

# Métodos de processos pontuais para análise de interação entre árvores de espécies nativas da Amazônia

Elianara Martins de Almeida <sup>1</sup>, João Domingos Scalón <sup>2</sup>, Marcos Antonio Isaac Júnior <sup>3</sup>

## 1 Introdução

As florestas tropicais se destacam por possuírem uma diversidade de espécies arbóreas muito maior do que em outras florestas (CHESSON, 2000). De acordo com Wright (2002), a diversidade de espécies é limitada pela concorrência, sendo que os concorrentes superiores crescem abundantemente ou ainda, outras espécies são excluídas. Assim, um desafio relevante em ecologia florestal é compreender os padrões espaciais das árvores, tendo em vista o grande número de espécies que podem coexistir em comunidades arbóreas, e, principalmente, com a finalidade de desenvolver estratégias para a preservação das florestas.

Há uma enorme preocupação com a conservação das florestas tropicais, pois elas estão desaparecendo em todo mundo assustadoramente. Grande parte desse desaparecimento se deve à agricultura itinerante, à formação de pastagens e à atividade madeireira, tida como principal causa do desmatamento sem controle ocorrido nos trópicos (SILVA, 1996).

Nesse cenário, investigar a distribuição espacial de espécies arbóreas em florestas tropicais nativas é importante para auxiliar no planejamento do manejo sustentável e aproveitamento racional dos recursos florestais (NASCIMENTO; CARVALHO; LEÃO, 2002). Segundo Souza et al. (2006), a maioria das florestas tropicais nativas da Amazônia tem sido explorada de forma insustentável, sem aplicação dos critérios de sustentabilidade do manejo florestal, o que caracteriza perda da cobertura florestal e da diversidade de espécies, antes mesmo que se tenha o conhecimento mais aprofundado de algumas dimensões dessa riqueza natural.

Métodos de processos pontuais que consideram na análise a própria localização do evento de interesse, têm sido utilizados em alguns estudos de espécies arbóreas (FLUGGE; OLHEDE; MURRELL, 2014; ROCKWELL et al., 2017), principalmente quando tem-se o interesse em explorar a relação da localização do evento com algum atributo, o qual é denominado processos pontuais marcados. Entre os métodos para analisar a dependência entre as árvores, a função  $K$  de Ripley (1976) é uma das funções mais utilizadas, pois permite detectar padrões espaciais em diferentes escalas espaciais. A função  $J$ , introduzida por Van Lieshout e Baddeley (1996), pode ser utilizada não somente para quantificar interações entre eventos pontuais, mas também para determinar o alcance das interações existentes entre os eventos. Entretanto, apesar de sua flexibilidade, a função  $J$  não tem sido explorada para quantificar interações espaciais entre as árvores madeiras comerciais, nem para determinar o alcance das interações existentes entre essas espécies. Dentro desse contexto, os objetivos deste trabalho são utilizar as funções  $K$  e  $J$  não marcadas para analisar o padrão espacial univariado de espécies nativas comerciais e as funções  $K$  e  $J$  bivariadas marcadas para analisar as interações entre duas ou mais espécies comerciais (para esse trabalho foi utilizado diâmetro mínimo de corte maior ou igual a 30 cm) em uma

<sup>1</sup>UFMT. e-mail: [martinsnaraa@gmail.com](mailto:martinsnaraa@gmail.com)

<sup>2</sup>UFLA. e-mail: [scalon@des.ufla.br](mailto:scalon@des.ufla.br)

<sup>3</sup>UFLA. e-mail: [maisaacjr@yahoo.com.br](mailto:maisaacjr@yahoo.com.br)

grande área da floresta Amazônica com o intuito de fornecer subsídios para o planejamento do manejo florestal sustentado.

## 2 Material e Métodos

O local de coleta de dados foi na Fazenda Canary, localizada no município de Bujari, Acre. A propriedade consta com uma área total de 15.810,1408 ha, sendo a reserva legal de 8.446,8 ha e uma área efetiva de manejo florestal de 4.465,898 ha. Entretanto, no presente estudo foi utilizada uma área parcial de 2.601,97 ha.

Neste estudo, para as análises espaciais foram utilizadas as espécies: cumaru-ferro (*Dipteryx odorata*), garapeira (*Apuleia leiocarpa*) e sumaúma (*Ceiba samauma*), as quais foram as três espécies mais exploradas legalmente no Acre no período de 2005 a agosto de 2012 (SILVA et al., 2015).

Com o intuito de analisar os efeitos de primeira ordem de cada espécie na área estudada, foi usada a função de alisamento de kernel, com função densidade de probabilidade gaussiana, em que o valor adequado do raio de influência  $h$  foi encontrado por meio do erro quadrático médio, obtido por validação cruzada.

As funções  $L$  (função  $K$  transformada) e  $J$  não marcadas univariadas foram empregadas para investigar o padrão espacial de cada espécie (DIGGLE, 2013). Para testar se os desvios são significativos em relação à Completa Aleatoriedade Espacial - CAE, foram realizadas 999 simulações Monte Carlo para a obtenção de envelopes de confiança.

Para verificar a interação espacial das combinações, duas a duas, das espécies foram utilizadas as funções  $L$  e  $J$  marcadas bivariadas. A hipótese escolhida para testar a ausência de interação entre duas espécies é a hipótese de independência. Foram realizadas 999 simulações de um modelo toroidal (BADDELEY; RUBAK; TURNER, 2015).

Como o formato da área desse estudo é um polígono irregular, a distância máxima utilizada pela função  $K$  foi obtida por intermédio pela aproximação de 1/4 do menor lado de um retângulo que envolve o polígono. A distância máxima para a função  $J$  foi calculada com base no histograma das distâncias de cada ponto para o vizinho mais próximo do processo, em que foi considerado o maior valor entre as classes do histograma. Assim, a função  $L$  foi avaliada para uma distância máxima de 1200 m, enquanto a função  $J$  foi avaliada para uma distância máxima de 150 m.

As análises serão realizadas por meio do *software* R (2017), versão 3.4.1, com o uso do pacote *spatstat* (BADDELEY; TURNER, 2005).

## 3 Resultados e Discussões

Inicialmente, foi realizada uma análise exploratória sobre os efeitos de primeira ordem por meio do alisamento de kernel. Observa-se na Figura 1 que, aparentemente, as árvores da espécie cumaru-ferro estão distribuídas de forma aleatória, enquanto as espécies garapeira e sumaúma apresentam áreas com cores que poderiam ser classificadas como sendo de baixas e altas intensidades de árvores. Entretanto, as legendas mostram que a diferença entre as maiores e menores intensidades são muito pequenas. Nesse sentido, toda a análise a seguir será realizada considerando que o processo estocástico é homogêneo, ou seja, estaremos considerando que não existem fatores (rios, relevo, altitude, etc.) que poderiam estar acarretando possíveis agrupamentos de árvores. A presença de agrupamentos e/ou

regularidade na distribuição das árvores será devido, exclusivamente, a interação existente entre as árvores.

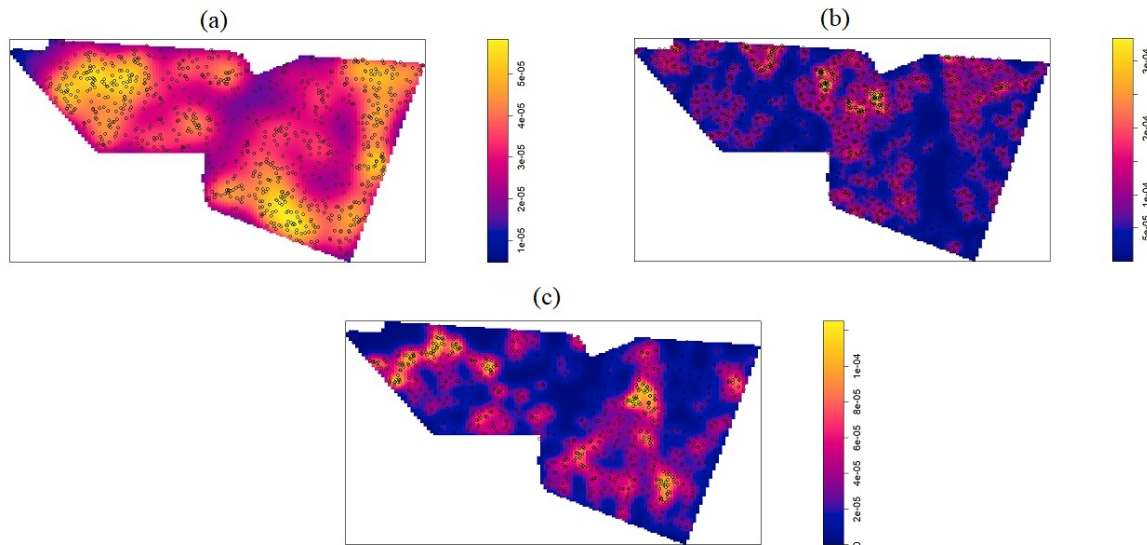


Figura 1: Distribuição espacial das estimativas de intensidades por meio do alisamento de kernel para: (a) cumaru-ferro, (b) garapeira e (c) sumaúma.

Fonte: Do autor (2018).

A configuração espacial para as três espécies estudadas foi investigada por meio das funções  $L$  e  $J$  homogêneas não marcadas conforme podem ser vistas na Figura 2. Observa-se que pela função  $L$  todas as espécies apresentaram interação para agrupamentos. As espécies garapeira e sumaúma (Figuras 2 (b) e (c)) apresentam tendência para agrupamentos para todas as escalas, enquanto para a espécie cumaru-ferro a hipótese de Completa Aleatoriedade Espacial foi rejeitada na escala entre 200 m a 900 m, indicando agrupamento nesta escala (Figura 2 (a)).

A função  $J$  levou a rejeição da hipótese de CAE em direção para uma configuração com agrupamentos para as espécies garapeira e sumaúma (Figuras 2 (e) e (f)). As árvores da espécie garapeira apresentam-se agrupadas na escala entre 10 m a 150 m, enquanto as árvores da espécie sumaúma indicam agrupamento em todas as escalas. A função  $J$  não apresenta evidências estatísticas para rejeitar a hipótese da CAE para a distribuição espacial das árvores da espécie cumaru-ferro (Figura 2 (d)).

Em geral, a distribuição espacial das espécies arbóreas estudadas neste trabalho pelas funções  $L$  e  $J$  é agregada. Segundo Condit et al. (2000), configurações agregadas de árvores coespecíficas são mais frequentes em florestas tropicais. Essa dinâmica pode ser resultante de alguns fatores como as condições topográficas, a limitação da dispersão de sementes e as relações inter e intraespecíficas.

A mensuração da dependência espacial entre as espécies foi realizada por meio das funções  $L$  e  $J$  homogêneas marcadas bivariadas e os resultados das combinações, duas a duas, para as três espécies são mostradas na Figura 3.

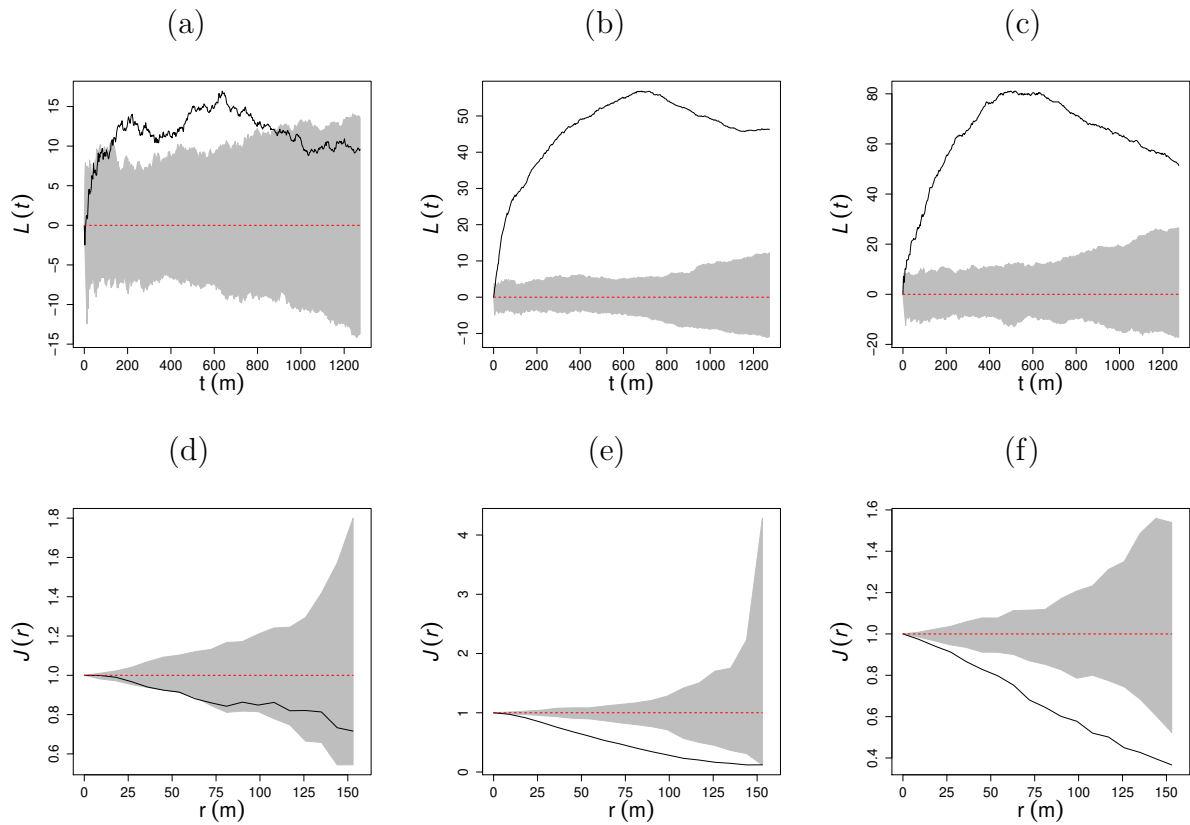


Figura 2: Envelopes de simulações Monte Carlo das funções univariadas  $L$  e  $J$  para: (a) cumaru-ferro (b) garapeira (c) sumaúma (d) cumaru-ferro (e) garapeira e (f) sumaúma. As linhas cinzas contínuas indicam limites inferior e superior, a linha preta contínua indica a função estimada e a linha vermelha tracejada indica a função teórica.

Fonte: Do autor (2018).

A mensuração da dependência espacial entre as espécies foi realizada por meio das funções  $L$  e  $J$  homogêneas marcadas bivariadas e os resultados das combinações, duas a duas, para as três espécies são mostradas na Figura 3. As funções  $L$  e  $J$  indicam que a hipótese de independência entre as espécies deve ser rejeitada, mostrando que as espécies apresentam uma tendência para a repulsão. Enquanto a função  $L$  mostra que a hipótese nula de independência entre as espécies analisadas deve ser rejeitada para todas distâncias avaliadas, a função  $J$  mostra diferentes distâncias de rejeição da hipótese nula. Para a interação das espécies cumaru-ferro e garapeira, a rejeição da hipótese nula ocorre na escala entre 50 m e 125 m. Já a interação garapeira e sumaúma apresentou repulsão em uma escala mais ampla, acima de 50 m. A interação entre cumaru-ferro e sumaúma apresentou repulsão em torno de 100 m.

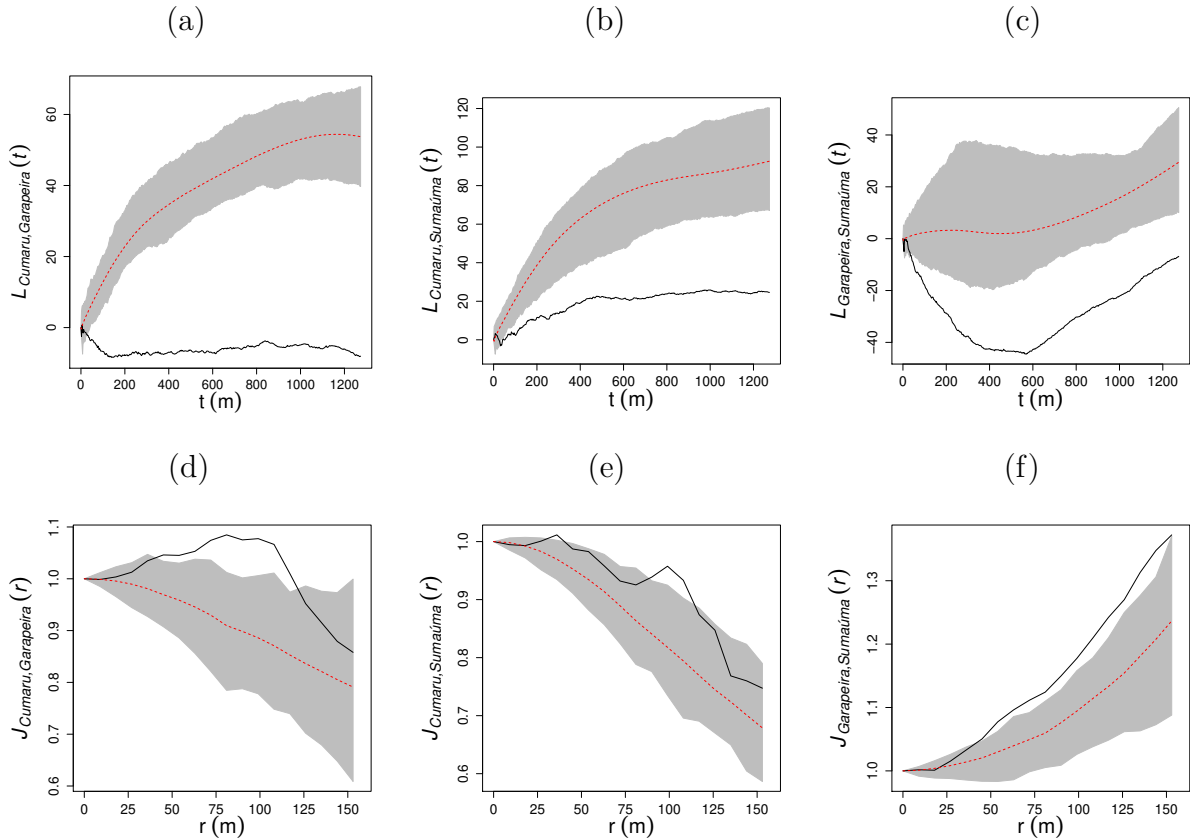


Figura 3: Envelopes de simulações Monte Carlo das funções bivariadas  $L$  e  $J$  para: (a) cumaru-ferro e garapeira (b) cumaru-ferro e sumaúma (c) garapeira e sumaúma (d) cumaru-ferro e garapeira (e) cumaru-ferro e sumaúma (f) garapeira e sumaúma. As linhas cinzas contínuas indicam limites inferior e superior, a linha preta contínua indica a função estimada e a linha vermelha tracejada indica a função teórica.

Fonte: Do autor (2018).

Os resultados demonstram que a função  $J$  é mais adequada para descrever as propriedades de segunda ordem em escalas menores da configuração espacial, enquanto a função  $L$  é mais apropriada para as escalas maiores. Esses resultados corroboram os estudos descritos por Baddeley, Rubak e Turner (2015) e Van Lieshout e Baddeley (1996). De um modo geral, a função  $L$  tem um melhor desempenho, pois permite encontrar padrões espaciais em diferentes níveis de escala. Porém, a função  $J$  é uma boa alternativa quando deseja-se analisar padrões em escalas menores.

## 4 Considerações Finais

Os resultados obtidos neste trabalho mostram a importância de analisar tanto as propriedades de primeira ordem como as propriedades de segunda ordem na análise de configurações pontuais. Além disso, o trabalho mostrou que é recomendável utilizar, pelo menos, dois descritores para avaliar diferentes aspectos das propriedades de segunda ordem do processo estocástico espacial. Neste trabalho, as funções  $L$  e  $J$  (univariada e

bivariada) foram utilizadas com sucesso, para caracterizar as interações existentes entre três espécies (garapeira, sumaúma e cumaru-ferro) nativas da Floresta Amazônica.

## Referencias Bibliográficas

- BADDELEY, A.; TURNER, R. spatstat: An R Package for Analyzing Spatial Point Patterns. *Journal of Statistical Software*, S.I. v. 12, Issue 6, p. 1-42, jan. 2005.
- BADDELEY, A.; RUBAK, E.; TURNER, R. *Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R*. Chapman & Hall and CRC Press, London. 2015.
- CHESSON, P. General theory of competitive coexistence in spatially varying environments. *Theoretical Population Biology*. v. 58, p. 211-37, 2000.
- CONDIT, R. et al. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*. v. 288, p. 1414-1418, 2000.
- DIGGLE, P. J. *Statistical Analysis of Spatial and Spatio-Temporal Point Patterns*. 3. ed. Boca Raton: C. Hall/CRC Monographs on Statistics and Applied Probability, p. 297, 2013.
- FLUGGE, A. J.; OLHEDE, S. C.; MURRELL, D. J. A method to detect subcommunities from multivariate spatial associations. *Methods Ecol Evol*, v. 5, p. 1214-1224. 2014.
- NASCIMENTO, N. A. do; CARVALHO, J. O. P. de; LEÃO, N. V. M. Distribuição espacial de espécies arbóreas relacionada ao manejo de florestas naturais. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 37, p. 1-20, 2002.
- R Core Team 2017. R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- ROCKWELL, C. A. et al. Spatial distribution of *Bertholletia excelsa* in selectively logged forests of the Peruvian Amazon. *Journal of Tropical Ecology*, v. 33, p. 114-127, 2017.
- SILVA, F. A. P. R. C. et al. Quantificação e avaliação das principais espécies florestais licenciadas no estado do Acre de 2005 a 2012. *Floresta Ambiente*, v. 22, n. 4, 2015.
- SILVA, J. N. M. Manejo florestal. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*, Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental. 2.ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1996.
- VAN LIESHOUT, M.N.M.; BADDELEY A.J. A nonparametric measure of spatial interaction in point patterns. *Statistica Neerlandica*, v.50, p. 344-361, 1996.
- WRIGHT, S. J. Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence. *Oecologia*, Berlin, v. 130, p. 1-14. 2002.