

# INTERAÇÕES ESPACIAIS INTRAESPECÍFICAS DE *Ocotea odorifera* NA FLORESTA NACIONAL DE IRATI

Cilmar Antônio Dalmaso<sup>1</sup>, Mario Takao Inoue<sup>2</sup>, Vânia Rossetto Marcelino<sup>2</sup>, Paulo Costa de Oliveira Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, PR, Brasil – cilmard@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Paraná, Brasil – martakino@gmail.com; vania@irati.unicentro.br; paulocostafh@gmail.com

Recebido para publicação: 16/03/2015 – Aceito para publicação: 18/02/2016

---

## Resumo

Este trabalho teve o objetivo de analisar e descrever os padrões de interações espaciais intraespecíficas de *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer (canela-sassafrás) num fragmento de Floresta Ombrófila Mista localizado na Floresta Nacional de Irati, no estado do Paraná. A hipótese levantada é que não existem evidências da ocorrência de interações espaciais entre os indivíduos de canela-sassafrás. Para tanto, foram utilizados dados de três hectares para coleta de informações sobre altura, diâmetro e localização dos indivíduos de canela-sassafrás com altura total  $\geq 30$  cm. Análises bivariadas por meio da função  $K_{12}$  de Ripley foram realizadas para descrever as interações espaciais entre diferentes categorias de tamanho. A interação espacial no espaço bidimensional é identificada pela ocorrência de atração ou repulsão entre as categorias. Na competição intraespecífica, as plantas da mesma espécie têm as mesmas necessidades e tendem a competir para obtenção de recursos. No entanto, a teoria suporta também interações positivas, ou de facilitação. Nas discussões são apresentadas algumas inferências sobre fenômenos que podem estar relacionados com os padrões de interação espacial apresentados pela espécie. A hipótese inicial foi rejeitada, já que *O. odorifera* apresentou interações negativas de indivíduos adultos com a regeneração em distâncias curtas e interações positivas entre os indivíduos regenerantes.

**Palavras-chave:** Floresta com Araucária; autoecologia; canela-sassafrás; Floresta Ombrófila Mista.

## Abstract

*Intraspecific spatial interactions of Ocotea odorifera in Irati National Forest.* The present research aimed to analyze and describe patterns of spatial interactions of natural regeneration of *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer (Brazilian sassafras) in a Mixed Ombrophyllous Forest (Araucaria Forest) located in the Irati National Forest, Southern Brazil. The hypothesis in this paper is that there is no evidence in spatial associations about the occurrence of interactions among individuals of these species. We sampled three plots of one hectare each, collecting height, diameter and location data for all Brazilian sassafras individuals with total height  $\geq 30$  cm. Bivariate analyzes using  $K_{12}$ -function of Ripley were performed to describe the spatial interactions of individuals of this species between different sizes. Thus, we expected that the pattern of spatial interaction presented by the trees in two-dimensional space indicate attraction or repulsion between categories. In plants, individuals of the same species have the same needs and tend to compete to obtain resources. However, the theory also supports positive interactions, or facilitation. We discuss some inferences about the phenomena that should be related to the spatial interaction patterns presented by *Ocotea odorifera*. We rejected the initial hypothesis, since *O. odorifera* presented negative interactions of adults with seedlings over short distances and positive interactions between the seedlings.

**Keywords:** Araucaria Forest; auto-ecology; Brazilian sassafras; Mixed Ombrophyllous Forest.

---

## INTRODUÇÃO

A organização das comunidades vegetais foi um tema bastante debatido na ecologia, sendo desenvolvidas inúmeras teorias para explicar como as associações de espécies de plantas poderiam ser previstas. O efeito negativo de uma espécie de planta sobre outra geralmente está associado à competição e/ou à alelopatia, sendo por muito tempo considerados esses fatores determinantes nos modelos conceituais da estrutura da comunidade (CONNELL, 1983; FOWLER, 1986). No entanto, interações positivas também podem determinar padrões espaciais, permitir a coexistência, valorizar a diversidade e a produtividade e conduzir a dinâmica da comunidade (CALLAWAY, 1995).

Conforme Goreaud e Pélissier (2003), as interações bióticas em uma comunidade podem gerar estruturas espacialmente reconhecíveis que desempenham um papel fundamental na sua dinâmica. Considerando as relações intraespecíficas, Janzen (1970) propôs que as chances de recrutamento próximo à planta-mãe podem ser muito baixas, devido à competição e predação de sementes, enquanto a probabilidade de sobrevivência aumenta com a distância da planta-mãe. Para Crawley (1986), os meios de inibição intraespecífica da

germinação de sementes podem ser muitos: produção de sombra, forte competição por água e nutrientes nas camadas superiores do solo, produção de substâncias inibitórias (alelopatia) e suporte a uma grande fauna de herbívoros capazes de eliminar novas plântulas. Carmo *et al.* (2007) realizaram estudos sobre alelopatia de extratos aquosos de canela-sassafrás (*Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer) e concluíram que metabólitos secundários causaram alterações metabólicas e morfológicas nas plantas de sorgo. Portanto, a presença de canela-sassafrás no ambiente pode desencadear efeitos similares sobre outras espécies vegetais na sua vizinhança e, por que não, sobre ela mesma (autoalelopatia).

Conforme Crawley (1986), a distribuição espacial de plântulas de uma determinada espécie depende da interação entre quatro fatores. Primeiro, a forma como as plantas-mãe produtoras de sementes estão localizadas no espaço; segundo, o padrão da chuva de sementes ao redor de cada planta-mãe, além da atividade de agentes dispersores; terceiro, o comportamento de forrageio de herbívoros comedores de sementes e de plântulas; e quarto, a distribuição espacial de locais adequados à germinação. Em uma área de 25 ha da Floresta Nacional de Irati, foi encontrada uma alta densidade de indivíduos estabelecidos e um abundante banco de plântulas e indivíduos juvenis de *Ocotea odorifera* (DALMASO *et al.*, 2013), demonstrando a grande importância dessa Unidade de Conservação para uma espécie tão explorada.

Dentro da possibilidade de se utilizarem métodos estatísticos para estudar as relações espaciais entre indivíduos florestais, pode-se representar e considerar cada árvore, planta ou indivíduo florestal como um ponto ou entidade pontual dentro de um determinado espaço geográfico (BADDELEY; TURNER, 2005). Alguns métodos em estatística espacial, como a função K de Ripley bivariada ( $K_{12}$ ), permitem análises que podem testar a hipótese de distribuição espacial independente entre duas séries de pontos, ou seja, a interação espacial entre dois tipos de pontos localizados na mesma área de estudo (LOTWICK; SILVERMAN, 1982). Quando a análise bivariada de padrões de ponto indicar que existe dependência, isso significa que ocorrem interações entre os eventos considerados (ARÉVALO; FERNÁNDEZ-PALACIOS, 2003).

As interações podem ser de atração ou repulsão (CHEN; BRADSHAW, 1999). Dessa forma, ao se quantificar a interação e os padrões espaciais entre classes de tamanho dos indivíduos de uma espécie, podem ser realizadas inferências sobre os processos de competição e facilitação (CALLAWAY, 1995) e conseqüentemente sobre crescimento, reprodução, morte e utilização de recursos (CONDIT *et al.*, 2000). A ausência de interações espaciais (independência espacial) indica a sobreposição parcial dos nichos ecológicos (HIGUCHI *et al.*, 2011). Os resultados podem trazer interpretações a respeito da autoecologia e dispersão das sementes (RODE *et al.*, 2011).

Buscando uma forma de testar a ocorrência de algum tipo de interação intraespecífica em *Ocotea odorifera*, a hipótese levantada neste trabalho é que não existem evidências da ocorrência de interações espaciais entre os indivíduos de canela-sassafrás.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo (Figura 1) está localizada na Floresta Nacional (FLONA) de Irati, região centro-sul do estado do Paraná, entre os municípios de Fernandes Pinheiro, Imbituva, Irati e Teixeira Soares. Coordenadas geográficas: Lat. -25°23'30" e -25°23'9"; Long. -50°34'55" e -50°34'26". A FLONA é uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável (gerenciada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio) e compreende 3.618,21 hectares, dos quais 43,82% (1.582,50 ha) são compostos por cobertura florestal nativa (MAZZA, 2006).

A altitude na FLONA varia entre 788,06 e 899,14 m (MAZZA, 2006). O clima da região, de acordo com o sistema de Köppen, é do tipo Cfb. Na série histórica entre 1966 e 2014, Irati registrou uma temperatura média anual compensada próxima de 17,22 °C. Em janeiro, a temperatura média compensada é de 20,78 °C, e a de julho fica em torno de 13,04 °C, com pluviosidade média de 1.557,22 mm (INMET, 2015). Os solos que predominam são do grupo Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013).

A área de estudo faz parte de um experimento multidisciplinar em 25 hectares contínuos de Floresta Ombrófila Mista (FOM) (FIGUEIREDO-FILHO *et al.*, 2010). Para esta pesquisa, foram escolhidos três blocos com dimensões de 100 x 100 m, com alta densidade de árvores adultas de canela-sassafrás, onde supostamente deve existir uma maior homogeneidade e quantidade de regenerantes para análise das interações espaciais. Em cada bloco, todos os indivíduos de canela-sassafrás com mais de 30 cm de altura total foram mapeados por coordenadas cartesianas locais e mensurados quanto a altura total e DAP (quando existente e  $\geq 3$  cm). As alturas maiores que 3 m foram estimadas visualmente.

Para a descrição das interações espaciais, foram utilizados métodos com base na análise das distâncias entre pontos da função K (RIPLEY, 1977), modificada para  $K_{12}$  por Lotwick e Silverman (1982), e as correspondentes funções  $L_{12}$  propostas por Diggle (2003).

Os efeitos de borda foram corrigidos usando-se o método de ponderação local (RIPLEY, 1977). Os

valores observados de  $L_{12}$  foram comparados com os valores teóricos obtidos para um valor nulo da hipótese de independência, que corresponde à ausência de interação entre os dois tipos de pontos. Na interpretação dos resultados obtidos com dados ecológicos, existem pelo menos duas hipóteses nulas diferentes que podem ser usadas (a independência ou rotulagem aleatória), dependendo do contexto do estudo e da natureza dos dados (ver detalhes em GOREAUD; PÉLISSIER, 2003). O modelo nulo (hipótese de independência espacial) foi gerado com 500 simulações com os limites de confiança, pela técnica utilizando a função `rshift(X, ...)` do pacote “spatstat”. Diggle (2003) afirma que os envelopes de significância realizados com base em 500 repetições parecem adequados (para  $\alpha = 0,01$ ).

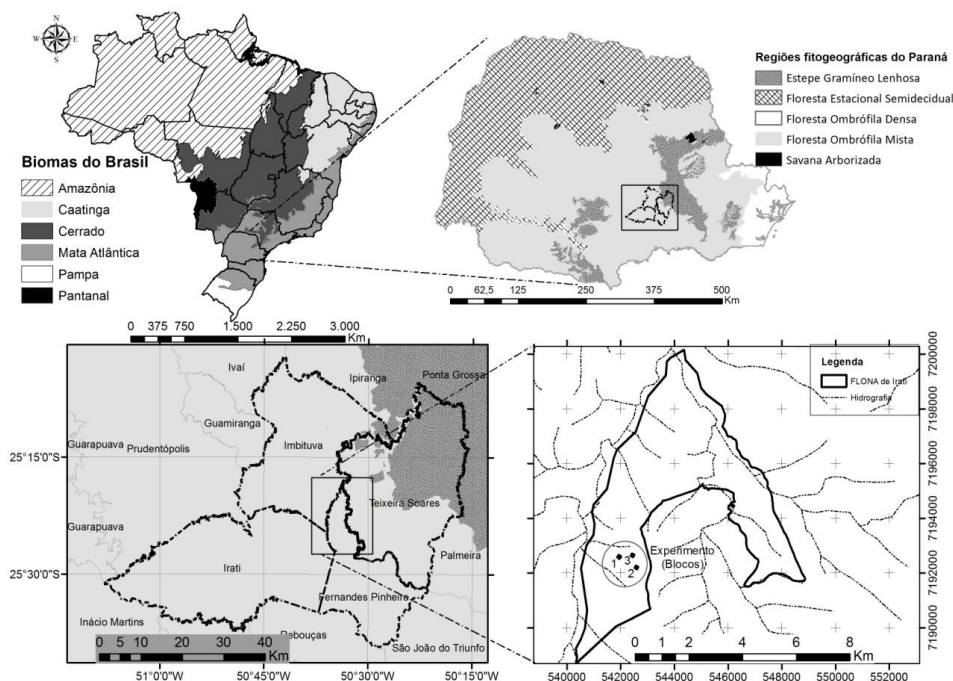


Figura 1. Localização geográfica da FLONA de Irati, entre os municípios de Fernandes Pinheiro, Imbituva, Irati e Teixeira Soares, no estado do Paraná, Brasil. 1, 2 e 3 = blocos amostrais.

Figure 1. Geographic location of Irati National Forest, between the cities Fernandes Pinheiro, Imbituva, Irati and Teixeira Soares, State of Paraná, Brazil. 1, 2 e 3 = sample blocks.

As análises bivariadas foram aplicadas explorando-se as interações das árvores adultas com as categorias de tamanho de regeneração da canela-sassafrás apresentadas na tabela 1, visando com isso avaliar a evolução do padrão de interação no desenvolvimento da espécie. Mesmo que não reprodutivos, todos os indivíduos com diâmetros maiores ou iguais a 10 cm foram considerados adultos e incluídos numa única categoria. Além das categorias de tamanho, os indivíduos regenerantes foram agrupados numa única categoria para análise de interação com as árvores adultas.

Na sequência dos gráficos que são apresentados como resultados da função  $L_{ij}$ , a categoria de maior tamanho sempre estará representada por  $i$  e a de tamanho inferior pela letra  $j$ . Assim, a função fica definida como o número esperado de pontos do padrão tipo  $j$  dentro de uma distância  $d$  de um ponto arbitrário de um padrão  $i$ , dividido pela intensidade de pontos do padrão tipo  $j$ . A hipótese de independência considera que a localização dos pontos de tipo  $i$  e tipo  $j$  resultam de dois processos pontuais espaciais independentes.

Os dados foram analisados com o programa computacional “R” versão 3.1.2 (R, 2014). O pacote utilizado no R foi o “spatstat” versão 1.37-0 (BADDELEY; TURNER, 2005).

## RESULTADOS

Foram amostrados 5.549 indivíduos de canela-sassafrás nos três blocos. A proporção de indivíduos em fase de regeneração foi elevada (superior a 90%) em relação à categoria adulta, prováveis plantas matrizes ou porta-sementes (Tabela 1).

Tabela 1. Dados básicos de análise exploratória, referentes aos três blocos da área de estudo, na FLONA de Irati.

Table 1. Basic data from exploratory analysis, surveyed at three blocks of the study area, in Irati National Forest.

Categoria de tamanho	Bloco 1		Bloco 2		Bloco 3	
	Densidade (Ind/ha)	Proporção	Densidade (Ind/ha)	Proporção	Densidade (Ind/ha)	Proporção
Regenerantes						
Altura: 30-49 cm	822	28,0%	236	27,1%	597	34,1%
Altura: 50-69 cm	646	22,0%	155	17,8%	389	22,2%
Altura: 70-89 cm	416	14,2%	129	14,8%	257	14,7%
Altura: 90-109 cm	224	7,6%	69	7,9%	130	7,4%
Altura: 110-129 cm	159	5,4%	38	4,4%	64	3,7%
Altura: 130-149 cm	111	3,8%	32	3,7%	22	1,3%
Altura: 150-299 cm	298	10,3%	60	6,9%	44	2,5%
Altura: $\geq 300$ cm e DAP < 5 cm	118	4,0%	24	2,8%	5	0,3%
5-9,9 cm (DAP)	46	1,6%	15	1,7%	18	1,0%
Adultas						
DAP: 10-19,9 cm	66	2,3%	68	7,8%	121	6,9%
DAP $\geq 20$ cm	23	0,8%	45	5,2%	102	5,8%
<b>Total</b>	<b>2.929</b>	<b>100,0%</b>	<b>871</b>	<b>100,0%</b>	<b>1749</b>	<b>100,0%</b>

A análise da espacialização e as estimativas de intensidade (Figura 2) permitem observar características da distribuição, auxiliando na identificação de agrupamentos dos indivíduos da espécie, porém a dependência espacial e outros dados exploratórios não são diretamente perceptíveis.

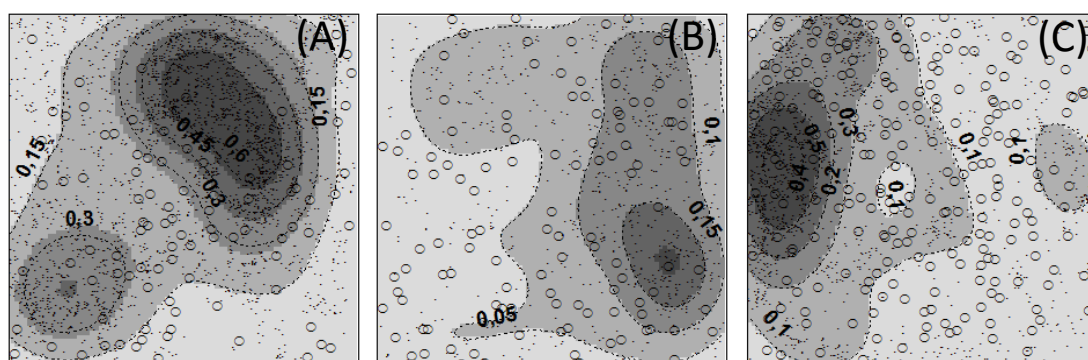


Figura 2. Distribuição espacial dos indivíduos adultos (◐) e regenerantes (◑), e mapa de Kernel com contorno para intensidade de canela-sassafrás em cada área amostrada: Bloco 1 (A), Bloco 2 (B) e Bloco 3 (C), na FLONA de Irati. O valor da intensidade “ind/m<sup>2</sup>” corresponde à tonalidade de cor cinza associado ao valor da linha de contorno.

Figure 2. Spatial distribution of adults (◐) and seedlings (◑), and contour map of Kernel for intensity of Brazilian sassafras in each sampled area: Block 1 (A), Block 2 (B) and Block 3 (C) in Irati National Forest. The intensity value “ind/m<sup>2</sup>” corresponds to gray color tone associated with the contour line value.

Usando a análise bivariada para diferentes conjuntos de dados, foi possível verificar a ocorrência de interações espaciais entre algumas categorias de tamanho dos indivíduos. Nas figuras 3-A, 3-B e 3-C estão representados os gráficos da função  $L_{12}$  para as categorias adultas e regenerantes em cada área. O Bloco 1 (Figura 3-A) se manteve levemente significativo, próximo a 2,5 metros. Nos blocos 2 e 3, as interações negativas foram mais significativas no intervalo até 5 metros. Ocorreu associação negativa também entre árvores adultas e a categoria regenerantes com altura entre 30 e 49 cm nos blocos 2 e 3 (Figuras 3-E e 3-F); entre adultas e regenerantes com altura entre 50 e 69 cm nos blocos 2 e 3 (Figuras 3-H e 3-I); entre adultas e regenerantes com altura entre 70 e 89 cm nos três blocos (Figuras 3-J, 3-K e 3-L); entre adultas e regenerantes com altura de 90 a 109 cm nos três blocos (Figuras 3-M, 3-N e 3-O); entre adultas e regenerantes com altura entre 110 e 129 cm nos blocos 1 e 3 (Figuras 4-A e 4-C); entre adultas e regenerantes com altura entre 130 e 149 cm nos três blocos (Figuras 4-D, 4-E e 4-F); entre adultas e regenerantes com altura entre 150 e 299 cm nos blocos 1 e 2 (Figuras 4-G e 4-H); e entre adultas e regenerantes com altura igual ou superior a 300 cm e DAP menor do que 5 cm

(Figuras 4-J e 4-K). Apesar de não significativa, todos os blocos apresentaram tendência à repulsão em todas as distâncias, exceto a categoria de tamanho compreendida pelo DAP de 5 a 9,9 cm (Figuras 4-M, 4-N e 4-O), na qual se visualiza a tendência de o valor empírico estar menos afastado da linha central do intervalo de confiança.

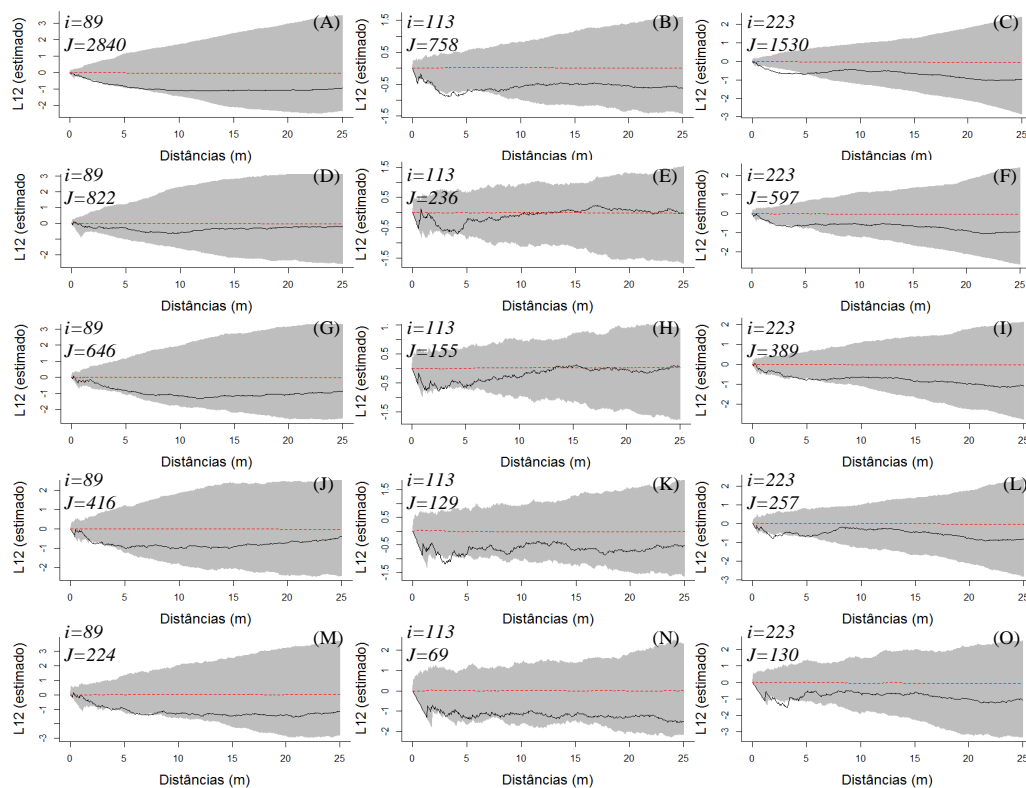


Figura 3. Análise de dependência espacial com a função  $L_{12}$  para árvores adultas e categorias de regenerantes de canela-sassafrás na FLONA de Irati. Bloco 1: adultas x regenerantes (A), adultas x regenerantes com altura entre 30 e 49 cm (D), adultas x regenerantes entre 50 e 69 cm (G), adultas x regenerantes entre 70 e 89 cm (J), adultas x regenerantes entre 90 e 109 cm (M). Bloco 2: adultas x regenerantes (B), adultas x regenerantes entre 30 e 49 cm (E), adultas x regenerantes entre 50 e 69 cm (H), adultas x regenerantes entre 70 e 89 cm (K), adultas x regenerantes entre 90 e 109 cm (N). Bloco 3: adultas x regenerantes (C), adultas x regenerantes entre 30 e 49 cm (F), adultas x regenerantes entre 50 e 69 cm (I), adultas x regenerantes entre 70 e 89 cm (L) e adultas x regenerantes entre 90 e 109 cm (O).

Figure 3. Spatial dependence analysis with  $L_{12}$  function for adult trees and seedlings categories of Brazilian sassafras in Irati National Forest. Block 1: adults x seedlings (A), adults x seedlings with height between 30 and 49 cm (D), adults x seedlings with height between 50 and 69 cm (G), adults x seedlings with height between 70 and 89 cm (J), adults x seedlings with height between 90 and 109 cm (M). Block 2: adults x seedlings (B), adults x seedlings with height between 30 and 49 cm (E), adults x seedlings with height between 50 and 69 cm (H), adults x seedlings with height between 70 and 89 cm (K), adults x seedlings with height between 90 and 109 cm (N). Block 3: adults x seedlings (C), adults x seedlings with height between 30 and 49 cm (F), adults x seedlings with height between 50 and 69 cm (I), adults x seedlings with height between 70 and 89 cm (L) and adults x seedlings with height between 90 and 109 cm (O).

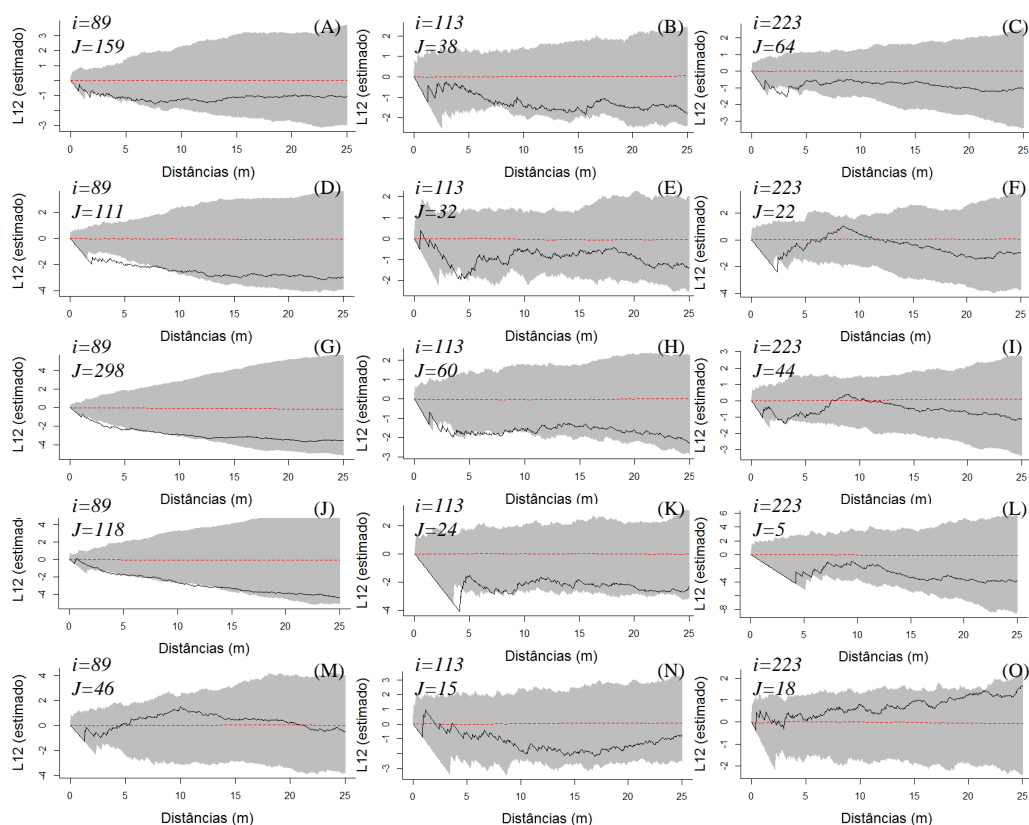


Figura 4. Análise de dependência espacial com a função  $L_{12}$  para árvores adultas e categorias de regenerantes de canela-sassafrás na FLONA de Irati. Bloco 1: adultas x regenerantes com altura entre 110 e 129 cm (A), adultas x regenerantes entre 130 e 149 cm (D), adultas x regenerantes entre 150 e 299 cm (G), adultas x regenerantes com altura igual ou superior a 300 cm e DAP < 5 cm (J), adultas x regenerantes com DAP de 5 a 9,9 cm (M). Bloco 2: adultas x regenerantes com altura entre 110 e 129 cm (B), adultas x regenerantes entre 130 e 149 cm (E), adultas x regenerantes entre 150 e 299 cm (H), adultas x regenerantes com altura igual ou superior a 300 cm e DAP < 5 cm (K), adultas x regenerantes com DAP de 5 a 9,9 cm (N). Bloco 3: adultas x regenerantes com altura entre 110 e 129 cm (C), adultas x regenerantes entre 130 e 149 cm (F), adultas x regenerantes entre 150 e 299 cm (I), adultas x regenerantes com altura igual ou superior a 300 cm e DAP < 5 cm (L), adultas x regenerantes com DAP entre 5 e 9,9 cm (O).

Figure 4. Spatial dependence analysis with  $L_{12}$  function for the adult trees and seedlings categories of Brazilian sassafras in Irati National Forest. Block 1: adults x seedlings with height between 110 and 129 cm (A), adults x seedlings between 130 and 149 cm (D), adults x seedlings between 150 and 299 cm (G), adults x seedlings with height less than 300 cm and DBH < 5 cm (J), adults x seedlings with DBH between 5 and 9.9 cm (M). Block 2: adults x seedlings with height between 110 and 129 cm (B), adults x seedlings between 130 and 149 cm (E), adults x seedlings between 150 and 299 cm (H), adults x seedlings with height less than 300 cm and DBH < 5 cm (K), adults x seedlings with DBH between 5 and 9.9 cm (N). Block 3: adults x seedlings with height between 110 and 129 cm (C), adults x seedlings between 130 and 149 cm (F), adults x seedlings between 150 and 299 cm (I), adults x seedlings with height less than 300 cm and DBH < 5 cm (L), adults x seedlings with DBH between 5 and 9.9 cm (O).

As categorias de tamanhos próximos apresentaram associação positiva significativa em diversas escalas (Figuras 5 e 6). É possível verificar que as interações positivas aumentam de intensidade (mais significativas) formando grupos maiores (maiores intervalos de distância da significância) para os indivíduos entre 70 e 129 cm de altura. Os indivíduos menores, com altura entre 30 e 69 cm apresentaram atração em distâncias mais curtas. Para os indivíduos de categorias de altura entre 150 e 299 cm as interações foram mais fracas, e ausentes para as categorias a partir de 300 cm.

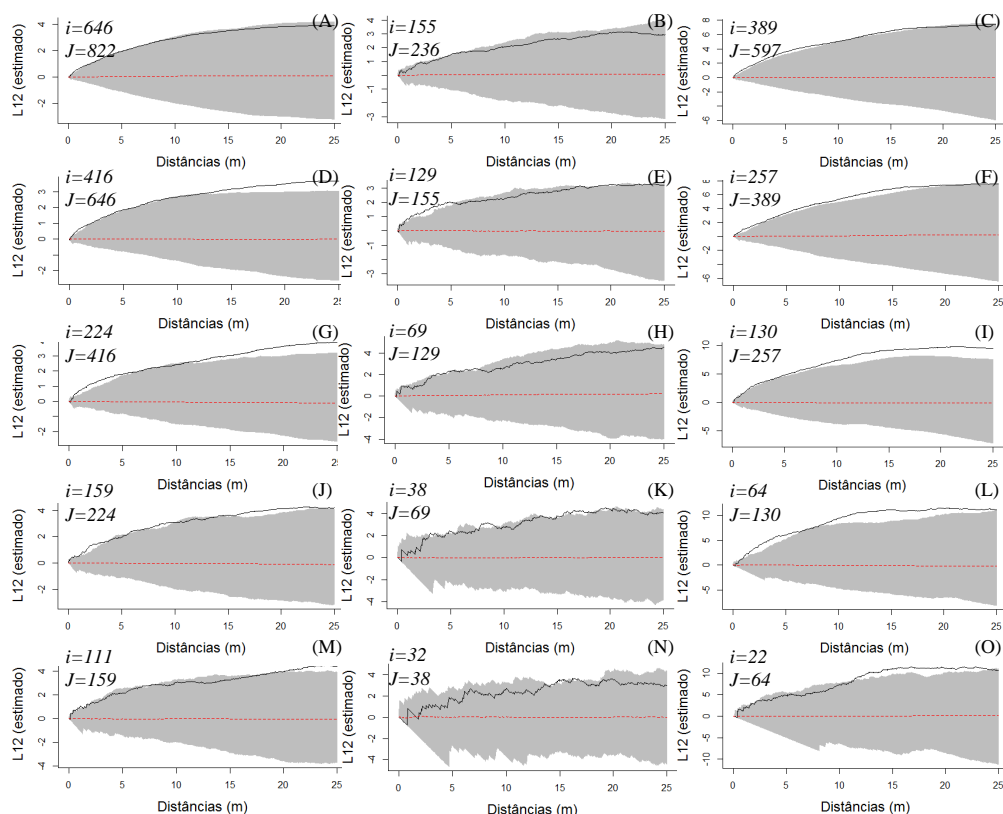


Figura 5. Análise de dependência espacial com a função  $L_{12}$  para categorias próximas de tamanho de canelassassafrás, na FLONA de Irati. Bloco 1: regenerantes entre 50 e 69 cm x regenerantes com altura entre 30 e 49 cm (A), regenerantes entre 70 e 89 cm x regenerantes entre 50 e 69 cm (D), regenerantes entre 90 e 109 cm x regenerantes entre 70 e 89 cm (G), regenerantes entre 110 e 129 cm x regenerantes entre 90 e 109 cm (J), regenerantes entre 130 e 149 cm x regenerantes entre 110 e 129 cm (M). Bloco 2: regenerantes entre 50 e 69 cm x regenerantes com altura entre 30 e 49 cm (B), regenerantes entre 70 e 89 cm x regenerantes entre 50 e 69 cm (E), regenerantes entre 90 e 109 cm x regenerantes entre 70 e 89 cm (H), regenerantes entre 110 e 129 cm x regenerantes entre 90 e 109 cm (K), regenerantes entre 130 e 149 cm x regenerantes entre 110 e 129 cm (N). Bloco 3: regenerantes entre 50 e 69 cm x regenerantes com altura entre 30 e 49 cm (C), regenerantes entre 70 e 89 cm x regenerantes entre 50 e 69 cm (F), regenerantes entre 90 e 109 cm x regenerantes entre 70 e 89 cm (I), regenerantes entre 110 e 129 cm x regenerantes entre 90 e 109 cm (L), regenerantes entre 130 e 149 cm x regenerantes entre 110 e 129 cm (O).

Figure 5. Spatial dependence analysis with  $L_{12}$  function for approximate categories of Brazilian sassafras size, in Irati National Forest. Block 1: seedlings with height between 50 and 69 cm x seedlings between 30 and 49 cm (A), seedlings between 70 and 89 cm x seedlings between 50 and 69 cm (D), seedlings between 90 and 109 cm x seedlings between 70 and 89 cm (G), seedlings between 110 and 129 cm x seedlings between 90 and 109 cm (J), seedlings between 130 and 149 cm x seedlings between 110 and 129 cm (M). Block 2: seedlings between 50 and 69 cm x seedlings between 30 and 49 cm (B), seedlings between 70 and 89 cm x seedlings between 50 and 69 cm (E), seedlings between 90 and 109 cm x seedlings between 70 and 89 cm (H), seedlings between 110 and 129 cm x seedlings between 90 and 109 cm (K), seedlings between 130 and 149 cm x seedlings between 110 and 129 cm (N). Block 3: seedlings between 50 and 69 cm x seedlings between 30 and 49 cm (C), seedlings between 70 and 89 cm x seedlings between 50 and 69 cm (F), seedlings between 90 and 109 cm x seedlings between 70 and 89 cm (I), seedlings between 110 and 129 cm x seedlings between 90 and 109 cm (L), seedlings between 130 and 149 cm x seedlings between 110 and 129 cm (O).

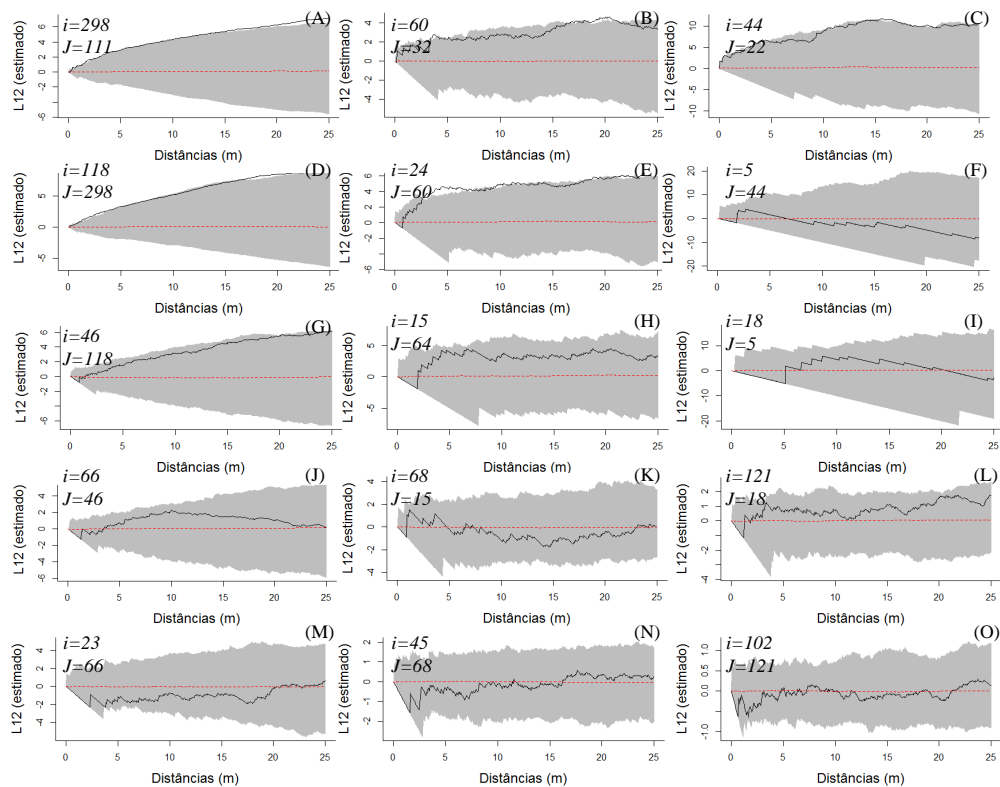


Figura 6. Análise de dependência espacial com a função  $L_{12}$  para categorias próximas de tamanho de canela-sassafrás, na FLONA de Irati. Bloco 1: regenerantes entre 150 e 299 cm x regenerantes entre 130 e 149 cm (A), regenerantes com altura igual ou superior a 300 cm e DAP < 5 cm x regenerantes entre 150 e 299 cm (D), regenerantes com DAP de 5 a 9,9 cm x regenerantes com altura igual ou superior a 300 cm e DAP < 5 cm (G), regenerantes com DAP de 5 a 9,9 cm x adultas com DAP entre 10 e 19,9 cm (J); adultas com DAP entre 10 e 19,9 cm x adultas com DAP  $\geq$  20 cm (M). Bloco 2: regenerantes entre 150 e 299 cm x regenerantes entre 130 e 149 cm (B), regenerantes com altura igual ou superior a 300 cm e DAP < 5 cm x regenerantes entre 150 e 299 cm (E), regenerantes com DAP de 5 a 9,9 cm x regenerantes com altura igual ou superior a 300 cm e DAP < 5 cm (H), regenerantes com DAP de 5 a 9,9 cm x adultas com DAP entre 10 e 19,9 cm (K), adultas com DAP entre 10 e 19,9 cm x adultas com DAP  $\geq$  20 cm (N). Bloco 3: regenerantes entre 150 e 299 cm x regenerantes entre 130 e 149 cm (C), regenerantes com altura igual ou superior a 300 cm e DAP < 5 cm x regenerantes entre 150 e 299 cm (F), regenerantes com DAP de 5 a 9,9 cm x regenerantes com altura igual ou superior a 300 cm e DAP < 5 cm (I), regenerantes com DAP de 5 a 9,9 cm x adultas com DAP entre 10 e 19,9 cm (L); adultas com DAP entre 10 e 19,9 cm x adultas com DAP  $\geq$  20 cm (O).

Figure 6. Spatial dependence analysis with  $L_{12}$  function for approximate categories of Brazilian sassafras size, in Irati National Forest. Block 1: seedlings with height between 150 and 299 cm x seedlings between 130 and 149 cm (A), seedlings with height less than 300 cm and DBH < 5 cm x seedlings between 150 and 299 cm (D), seedlings with DAP of 5 to 9.9 cm x seedlings with height 300 cm and DBH < 5 cm (G), seedlings with DAP 5 to 9.9 cm x adult with DAP between 10 and 19.9 cm (J), adult with DAP between 10 and 19.9 cm x adult with DBH  $\geq$  20 cm (M). Block 2: seedlings with height between 150 and 299 cm x seedlings between 130 and 149 cm (B), seedlings with height less than 300 cm and DBH < 5 cm x seedlings between 150 and 299 cm (E), seedlings with DAP of 5 to 9.9 cm x seedlings with height 300 cm and DBH < 5 cm (H), seedlings with DAP 5 to 9.9 cm x adult with DAP between 10 and 19.9 cm (K), adult with DAP between 10 and 19.9 cm x adult with DBH  $\geq$  20 cm (N). Block 3: seedlings with height between 150 and 299 cm x seedlings 130 and 149 cm (C), seedlings with height less than 300 cm and DBH < 5 cm x seedlings 150 and 299 cm (F), seedlings with DAP of 5 to 9.9 cm x seedlings with height 300 cm and DBH < 5 cm (I), seedlings between with DAP 5 to 9.9 cm x adult with DAP between 10 and 19.9 cm (L), adult with DAP between 10 and 19.9 cm x adult with DBH  $\geq$  20 cm (O).



## DISCUSSÃO

Os indivíduos da espécie estudada mostram diferentes padrões de interações espaciais em suas diferentes fases de crescimento ou classes de idade. Quando testada a interação espacial entre todos os indivíduos regenerantes com os adultos (possíveis matrizes), a hipótese de independência espacial (ausência de interações intraespecíficas) foi rejeitada, indicando que ocorrem interações negativas próximas às árvores-mães (distâncias até 5 m). Assim, foi demonstrada a tendência de repulsão entre essas categorias, evidenciando competição intraespecífica e preferência das regenerantes por habitats específicos fora da área de projeção das copas dos adultos. O habitat é um fator importante nos padrões de distribuição de árvores congêneres (DAVIES *et al.*, 1998), principalmente os microsítios de luz e propriedades de textura do solo (DEBUSSCHE; THOMPSON, 2003). Para Janzen (1970) e Connell (1971), as plântulas estabelecidas sob a área de influência do parental sofrem efeitos negativos da “sombra” de sua copa, têm seu crescimento suprimido e eventualmente são atacadas por predadores oriundos do próprio parental ou do solo abaixo dele. Indivíduos congêneres compartilham muitas características fenotípicas e ecológicas semelhantes e tendem a utilizar um conjunto de recursos de maneira semelhante, podendo apresentar concorrência intraespecífica (LI *et al.*, 2014), inclusive com a estratégia da autoalelopátia que pode ser exercida pela planta-mãe sobre os regenerantes mais próximos (CRAWLEY, 1986).

Já os resultados positivos significativos (Figuras 5-A, 5-B, 5-C, 5-D, 5-E, 5-F, 5-G, 5-H, 5-I, 5-J, 5-K, 5-L, 5-M, 5-N, 5-O, 6-A, 6-B, 6-C, 6-D e 6-E) demonstram que os indivíduos jovens e de tamanhos semelhantes compartilham do mesmo habitat e que ocorrem processos de facilitação ou manchas de habitat favorável com ou “em ausência” de competição. A análise dos gráficos sugere que as categorias (tamanho/idade) mais próximas e menores se atraem, e que esse comportamento traz a suposição de que os processos de competição são menos relevantes no padrão espacial dos indivíduos regenerantes com até 5 cm de DAP. Os resultados podem ser decorrentes da dispersão de sementes limitada, que leva a uma agregação na distribuição dos indivíduos. A canela-sassafrás apresenta dispersão por animais, denominada zoocoria, sendo que os grupos de animais citados como responsáveis por esse processo são principalmente aves, macacos e roedores (CARVALHO, 2005). Nesse caso, aves e macacos são potenciais dispersores primários, já que as sementes são retiradas diretamente da planta-mãe e levadas a outros locais (MELLO, 2002). Os roedores encarregam-se da dispersão secundária da canela-sassafrás, realizando o transporte de sementes que estão sobre o solo. Ambos os dispersores se alimentam em locais específicos, induzindo à regeneração agregada.

Quando os recursos são limitados, os indivíduos que possuem características ecológicas semelhantes são geralmente menos susceptíveis de coexistir num grau maior do que o esperado por acaso (WEBB *et al.*, 2002). Há evidências de que nas condições ambientais estudadas existem recursos suficientes para a coexistência dos indivíduos regenerantes de canela-sassafrás. Os solos que predominam são profundos, porosos e argilosos, do grupo Latossolo Vermelho distrófico, o que lhes confere porosidade e livre drenagem da água (EMBRAPA, 2013). Carvalho (2003) mencionou que *O. odorifera* é exigente em solos, sendo considerada espécie indicadora de alta fertilidade química, crescendo melhor em solos férteis, profundos, com drenagem boa e textura argilosa.

A intensidade de agregação reduziu-se com o aumento do tamanho dos indivíduos regenerantes, sendo que os indivíduos em categorias de tamanhos a partir de 300 cm de altura não apresentaram dependência espacial significativa. Foi possível verificar uma tendência de as interações positivas diminuírem de intensidade (menos significativas) entre indivíduos maiores. Li *et al.* (2014) estudaram quatro pares de espécies congêneres da família Lauraceae (*Lindera*, *Machilus*, *Neolitsea* e *Cryptocarya*), e os resultados apontaram que a intensidade de agregação também diminuiu com o aumento do diâmetro dos indivíduos, em nível tanto de espécie como de gênero. Para Zhang *et al.* (2007), geralmente os indivíduos jovens de uma mesma espécie tendem a se agregar, e indivíduos adultos acabam se distribuindo de forma aleatória ou uniformemente.

Não foi verificado que o maior número de indivíduos produziu maiores relações de interação, pois todos os blocos, apesar de densidades desiguais, apresentaram padrões semelhantes, e as interações não apareceram com mais frequência nos blocos 1 e 3, os que possuem as maiores densidades. Loregian *et al.* (2012), estudando uma floresta subtropical no sul do Brasil, também não encontraram relação entre os agrupamentos de 14 espécies e a abundância de indivíduos em cada unidade amostral.

Por fim, o tamanho da população de canela-sassafrás encontrada no estudo, aliado aos resultados aqui apresentados, faz surgir a necessidade de novos estudos, dessa vez enfocando a variabilidade genética que possa existir entre indivíduos e entre outras populações já estudadas no país, como fizeram Martins *et al.* (2015). Os autores estudaram adultos de nove populações geneticamente semelhantes (12% de variação), mas encontraram muita variabilidade dentro das populações (88% de variação). Kageyama *et al.* (2003) também encontraram esse padrão em duas populações do estado de São Paulo. Esses fatos evidenciam grande fluxo gênico entre os indivíduos, ao menos no passado, antes da fragmentação (para uma espécie de vida longa, os processos de

diferenciação demoram a aparecer). Uma comparação entre a população da FLONA e as demais citadas poderia render resultados embasadores de ações de conservação da espécie.

## CONCLUSÕES

- As técnicas e procedimentos apresentados neste estudo aumentam as possibilidades de compreensão da dinâmica espacial e contribuem para o embasamento de hipóteses que explicam a distribuição e a relação espacial entre indivíduos da espécie estudada.
- A ocorrência e o grau de interações espaciais variaram com a classe de tamanho dos indivíduos e a escala espacial. A tendência de apresentar interações negativas de indivíduos adultos com a regeneração em distâncias curtas evidencia competição intraespecífica em *O. odorifera* quando as árvores estão localizadas muito próximas umas das outras. Assim, podemos afirmar que a espécie apresenta competição entre indivíduos, fato determinante no padrão de distribuição espacial. Assim, a hipótese inicial foi rejeitada.
- A direção e a força das interações não variaram para as diferentes categorias de regenerantes, mas variaram destes para os indivíduos adultos. Os resultados levam a crer que a autoecologia da espécie determina sua estrutura na floresta, sendo menos influenciada pelos fatores abióticos.

## AGRADECIMENTOS

Ao PPG em Ciências Florestais e ao Depto. de Eng. Florestal da UNICENTRO, pela oportunidade e apoio para tornar este estudo possível. Ao ICMBio, pela autorização concedida (nº 25871-1) para as atividades na FLONA de Irati. Ao professor Dr. Afonso Figueiredo Filho e demais colaboradores do Laboratório de Manejo Florestal, por disponibilizarem os dados primários utilizados neste estudo. A todos que auxiliaram na coleta de dados em campo. À Capes, pela bolsa de mestrado.

## REFERÊNCIAS

- ARÉVALO J. R.; FERNÁNDEZ-PALACIOS, J. M. Spatial patterns of trees and juveniles in a laurel forest of Tenerife, Canary Islands. **Plant Ecol.**, v. 165, p. 1 - 10, 2003.
- BADDELEY, A.; TURNER, R. Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns. **Journal of Statistical Software**, v. 2, n. 6, p.1 - 42, 2005.
- CALLAWAY, R. M. Positive interactions among plants. **Botanical Review**, v. 61, p. 306 - 349, 1995.
- CARMO, F.; BORGES, E.; TAKAKI, M. Alelopátia de extratos aquosos de canela-sassafrás (*Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer). **Acta Botanica Brasílica**, v. 21, n. 3, p. 697 - 705, 2007.
- CARVALHO, P. E. R. **Canela-sassafrás**. Circular técnica, 110. Colombo: EMBRAPA, 2005. 12 p.
- \_\_\_\_\_. **Espécies florestais brasileiras**. Brasília: Embrapa - Informação Tecnológica; Colombo-PR: Embrapa Florestas, 2003, v. 2, 1036 p.
- CHEN, J.; BRADSHAW, G. A. Forest structure in space: a case study of an old growth spruce-fir forest in Changbaishan Natural Reserve, PR. China. **For. Ecol. and Manag.**, v. 120, p. 219 - 233, 1999.
- CONDIT, R.; ASHTON, P. S.; BAKER, P.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; GUNATILLEKE, S.; GUNATILLEKE, N. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. **Science**, v. 288, n. 5470, p. 1414 - 1418, 2000.
- CONNELL, J. H. On the prevalence and relative importance of interspecific competition: Evidence from field experiments. **American Naturalist**, v. 122, p. 661 - 696, 1983.
- \_\_\_\_\_. On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forest trees. In: DYNAMICS OF POPULATIONS, 1971, Wageningen, The Netherlands. Center for Agricultural Publishing and Documentation. 1971. p. 298 - 313.
- CRAWLEY, M. J. **Plant Ecology**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1986. 496 p.
- DALMASO, C. A.; INOUE, M. T.; OLIVEIRA-FILHO, P. C.; MARCELINO, V. R. Padrões espaciais na regeneração de *Ocotea odorifera* na Floresta Nacional de Irati, PR. **Floresta**, v. 43, n. 2, p. 301 - 312, 2013.
- DA VIES, S. J.; PALMIOTTO, P. A.; ASHTON, P. S.; LEE, H. S.; LAFRANKIE, J. V. Comparative ecology of 11 sympatric species of Macaranga in Borneo: tree distribution in relation to horizontal and vertical resource

FLORESTA, Curitiba, PR, v. 46, n. 1, p. 103 - 114, jan. / mar. 2016.

heterogeneity. **J. Ecol.**, v. 86, n. 4, p. 662 - 673, 1998.

DEBUSSCHE, M.; THOMPSON, J. D. Habitat differentiation between two closely related Mediterranean plant species, the endemic *Cyclamen balearicum* and the widespread *C. repandum*. **Acta Oecologica**, v. 24, n. 1, p. 35 - 45, 2003.

DIGGLE, P. J. **Statistical analysis of spatial point patterns** (2nd ed.). London: Arnold, UK, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 763 - 776, 2010.

FOWLER, N. F. The role of competition in plant communities in arid and semiarid regions. **Ann. Rev. Ecol. Syst.** v. 17, p. 89 - 110, 1986.

GOREAUD, F.; PÉLISSIER, R. Avoiding misinterpretation of biotic interactions with the intertype K12-function: population independence vs. random labelling hypotheses. **Journal of Vegetation Science**, v. 14, n. 5, p. 681 - 692, 2003.

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C. da; van den BERG, E.; DANIEL S. P. Associações espaciais entre indivíduos de diferentes espécies de *Miconia* spp. RUIZ & PA V. (Melastomataceae). **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 381 - 389, 2011.

INMET. **Dados Históricos 1966 a 2014 - Estação: 83836 - IRATI - PR**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 14/03/2015.

JANZEN, D. H. Herbivores and the number of the tree species in tropical forest. **Am. Nat.**, v. 104, p. 501 - 528, 1970.

KAGEYAMA, P. Y.; CUNHA, G. C.; BARRETO, K. D.; GANDARA, F. B.; CAMARGO, F. R. A.; SEBBENN, A. M. Diversidade e autocorrelação genética espacial em populações de *Ocotea odorifera* (Lauraceae). **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 108 - 119, 2003.

LI, L.; YE, W. H.; WEI, S. G.; LIAN, J. Y.; HUANG, Z. L. Spatial Patterns and Associations between Species Belonging to Four Genera of the Lauraceae Family. **PLoS ONE**, v. 9, n. 11, p. 1 - 11, 2014.

LOREGIAN, A. C.; SILVA, B. B.; ZANIN, E. M.; DECIAN, V. S.; HENKE-OLIVEIRA, C.; BUDKE, J. C. Padrões espaciais e ecológicos de espécies arbóreas refletem a estrutura em mosaicos de uma floresta subtropical. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 3, p. 593 - 606, 2012.

LOTWICK, H. W.; SILVERMAN, B. W. Methods for analysing spatial processes of several types of points. **Journal of the Royal Statistical Society**, Série B, v. 44, p. 406 - 413, 1982.

MARTINS, E. M.; LAMONT, R. W.; MARTINELLI, G.; LIRA-MEDEIROS, C. F.; QUINET, A.; SHAPCOTT, A. Genetic diversity and population genetic structure in three threatened *Ocotea* species (Lauraceae) from Brazil's Atlantic Rainforest and implications for their conservation. **Conservation Genetics**, v. 16, p. 1 - 14, 2015.

MAZZA, C. A. S. **Caracterização ambiental da paisagem da Microregião Colonial de Irati e zoneamento ambiental da Floresta Nacional de Irati, PR**. 147f. Tese (Doutorado em Ciências. Área concentração em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

MELLO, M. A. R. **Distribuição espacial de plantas em florestas neotropicais**. 15 f. Monografia (Disciplina: Ecologia de Populações de Plantas) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

R Development Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>.

RIPLEY, B. D. Modeling spatial patterns (with discussion). **Journal of the Royal Statistical Society**, series B, v. 39, n. 2, p. 172 - 212, 1977.

RODE, R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. do A.; GALVÃO, F. Grupos florísticos e espécies discriminantes em povoamento de *Araucaria angustifolia* e uma Floresta Ombrófila Mista. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 255 - 268, 2011.

WEBB, C. O.; ACKERLY, D. D.; MCPEEK, M. A.; DONOGHUE, M. J. Phylogenies and community ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.33, p. 475 - 505, 2002.

ZHANG, J.; HAO, Z.; SONG, B.; YE, J.; LI, B.; YAO, X. Spatial distribution patterns and associations of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis* in broad-leaved Korean pine mixed forest in Changbai Mountains. **The journal of applied ecology**, v.18, p. 1681 - 1687, 2007.