostrais variou de 3 a 17 e o Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H') variou de 1,04 a 2,68 nats ind⁻¹ (Tabela 1), ambas as variáveis apresentaram bons resultados na análise semivariográfica (Tabela 2 e Figura 2a e 2b – semivariograma isotrópico), podendo ser classificadas como satisfatória: boa, segundo (AMARAL, 2010), contendo ainda forte dependência espacial (80 e 87%), resultando em ótimos mapa de isovalores interpolados por krigagem.

Tabela 2. Parâmetros semivariográficos para S e H' na RPPN Papagaio-do-peito-roxo.

Table 2. Semivariographics parameters for S and H' on RPPN Papagaio-do-peito-roxo.

Variável	Modelo	Co	(Co+C)	A (m)	R ²	SQR	C/(Co+C)	D.P.
S	Exponencial	2,8600	14,2900	2784,00	0,999	1,229E-03	0,80	Forte
H'	Esférico	0,0197	0,1534	1975,00	0,767	6,497E-03	0,87	Forte

Legenda: S – número de espécies; H' – Índice de Diversidade de Shannon-Wiener; Co – Efeito pepita; (Co+C) – patamar; A – alcance; R² – Coeficiente de determinação; SQR – Soma dos quadrados dos resíduos; C/(C+Co) – Estrutura ou Proporção espacial; D.P. – classe de dependência espacial.

Legend: S – number of species; H' – Diversity index of Shannon-Wiener; Co – Nugget effect; (Co+C) – Sill; A – range; R² – Coefficient of determination; SQR – Sum of squared residuals; C/(C+Co) – Structure or proportion spacial; D.P. – Class of spatial dependence.

Tabela 3. Parâmetros da validação cruzada para S e H' na RPPN Papagaio-do-peito-roxo.

Table 3. Parameters of cross-validation for S and H' on RPPN Papagaio-do-peito-roxo.

Variável	Erro Padrão	Erro Padrão Estimado	R ²	Equações
S	0,250	3,098	0,159	Valor Real = 2,87 + 0,712 . Valor Estimado
H'	0,174	0,279	0,375	Valor Real = 0,28 + 0,862 . Valor Estimado

Legenda: S – número de espécies; H' – Índice de Diversidade de Shannon-Wiener; R² – Coeficiente de determinação.

Legend: S – number of species; H' – Diversity index of Shannon-Wiener; R² – Coefficient of determination; SQR – Sum of squared residuals; C/(C+Co) – Structure or proportion spacial; D.P. – Class of spatial dependence.

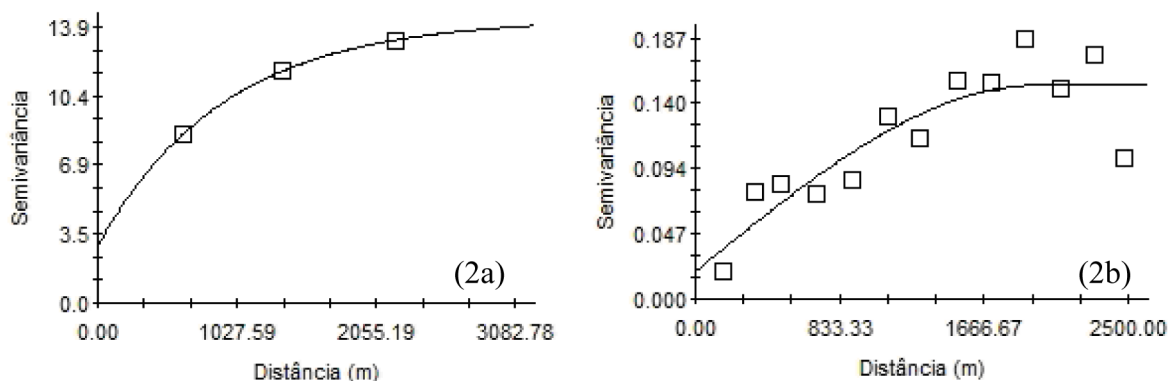


Figura 2. Semivariogramas para S (2a) e H' (2b) na RPPN Papagaio-do-peito-roxo.
Figure 2. Semivariograms for S (2a) and H' (2b) on RPPN Papagaio-do-peito-roxo.

Neves *et al.* (2010) avaliaram a biodiversidade do componente regeneração em duas áreas sob reestabelecimento natural de vegetação nativa, entre talhões de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. em Agudos-SP. Os autores obtiveram fraca dependência espacial (18,21 e 8,85 %) em ambas as áreas para o número de espécies de plantas herbáceas (< 0,5 m) obtidos em unidades amostrais de 1 m², dependência forte (99,91 %) na área 1 e moderada (68,81 %) na área 2 para o número de espécies de plantas herbáceas (< 0,5 m) obtidos em unidades amostrais de 100 m², e moderada dependência espacial (62,23 %) na área 1 e efeito pepita puro na área 2 para o número de espécies de plantas arborescentes (> 1,3 m) obtidos em unidades amostrais de 100 m². Provavelmente exista influência da degradação nos parâmetros espaciais da regeneração obtidos com o ajuste do modelo esférico, fazendo com que a variável número de espécies apresente moderada estruturação espacial, algo não natural do ponto de vista geoestatístico para a floresta, conforme resultado obtido nesta pesquisa, forte dependência espacial para S e H'.

O comportamento da validação cruzada mostra que há pequenas diferenças (linhas parcialmente sobrepostas) entre dados reais – linha pontilhada, e dados estimados – linha contínua, havendo uniformidade na distribuição dos pontos ao longo das linhas, sendo esta situação muito próxima à desejada na validação cruzada, mostrando que houve uma boa interpolação. As figuras 3a e 3b trazem a validação cruzada para S e H', respectivamente.

O mapa obtido para S (Figura 4a) mostra claramente os locais onde ocorrem os maiores números de espécies. Nos locais onde ocorrem poucas espécies existe distúrbio na floresta, grandes clareiras ocupadas por taquaras e por poucas árvores. Estas clareiras se formaram provavelmente devido a abertura excessiva da floresta no

momento da retirada das espécies de interesse comercial expondo as árvores à ação de ventos, ou por danos devido às operações de retirada de madeira, aumentando o tamanho das clareiras. Isso modificou a estrutura vertical e horizontal da floresta nestes locais, alterando as condições de luminosidade (quantidade e qualidade de luz que chega ao solo), umidade do ar, condições de ventos, entre outros fatores, favorecendo a ocupação da área por taquaras (*Bambusoedae*) e xaxim (*Dicksonia sellowiana*), o que dificulta a regeneração da floresta, por serem espécies adaptadas as condições de floresta alterada para a formação Floresta Ombrófila Mista.

Segundo Klein (1978), em encostas íngremes, entre altitudes superiores a 700 m e inferiores a 1200 m, como as que ocorrem na área de estudo, ocorrem espécies tolerantes a solos rasos, próprias de encostas abruptas, havendo predomínio de taquarais nestes locais, o que poderia justificar a grande ocorrência das mesmas. Porém a situação observada no local não caracteriza o comportamento de uma floresta saudável, sendo provavelmente um distúrbio cíclico instalado a longa data na floresta em questão. O mapa obtido para H' (Figura 4b) mostra claramente as regiões onde ocorrem os maiores índices de diversidade, sendo estas compatíveis com áreas onde não ocorria alto adensamento de taquara observado a campo, e com as áreas de maior número de espécies observadas, representando a distribuição da diversidade de espécies arbóreas no fragmento.

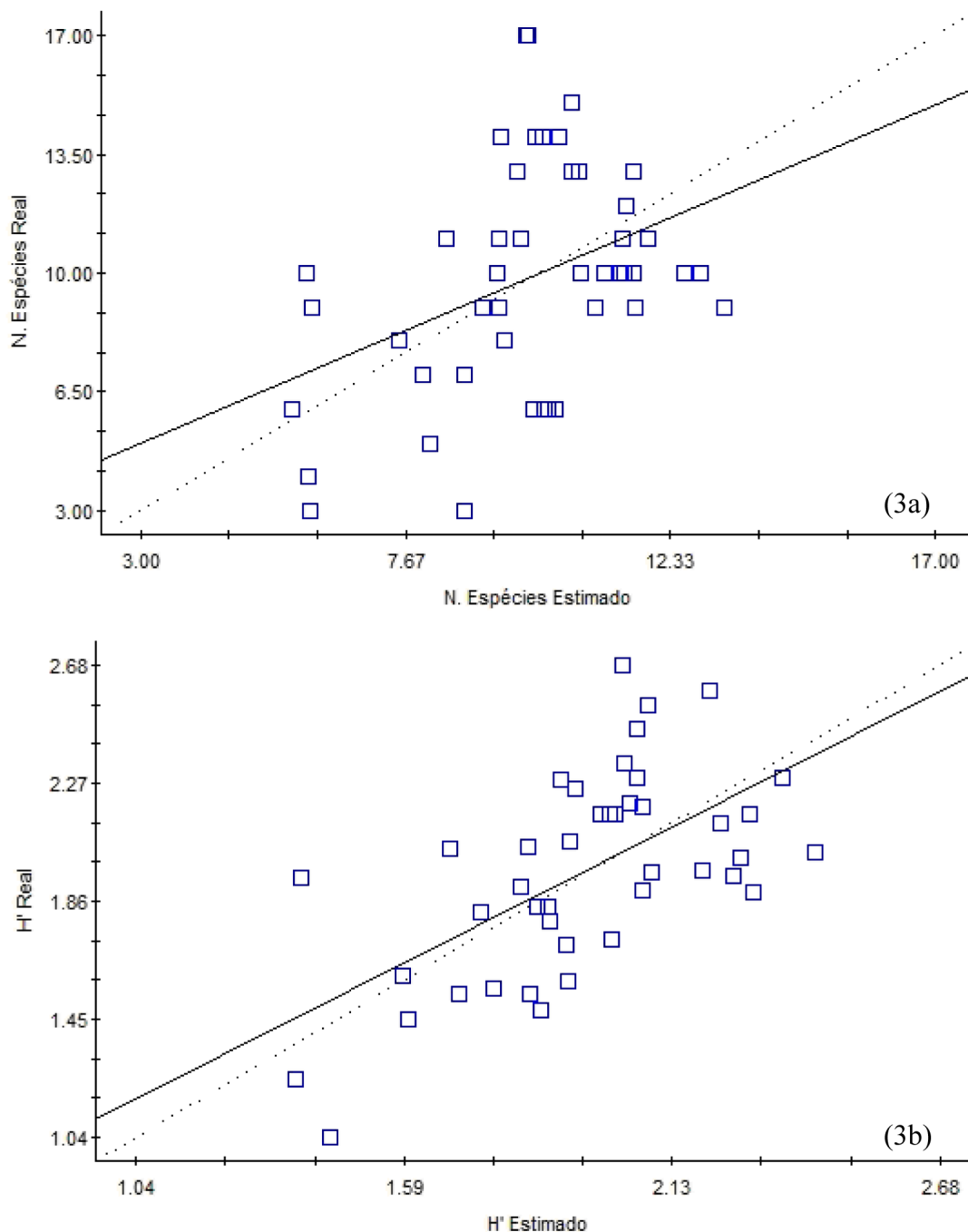
Klauberger *et al.* (2010) também encontraram problemas em fragmento de FOM relacionados a presença de taquaral (*Merostachys multiramea* Hackel), em Lages-SC. Neste trabalho os autores observaram 135 árvores em uma parcela de 40x40 m, dividida em 4 unidades amostrais de 10x10 m, onde não ocorria taquara, e apenas 1 indivíduo na unidade amostral onde havia cla-

reira com forte ocupação de taquara, formando densas e grandes touceiras. Este comportamento também foi mencionado por Klein (1963; 1985), ocorrendo diminuição do número de indivíduos e de espécies arbóreas naquela floresta por ele estudada.

Amaral (2010) realizou coletas de solo em novembro de 2009 no fragmento em análise, onde foram visitadas todas as unidades amostrais utilizadas no presente estudo. Naquele momento foi observado que as taquaras haviam morrido e estavam acamadas sobre o solo. Também foi obser-

vado que haviam muitas árvores quebradas pelos ventos e chuvas (Figura 5), pois estas não tinham resistência mecânica para suportar a pressão gerada pelos eventos climáticos descritos, o que pode ter contribuído também para a diminuição do número de espécies, principalmente nas regiões onde existe baixo número de indivíduos, corroborando com os resultados encontrados.

A relevância dos distúrbios nesta floresta para este estudo é grande, pois eles poderiam ter desestruturado a dependência espacial destas variáveis ou ter desestruturado outras, ou seja, a



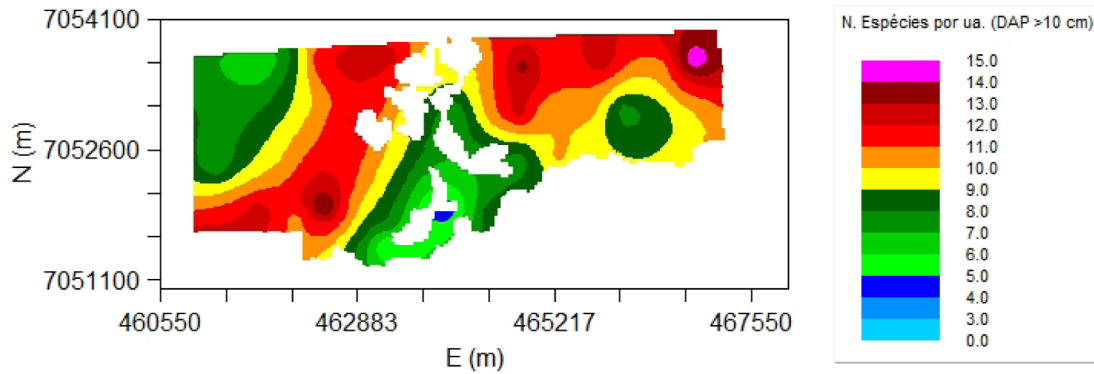
Legenda: linha sólida = valores estimados; linha pontilhada = valores reais.
 Legend: solid line = estimated values; dotted line = actual values.

Figura 3. Validação Cruzada para S (a) e H' (b) na RPPN Papagaio-do-peito-roxo.
Figure 3. Cross-validation for S (a) and H' (b) on RPPN Papagaio-do-peito-roxo.

ocorrência de grandes clareiras tornaria diferentes regiões da floresta independentes umas em relação as outras, eliminando a influência espacial na distribuição dos indivíduos, na distribuição diamétrica, na área basal, no incremento em volume, ou seja, em todas as variáveis onde a

competição árvore/árvore exerça alguma influência. Algo semelhante deve ter ocorrido com os fragmentos em regeneração avaliados por Neves *et al.* (2010), a ponto de alterar o condicionamento espacial do número de espécies e de indivíduos obtidos nestes locais.

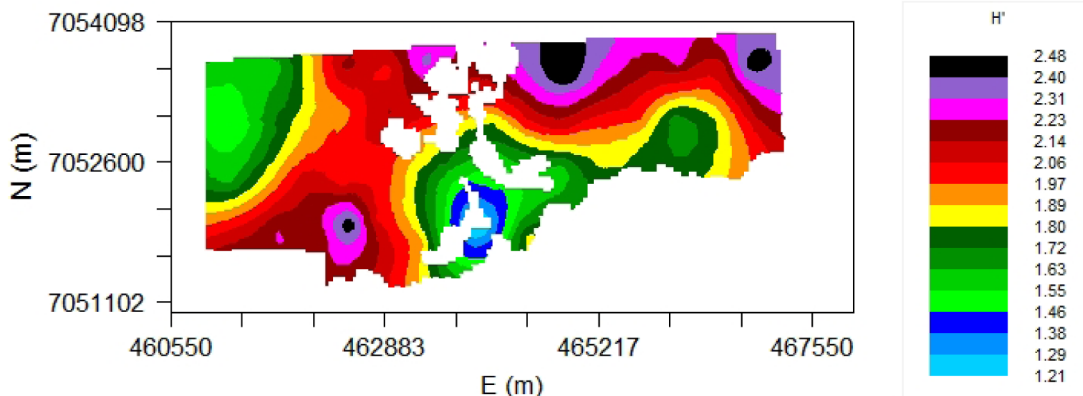
MAPA DO NÚMERO DE ESPÉCIES



Coordenadas UTM, Fuso 22J, Datum SAD 69 Brasil

(4a)

MAPA DO ÍNDICE DE DIVERSIDADE DE SHANNON-WEANER



Coordenadas UTM, Fuso 22J, Datum SAD 69 Brasil

(4b)

Legenda: Polígonos brancos no centro dos mapas – usos do solo diferentes de floresta.
 Legend: Polygons White in the center of the maps – different land uses of forest.

Figura 4. Mapa de isovalores para S (a) e H' (b) na RPPN Papagaio-do-peito-roxo.
Figure 4. Map of isovalues for S (a) and H' (b) on RPPN Papagaio-do-peito-roxo.



Figura 5. Áreas com influência de taquara na RPPN Papagaio-do-Peito-Roxo (novembro de 2009).
Figure 5. Areas under bamboo influence in the RPPN Papagaio-do-peito-roxo (November 2009).

A desestruturação da dependência espacial ocorre quando se perde o contato entre as árvores ou quando o alcance de influência da mesma é diminuído. Isso é decorrente da abertura do dossel, da perda de área basal, do distanciamento entre as copas, da intensa retirada de árvores de grande volume na floresta, dos danos causados na regeneração, entre outros fatores, caracterizando a perda da condição de matriz florestal. Desta forma, a análise geoestatística apontaria uma baixa dependência espacial, ou então, um comportamento totalmente aleatório entre as unidade amostrais – efeito pepita puro.

Esse comportamento foi observado por Akhavan *et al.* (2010), estudando a variabilidade espacial do crescimento do estoque florestal na região do Mar Cáspio. Os autores observaram baixa/fraca dependência espacial na floresta avaliada, devido a alterações espaciais abruptas na mesma, o que conferiu um caráter de aleatoriedade para as variáveis analisadas. Porém, essas alterações foram causadas por interferências antrópicas, sendo naquele caso, a exploração seletiva de madeira a mais de 30 anos, e também o pastoreio. Em função dos resultados obtidos os autores chegam restringir o uso de geoestatística para florestas manejadas, o que é contraditório considerando os resultados obtidos neste trabalho, e que também fere os princípios do manejo florestal, de não realizar excessiva retirada de madeira da floresta a ponto de alterar significativamente suas características estruturais.

No entanto, no fragmento avaliado neste estudo, o número de espécies (S) e o Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H') apresentaram resultados interessantes para interpretação da variabilidade espacial dos componentes da floresta, considerando a análise semivariográfica, validação cruzada e os mapas obtidos. Os mesmos atenderam os requisitos para uma estimativa satisfatória, pois apresentaram baixa variância para as amostras - 11,41 e 0,1496 (estatística descritiva), baixa SQR - 1,229E-03 e 6,497E-03, forte dependência espacial – 80 e 87%, longo alcance: 2784,00 e 1975,00 m (análise semivariográfica), erro padrão estimado de 3,098 e 0,279, retas praticamente sobrepostas e boa distribuição dos pontos na validação cruzada, resultando em mapas com mudança gradativa de valores, considerados ótimos.

Desta forma, os mapas elaborados representam o comportamento das variáveis estudadas neste fragmento florestal, e mesmo sendo ob-

servados distúrbios na floresta, os mesmos não desestruturaram a dependência espacial para as variáveis analisadas, o que significaria perda da condição de matriz florestal.

CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi observada forte dependência espacial para o número de espécies florestais e sua diversidade expressa pelo Índice de diversidade de Shannon-Wiener, permitindo estimar essas variáveis em locais não amostrados.

A geoestatística, e a técnica da krigagem ordinária pontual, apresentaram grande potencial para trabalhos de mapeamento de variáveis relacionadas à floresta, mostrando que as pesquisas e os estudos sobre os diferentes tipos de formações vegetais não podem restringir-se apenas à estatística clássica, que não considera o componente espacial na variância dos dados, na normalidade e na dependência das relações das observações com as distâncias.

REFERÊNCIAS

- AKHAVAN, R.; ZAHEDI AMIRI, G.H.; ZOEBEIRI, M. Spatial variability of forest growing stock using geostatistics in the Caspian region of Iran. *Caspian Journal Environmental Science*, Guilan, v.8, n.1, p.43-53, 2010.
- AMARAL, L.P. *Geoestatística na caracterização do solo e da vegetação em Floresta Ombrófila Mista*. 2010. 133p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), UNICENTRO, Guarapuava, 2010.
- AMARAL, L.P.; FERREIRA, R.A.; WATZLAWICK, L.F.; GENÚ, A.M. Análise da distribuição espacial de biomassa e carbono arbóreo acima do solo em Floresta Ombrófila Mista. *Ambiência*, Guarapuava, v.6, Edição Especial, Guarapuava, 2010.
- AMARAL, L.P.; DULLIUS, M.; GREFF, L.T.B.; FERREIRA, R.A.; DALMOLIN, R.S. D.; SCHNEIDER, P.R. Dependência espacial de diferentes alturas das árvores em um fragmento de floresta secundária na região do rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 5., 2011, Santa Maria. *Anais ...* Santa Maria: PPGEF-UFSM, 2011, p.364-372.
- ANDRIOTTI, J.L.S. *Fundamentos de estatística e geoestatísticas*. São Leopoldo: Editora UNISINOS, 2003. 165p.

- CASTELLA, P.R.; BRITZ, R.M. **A floresta com araucária no Paraná: conservação e diagnóstico dos remanescentes florestais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná - FUIPEF, 2004. 236p.
- DORMANN, C.F. Effects of incorporating spatial autocorrelation into the analysis of species distribution data. **Global Ecology and biogeography**, Oxford, v.16, n.2, p.129-138, 2007.
- DURIGAN, M.E. **Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR**. 1999. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de Classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: EMBRAPA, 1994. 2p. (Boletim de Pesquisa, 27)
- GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y.S.; RODERJAN, C.V. Levantamento fitossociológico das principais associações arbóreas da Floresta Nacional de Irati-PR. **Floresta**, Curitiba, v.19, n.1/2, p.30-49, 1989.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Editora CALQ/ESALQ, 1976. 250p.
- GREIG-SMITH, P. **Quantitative plant ecology**. 3.ed. Oxford: Blackwell, 1983. 359p.
- GS+. **GS+ Geostatistical for environmental science**. Versão 5.0, Michigan: Gamma Design Software, 2000.
- GUIMARÃES, E.C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia: UFU/FAMAT, 2004. 77p.
- HAIRSTON, N.G. Species abundance and community organization. **Ecology**, Ythaca, v.40, p.403-416, 1959.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 92p.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 600p.
- KANEGE JUNIOR, H.; MELLO, J.M.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D. Avaliação da continuidade espacial de características dendrométricas em diferentes idades de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.5, p.859-866, 2007.
- KLAUBERG, C.; PALUDO, G F.; BORTOLUZZI, R.L.C.; MANTOVANI, A. Florística e estrutura de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista no Planalto Catarinense. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v.23, n.1, p.35-47, 2010.
- KLEIN, R.M. Os tipos florestais com Araucaria em Santa Catarina. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 36., 1985, Curitiba. **Anais ...**, Curitiba: UFPR, 1985. p.101-119.
- KLEIN, R.M. Mapa fitogeográfico do Estado de Santa Catarina. In: **Flora Ilustrada Catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. 24p.
- KLEIN, R.M. Observações e considerações sobre a vegetação do nordeste catarinense. **Sellowia**, Itajaí, v.15, p.39-56, 1963.
- KREBS, A. Levantamento fitossociológico da formação - mata do Morro do Coco, Viamão, RS, Brasil. **Iheringia**, Série Botânica, Porto Alegre, n.23, p.65-108, 1978.
- MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 2.ed. Rio de Janeiro: José Olympio, 1981.
- LANDIM, P.M.B. Sobre geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, v.2, n.1, p.19-33, 2006.
- LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 1998. 226p.
- MAGURRAN, A.E. **Diversidad ecológica y su medición**. Barcelona: Vedral, 1988. 200p.
- MARGALEF, R. Information theory in ecology. **General Systems**, Barcelona, v.3, p.36-71, 1958.
- MARGALEF, R. La teoría de la información en ecología. **Memórias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona**, Barcelona, v.32, p.373-449, 1957.

- NASCIMENTO, A.R.T.; LONGHI, S.J.; BRENA, D.A. Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.1, p.105-119, 2001.
- NEVES, D.A.; LEMOS, F.; GONZÁLES, A.P.; VIEIRA, S.R.; SIQUEIRA, G.M. Using geostatistics for assessing biodiversity of forest reserve areas. **Bragantia**, Campinas, v.69, Suplemento, p.131-140, 2010.
- NUNES, M.H.; OLIVEIRA, I.R.C.; SILVA, B.K.; NICOLETI, M.F.; CARVALHO, S.P.C. Continuidade espacial de característica dendrométricas em uma área de cerrado no norte de Goiás. IN: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE MANEJO FLORESTAL, 5., 2011, Santa Maria. **Anais...**, Santa Maria: UFSM, 2011. p.171-178.
- ORTIZ, G.C.; PIEDADE, S.M.S.; OLIVEIRA, M.C.N. **Ajuste de modelos teóricos ao semivariograma experimental para dados de densidade do solo**. 2010. Disponível em: <<http://www.posgraduacao.ufla.br/gauss/congresso/47rbras/g4.pdf>>. Acesso 05 mar. 2010.
- PARANÁ. **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretária de Estado de Agricultura e Abastecimento, Instituto de Terras, Cartografia e Florestas, 1987. 73p.
- RUFINO, T.M.C.; THIERSCH, C.R.; FERREIRA, S.O.; KANEGAE JUNIOR, H.; FAIS, D. Uso da geoestatística no estudo da relação entre variáveis dendrométricas de povoamentos de Eucalyptus sp. e atributos do solo. **Revista Ambiência**, Guarapuava, v. 2, Edição Especial 1, p.83-93, 2006.
- SHANNON, C.E.; WIENER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press, 1949.
- SOUSA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, T.P. Variabilidade espacial de agregados e matéria orgânica em solos de relevo diferentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.5, p.491-499, 2004.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Orgs.). **Tópicos especiais em ciências do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.1-54.
- VIEIRA, S.R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v.31, n.3, 1983. 75p.
- WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; VALERIO, A.F.; SILVESTRI, R. Caracterização da composição florística e estrutura de uma Floresta Ombrófila Mista, no Município de General Carneiro (PR). **Ambiência**, Guarapuava, v.1, n.2, p.71-82, 2005.
- WHITTAKER, R.H. **Evolution and measurement of species diversity**. *Táxon*, v. 21, p.17-34, 1972.
- ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para fins de mapeamento de fertilidade do solo**. 2001. 114p. Tese (Livre Docência na Disciplina de Levantamentos de Solos e Fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu, 2001.

Recebido em 31/01/2012

Aceito para publicação em 06/12/2012

