



**GUILHERME DRUMOND SILVEIRA**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL EM PEQUENA ESCALA DE  
INDIVÍDUOS ARBÓREOS NO CERRADO**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**GUILHERME DRUMOND SILVEIRA**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL EM PEQUENA ESCALA DE  
INDIVÍDUOS ARBÓREOS NO CERRADO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dra. Renata Dias Françoso Brandão

Orientadora

Me. Thiago Magalhães Meireles

Coorientador

**LAVRAS - MG**

**2023**

**GUILHERME DRUMOND SILVEIRA**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL EM PEQUENA ESCALA DE  
INDIVÍDUOS ARBÓREOS NO CERRADO**

**SPATIAL DISTRIBUTION OF TREE INDIVIDUALS AT  
SMALL SCALE IN THE CERRADO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em: 23 de novembro de 2023

EXAMINADOR 1: Dra. Renata Dias França Brandão - UFLA

EXAMINADOR 2: Dra. Thiza Falqueto Altoé - UFLA

EXAMINADOR 3: Dr. Aloysio Souza de Moura - UFLA

Prof. Dra. Renata Dias França Brandão

Orientadora

Me. Thiago Magalhães Meireles

Coorientador

**LAVRAS - MG**

**2023**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao ensino superior público gratuito e de qualidade que tive acesso através dessa instituição. Aos professores que vão além e nos motivam a continuar. Aos técnicos que nos dão o suporte para persistir. Aos funcionários terceirizados que criam a base necessária para esta perdurar. Muito obrigado UFLA

A minha mãe, que tolerou minhas ausências e me deu o apoio que eu precisava para ir. A minha irmã mais nova, que a falta de participar da sua vida não tenha sido em vão. A minha irmã mais velha, por me mostrar os caminhos antes de eu trilhá-los.

Aos bons amigos, companheiros e companheiras que vieram e foram ao longo da graduação, que continuemos juntos apesar da distância. Agradeço especialmente aos presentes nesse último ano, que trouxeram a leveza e a vontade de continuar em períodos tão complicados e entenderam minhas faltas.

À minha orientadora, Renata Françoso, que entregou apoio e bom humor. Ao Giovani Festa Paludo, pelo seu conhecimento colocado à disposição deste trabalho.

Obrigado!

.

## RESUMO

A distribuição espacial das espécies na paisagem é um dos pilares para melhor compreensão da estrutura das comunidades arbóreas. Conhecer o padrão espacial de uma espécie é útil para analisar outros processos ecológicos daquela população, como estratégias de reprodução, uso de recursos e dispersão de sementes, auxiliando em ações de restauração e manejo de ecossistemas ameaçados como o Cerrado. Quando olhamos para uma população, os padrões formados podem ser agregado, aleatório ou regular dependendo da escala em que se observa. A interação entre duas espécies pode ser de atração ou de repulsão, ou não apresentar nenhuma dependência espacial. Com isso, buscamos estimar o padrão de distribuição para algumas espécies arbóreas do Cerrado e analisar se existe alguma relação espacial de agregação ou repulsão entre as espécies mais dominantes na paisagem. Para a análise do padrão de distribuição espacial das espécies, utilizamos dados vindos de uma parcela de 100 x 100 metros em um fragmento de cerrado em Itirapina-SP. Todas as árvores com mais de 5 cm de diâmetro a 30 cm do solo tiveram suas coordenadas x e y em metros anotadas em relação a sub parcela de 20 x 20 metros em que se inseria, e sua espécie foi identificada. Utilizamos o índice de Clark Evans para determinar o quão não aleatório é o padrão de cada espécie inventariada. As 5 espécies mais dominantes na paisagem foram escolhidas para analisar a interação de dependência espacial utilizando a função K de Ripley bivariada, totalizando 10 combinações par a par. Todas as espécies analisadas apresentaram algum nível de agregação pelo índice de Clark Evans, sendo *Virola sebifera* e *Pouteria torta* as que apresentaram maior agregação dentre as mais abundantes. *Blepharocalyx salicifolius* e *Miconia rubiginosa* ocorreram agregadas na paisagem, demonstrando atração, enquanto *Miconia rubiginosa* e *Qualea grandiflora* demonstraram repulsão a distâncias maiores que 4,8 metros. Os resultados obtidos corroboram com outros estudos que apontam a predominância do padrão agregado para espécies nativas do Cerrado. A capacidade de se reproduzir vegetativamente e a presença de manchas de recursos no solo foram os principais fatores apontados para a ocorrência agregada das espécies no Cerrado.

Palavras-chave: Padrão de distribuição espacial. Cerrado. K de Ripley. Clark Evans. Mancha de recursos

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	6
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1.	O comportamento espacial dos indivíduos arbóreos no cerrado	8
2.2.	As funções de padrões de distribuição pontual	9
3.	METODOLOGIA	11
3.1.	Base de dados e sítio amostral	11
3.2.	Análises	12
3.2.1.	O índice de Clark Evans	12
3.2.2.	A função de K de Ripley bivariado	12
4.	RESULTADOS	15
4.1.	Padrão de distribuição das espécies	15
4.2.	Interação espacial entre as espécies	16
5.	DISCUSSÃO	19
6.	CONCLUSÃO	22
	REFERÊNCIAS	23

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é um mosaico de florestas, campos e savanas ocupando a região central do Brasil (RIBEIRO; WALTER, 1998). Corresponde a maior savana neotropical em extensão, contendo a maior diversidade de flora para esse tipo de ambiente no mundo. Possui grande importância para conservação da biodiversidade e manutenção dos serviços ecossistêmicos, sendo, no entanto, o bioma brasileiro mais ameaçado pela conversão de áreas nos últimos 40 anos (BONANOMI et al., 2019; RATTER, 1997).

Estratégias de estabelecimento de áreas prioritárias para a conservação, restauração e manejo desse ecossistema dependem do acesso de gestores a uma gama de informações. A forma como as espécies arbóreas se distribuem na paisagem é um pilar para a compreensão da estrutura de comunidades de plantas, e seu entendimento permite analisar outros processos ecológicos importantes como competição, reprodução e dispersão de sementes (BAROT; GIGNOUX; MENAUT, 1999).

Existem três tipos gerais de padrões espaciais observados: agregado, ao acaso e regular (BEGON; COLIN, 2023). Diversos fatores influenciam no padrão de distribuição das espécies, sendo a dispersão, manchas de recursos, competição intraespecífica e interespecífica e preferências de habitats processos cruciais para determinar a forma como as populações ocupam a paisagem (KERSHAW, 1958).

No Cerrado, a reprodução vegetativa é comum devido à capacidade de rebrota das árvores por meio de raízes e fustes, gerando muitas vezes um padrão de distribuição agregado (LIMA-RIBEIRO, 2007). Portanto, conhecer as espécies que apresentam esse comportamento pode direcionar esforços de pesquisa sobre restauração a partir da propagação vegetativa (BECHARA, 2006).

Testes de distribuição de pontos são aplicados para determinar o padrão espacial dos indivíduos, sendo a hipótese nula a de completa aleatoriedade. A função K de Ripley (1977) é proeminente nos estudos de ecologia florestal devido sua capacidade de captar o padrão ao longo de vários raios de distância (DOS ANJOS et al., 2004). Se apresenta ainda na forma bivariada, onde são associadas marcas aos pontos, como duas espécies distintas. Nesse caso verificamos a dependência espacial quando as duas espécies ocorrem agregadas ou se repelindo mais do que o esperado ao acaso.

Além da função  $K(r)$ , o índice de Clark Evans também é útil quando queremos determinar o quanto não aleatório é o padrão espacial de muitas espécies, já que o índice gera um valor único comparável (CLARK; EVANS, 1954; VACEK; LEPSŠ, 1996).

Deste modo, desejamos com esse trabalho a) estimar o padrão de distribuição para algumas espécies arbóreas do Cerrado e b) analisar se existe alguma relação espacial de agregação ou repulsão entre as espécies mais dominantes na paisagem.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. O comportamento espacial dos indivíduos arbóreos no Cerrado**

Apesar do padrão de distribuição de indivíduos na paisagem fazer parte de um contínuo, podemos categorizá-los em 3 tipos básicos: aleatório (ao acaso), agregado (agrupado) e regular (uniforme). A distribuição aleatória ocorre quando a probabilidade de um indivíduo ocupar um ponto qualquer no espaço é igual para todos os pontos, gerando uma distribuição desigual relacionada a eventos aleatórios. O padrão agrupado ocorre quando os indivíduos são atraídos para locais específicos da paisagem, ou atraídos por outros indivíduos quando há uma facilitação. A distribuição regular ocorre quando indivíduos tendem a evitar outros indivíduos, gerando um padrão mais espaçado do que se esperaria ao acaso (BEGON; COLIN, 2023).

O padrão espacial dos indivíduos pode sofrer influências de diversas origens e diversos autores verificaram causas diferentes, mas que se complementam. Hutchings (1996) aponta fatores bióticos e abióticos, como a intensidade e frequência do fogo, patógenos e presença de diferentes micros habitats.

Capretz (2012) considerou a síndrome de dispersão, estratégias de ocupação do habitat e preferências de nicho como fortes influências no padrão de distribuição horizontal dos indivíduos arbóreos. Ao estudar vegetações campestres, Kershaw (1958) considerou a soma de padrões morfológicos (características da espécie), sociológicos (interações entre espécies) e fisiográficos (condições ambientais) como os principais fatores para a ocorrência de plantas agregadas.

O padrão espacial agrupado de plantas é o mais encontrado em savanas no mundo todo (HAY et al., 2000; HUBBELL, 1979). A dispersão de sementes, apesar de ocupar um papel importante na formação da estrutura espacial das comunidades, parece não ter muita influência sobre o padrão agrupado encontrado nesses ecossistemas, já que diásporos carregados por animais ou pelo vento seriam amplamente distribuídos na paisagem (JOSE; FARINAS; ROSALES, 1991).

No Cerrado, a ocorrência de espécies agregadas parece ter forte evidência em padrões morfológicos como a reprodução vegetativa (LIMA-RIBEIRO, 2007). Essa forma de reprodução clonal acontece pela brotação, com as plântulas ocorrendo próximo da planta mãe. Essa característica, presente em grande parte das espécies nativas do

Cerrado, surge como uma adaptação evolutiva ao fogo recorrente, que faz parte desse ecossistema, permitindo que a planta rebrote a partir de órgãos subterrâneos após a passagem do fogo (COUTINHO, 1982). A preferência pela reprodução vegetativa, em detrimento da reprodução sexual, deve favorecer indivíduos nesse ecossistema (HOFFMANN, 1998).

A heterogeneidade do solo, tanto em características físicas como químicas, também influencia na configuração espacial dos indivíduos vegetais (HUTCHINGS, 1996). Essas manchas de recursos, como fertilidade, profundidade, saturação por alumínio, criam micro habitats na paisagem que moldam a distribuição espacial das espécies baseadas nas suas tolerância e exigências de recursos e condições. Dentre as variáveis abióticas, o solo é a que mais influencia a ocorrência de uma espécie em detrimento de outra quando consideramos microescalas no Cerrado (FRANÇOSO, 2015).

Quando analisamos a distribuição de indivíduos no espaço, é importante considerarmos a escala observada. Em uma pequena escala, os indivíduos podem estar agrupados. Porém, o padrão pode se configurar como aleatório ou regular quando se observa em uma escala maior (LEVIN, 1992).

## **2.2. As funções de padrões de distribuição pontual**

A forma como os indivíduos se distribuem na paisagem é uma característica fundamental para o entendimento da estrutura das populações na ecologia. Para tanto, diversas metodologias foram criadas para analisar o padrão de distribuição de pontos em um espaço plano.

Muitos dos métodos partem na hipótese nula de completa aleatoriedade espacial. O índice de Clark Evans (1954) é um método baseado na quantificação da distância média de um evento (ponto) até o seu vizinho mais próximo. É gerado um valor único para toda a população, indicando o quanto não aleatório é a distribuição. O índice Clark Evans é empregado em estudos de ecologia, e já foi utilizado para avaliar, por exemplo, a distribuição espacial de cogumelos (PACHECO-COBOS et al., 2015) ou a mudança do padrão de agregação de espécies arbóreas devido aos efeitos da poluição atmosférica (VACEK et al. 1996).

A função K de Ripley é acumulativa, sendo baseada na contagem e na distância de pontos. Sua vantagem é permitir que o padrão seja estimado em diferentes raios de

distância (CAPRETZ, 2004; RIPLEY, 1979). Ainda é possível associar marcas qualitativas ou quantitativas aos pontos, quando se deseja analisar a relação de dependência ou independência entre as marcas (OLIVEIRA et al., 2022; DOS ANJOS et al., 2004). Nesse caso não estaríamos testando para a não aleatoriedade, mas investigando a relação espacial entre duas espécies, duas classes de diâmetros, dois estágios de vida, etc. (DUNCAN, 1991).

Devido sua robustez estatística, a função K de Ripley tem aparecido amplamente em estudos de ecologia florestal, e vem se mostrando uma ferramenta muito útil para avaliar o padrão de distribuição espacial dos indivíduos em diferentes escalas e testar a independência espacial entre grupos (ALMEIDA, 2018; DESSARD et al., 2004; HAASE, 1995; JARA-GUERRERO et al., 2015; MOEUR, 1993).

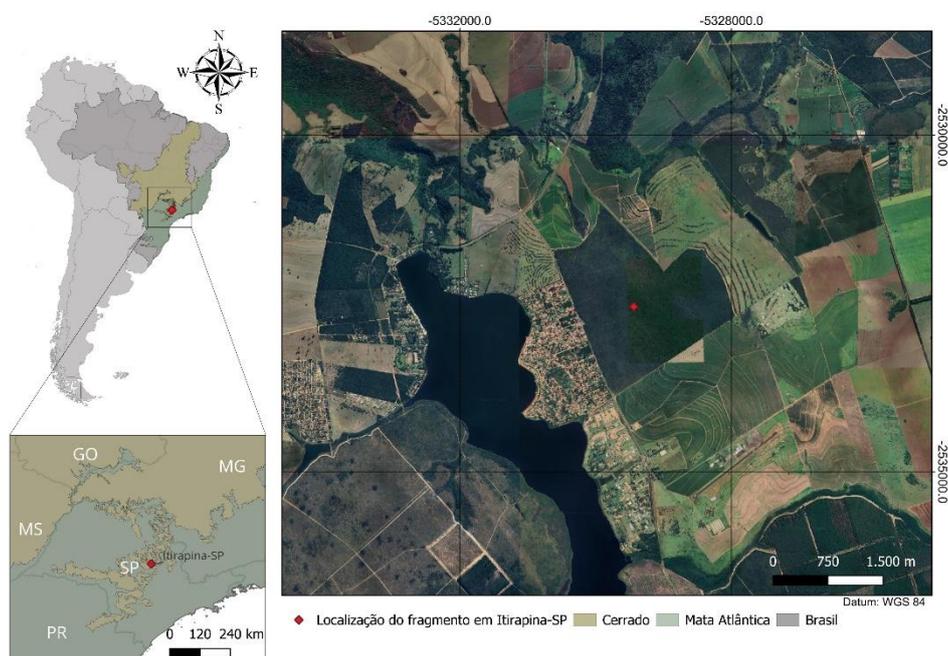
Outras funções de distribuições se destacaram na literatura, como a função J(r) proposta por Van Lieshout e Baddeley (1996), sendo uma combinação da função F(r) que quantifica os espaços vazios e a função G(r) que compara a vizinhança de um ponto arbitrário do processo com um ponto amostral fixado (ALMEIDA, 2018; DESSARD et al., 2004; RIPLEY, 1977). Portanto J(r) tem a capacidade de descrever a interação espacial e o alcance dessa interação espacial.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Base de dados e sítio amostral

Os dados foram coletados em um fragmento de cerradão de aproximadamente 326 ha localizado no município de Itirapina do estado de São Paulo. O sítio amostrado possui uma paisagem homogênea, com relevo plano e altitude média de 770 m, sem variações na fitofisionomia. O clima da região é caracterizado com invernos secos e verões quentes, se enquadrando na classificação Cwa de Köppen (ALVARES et al., 2013).

Figura 1 – Mapa da localização do fragmento de cerradão em Itirapina onde foi lançada a parcela.



Fonte: Do Autor (2023)

O levantamento foi feito em parcela de 100 x 100 m, distante da borda do fragmento, totalizando uma área de 1 hectare. A parcela foi dividida em 25 sub parcelas menores de 20 x 20 m, onde todos os indivíduos arbóreos com diâmetro maior que 5 cm a 0,30 cm do solo foram incluídos.

As coordenadas x e y dos indivíduos dentro de cada subparcela foi aferida, assim como mensurado o diâmetro a 0,30 cm e a 1,30 cm do solo. A espécie foi identificada sempre que possível. Todos os dados foram compilados e disponibilizados no site ForestPlot.net, de onde foram extraídas as informações para a realização desse trabalho.

A base de dados do inventário é composta de 2540 indivíduos únicos, distribuídos em 31 famílias e 75 espécies identificadas. Seis espécies foram identificadas apenas em nível de gênero. As 5 famílias presentes em maior número de indivíduos foram Myrtaceae (306), Melastomataceae (277), Annonaceae (269), Fabaceae (238) e Vochysiaceae (229).

### **3.2. Análises**

As análises foram feitas utilizando o software Rstudio e o pacote de análises de padrão espacial de pontos spatstat.

#### **3.2.1. O índice de Clark Evans**

O valor de agregação para cada espécie dentro da parcela foi calculado utilizando o índice de Clark Evan (1954):

$$R = 2\bar{r}\sqrt{\rho}$$

sendo  $\bar{r}$  o valor médio da distância do indivíduo até o seu vizinho mais próximo considerando todos os pontos e  $\rho$  é a densidade. Valores maiores que 1 indicam regularidade e valores menores que 1 agregação.

O índice de Clark Evans é uma medida de agregação, indicando o quanto a maneira como a espécie se distribui na paisagem se difere de um padrão de distribuição aleatório. Utilizamos uma correção de borda para o efeito de bordadura causado por indivíduos que ocorrem próximo ao limite da parcela. Essa correção é necessária já que o vizinho mais próximo de um determinado ponto pode estar na verdade fora dos limites amostrados.

É calculado um valor único para cada indivíduo dentro da janela amostral. Trata-se então de uma simplificação, útil para comparar padrões em uma população e avaliar possíveis mudanças ao longo do tempo (VACEK; LEPŠ, 1996). Neste trabalho ele foi usado para podermos comparar a forma como cada espécie se distribui na paisagem. No entanto não foi possível determinar o índice de Clark Evans para os indivíduos que ocorreram menos de 5 vezes na parcela.

#### **3.2.2. A função de K de Ripley bivariado**

Para avaliar a relação espacial entre as espécies na paisagem foi utilizada a função K de Ripley na sua forma bivariada, assumindo cada espécie como uma marca.

A função K bivariada ou cruzada analisa a relação espacial entre pares de eventos (pontos), sendo uma variação da sua forma univariada formulada por Ripley (1979). A hipótese testada é a de completa independência espacial entre os pares de eventos e é descrita pela formulação a seguir:

$$\widehat{K}_{12}(r) = \frac{1}{\widehat{\gamma}_1 \widehat{\gamma}_2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_I^{-1}(x_{1i}, x_{2j}) I(\|x_{1i} - x_{2j}\| < r) \text{ para } i \neq j \text{ e } s > 0$$

Sendo:

- $\widehat{\gamma}_1 = n_1/|A|$  número de árvores dividido pela área da região de estudos, sendo um estimador não viciado da intensidade do primeiro processo;
- $\widehat{\gamma}_2 = n_2/|A|$  número de árvores dividido pela área da região de estudos, sendo um estimador não viciado da intensidade do segundo processo;
- $W_I^{-1}(x_{1i}, x_{2j})$  é a função de correção isotrópica de bordadura;
- $I(U)$  função indicadora que assume o valor 1 (um) sempre que a condição U for verdadeira e zero, quando falsa.

Os envelopes (intervalo de confiança) foram gerados utilizando 499 simulações de Montecarlo. Valores de  $\widehat{K}(r)$  acima do envelope indicam agregação e abaixo indicam repulsão entre as espécies, sendo os valores dentro do envelope não significativos ou distribuição aleatória. A função de K tem a propriedade de estimar padrões de distribuição para várias distâncias (r em metros), tomando o primeiro evento como ponto central e construindo raios a partir dele. Sendo assim, mesmo em intervalos de distância curtos, podemos ter vários valores estimados. Como nosso interesse é verificar a diferenciação de nicho ou exclusão competitiva, não teria sentido em analisar longas distâncias, portanto utilizamos o raio máximo (r) de 6 metros, levando em conta a estrutura comum de indivíduos arbóreos no cerrado e o alcance de suas raízes.

A análise bivariada foi feita somente para as 5 espécies com maior valor de dominância relativa na área total amostrada de 1 Ha. Essas espécies foram combinadas par a par para gerar as estimativas de  $\widehat{K}(r)$ , totalizando 10 combinações possíveis.

Para melhor visualização dos resultados, os valores da função K bivariada foi transformada na sua forma linear  $\widehat{L}(r)$ , como demonstrado pela formulação abaixo (RIPLEY, 1979).

$$\widehat{L}(r) = \sqrt{\frac{\widehat{K}_r}{\pi}} - r$$

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Padrão de distribuição das espécies

Das 75 espécies que ocorreram na área inventariada, apenas 39 estavam presentes com mais de 5 indivíduos. Todas as espécies que tiveram seu padrão de distribuição testados para não aleatoriedade apresentaram valores de Clark Evans menores que 1, indicando algum nível de agregação.

Como o índice de Clark Evans indica o quanto não aleatório a distribuição é, os valores da Tabela 1 podem ser interpretados em uma escala de agregação-aleatoriedade indo de zero para o padrão mais agregado até 1 para o padrão mais aleatório (Tabela 1). No entanto o valor do índice deve ser interpretado com cautela, já que indivíduos com baixa ocorrência na paisagem podem gerar valores distorcidos para seu padrão de distribuição espacial.

Tabela 1 – Valores de Dominância Absoluta (DoA), Dominância Relativa (DoR), número de indivíduos (n) índice de Clark Evans para cada espécie amostrada na parcela. Ordenado pelo maior valor de Clark Evans (Continua).

Espécie	DoA	DoR	n	Clark Evans
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	4,7869	14,68%	97	0,9851
<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	1,0812	3,32%	60	0,9219
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	1,0311	3,16%	26	0,9084
<i>Ocotea corymbosa</i> (Meisn.) Mez	1,0824	3,32%	38	0,8799
<i>Byrsonima intermedia</i> A.Juss.	0,2740	0,84%	58	0,8333
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	1,3947	4,28%	184	0,8279
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	1,4631	4,49%	264	0,8245
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	0,1068	0,33%	34	0,8221
<i>Miconia rubiginosa</i> (Bonpl.) DC.	3,2826	10,07%	267	0,7911
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	3,7275	11,43%	156	0,7819
<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	0,2219	0,68%	42	0,7679
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	0,4935	1,51%	22	0,7529
<i>Leptolobium elegans</i> Vogel	0,0303	0,09%	7	0,7074
<i>Ouratea spectabilis</i> (Mart.) Engl.	0,2121	0,65%	18	0,6991
<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	0,6439	1,97%	123	0,6830
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Baill.	0,2124	0,65%	36	0,6767
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	0,0893	0,27%	14	0,6685
<i>Guapira areolata</i> (Heimerl) Lundell	0,3369	1,03%	41	0,6680
<i>Roupala montana</i> Aubl.	0,1680	0,52%	25	0,6260
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	1,1506	3,53%	52	0,6122
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	1,0982	3,37%	34	0,5850
<i>Ocotea pulchella</i> (Nees & Mart.) Mez	0,3928	1,20%	82	0,5836
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart. & Zucc.	0,0603	0,18%	10	0,5799
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	0,0401	0,12%	14	0,5454
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A.Juss.	0,0298	0,09%	7	0,4740
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	0,0776	0,24%	8	0,4352
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	0,3359	1,03%	13	0,4150
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	0,1508	0,46%	33	0,3963
<i>Ocotea velutina</i> (Nees) Rohwer	0,3289	1,01%	60	0,3960
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	1,2233	3,75%	104	0,3211
<i>Licania gardneri</i> (Hook.f.) Fritsch	0,0889	0,27%	8	0,3014

Tabela 1 – Valores de Dominância Absoluta (DoA), Dominância Relativa (DoR), número de indivíduos (n) índice de Clark Evans para cada espécie amostrada na parcela. Ordenado pelo maior valor de Clark Evans (Conclusão).

Espécie	DoA	DoR	n	Clark Evans
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	0,3579	1,10%	20	0,2955
<i>Diospyros burchellii</i> Hiern	0,0426	0,13%	7	0,2944
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	0,0891	0,27%	12	0,2589
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	0,0365	0,11%	9	0,2561
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	0,0213	0,07%	8	0,2425
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	1,3072	4,01%	58	0,2412
<i>Cordia macrophylla</i> (K.Schum.) Kuntze	0,0197	0,06%	6	0,1218
<i>Strychnos pseudoquina</i> A.St.-Hil.	0,0602	0,18%	10	0,1089

Fonte: Do Autor (2023)

Dentre as 10 espécies que apresentaram os menores valores de Clark Evans, ou seja, que possuem padrão de distribuição mais agregado, *Pouteria torta* (0,2412) e *Virola sebifera* (0,3211) se destacaram por serem as espécies mais presentes na paisagem, indicado pelo seu valor de dominância relativa e o número de indivíduos amostrados (Tabela 1).

As 5 espécies com maior dominância relativa, indicando maior ocupação na paisagem, foram em ordem decrescente *Anadenanthera peregrina* (14,68%), *Qualea grandiflora* (11,43%), *Miconia rubiginosa* (10,07%), *Xylopia aromática* (4,49%) e *Blepharocalyx salicifolius* (4,28%) (Tabela 1). Essas espécies foram as selecionadas para a análise de interação espacial pela função K bivariada.

#### 4.2. Interação espacial entre as espécies

Não foi observado relações de agregação ou repulsão significativas entre *A. peregrina* e *Q. grandiflora* (Figura 2). Dentre as espécies que apresentaram agregação em alguma distância, a interação entre *A. peregrina* e *M. rubiginosa* e a interação entre *A. peregrina* e *X. aromática* foi significativa para agregação de 0 a 1 metro. *A. peregrina* e *B. salicifolius* demonstraram agregação para distâncias de até 0,5 metro. *Q. grandiflora* e *X. aromática* apresentaram agregação entre 0 e 1,6 metro de distância (Figura 2).

A interação entre *M. rubiginosa* e *X. aromática* apresentou agregação em dois intervalos de distância distintos, entre 0 e 0,3 metro e entre 3 e 4,2 metros. Os resultados para a interação entre *B. salicifolius* e *M. rubiginosa* foram bem significativos para agregação, indo de 1 metro até 6 metros de distância. As espécies *X. aromática* e *B. salicifolius* também tiveram comportamento agregado bem pronunciado entre 2,6 e 6 metros (Figura 2).

Apenas 2 interações apresentaram repulsão, sendo elas a interação entre *M. rubiginosa* e *Q. grandiflora* indo de 4,8 a 6 metros e *B. salicifolius* e *Q. grandiflora* com repulsões significativas entre 1,8 e 2,2 metros e entre 2,8 e 6 metros.

Figura 2 – Localização das árvores na parcela e envelopes de confiança com valor de K de Ripley transformado para as interações entre: A) *A. peregrina* e *Q. grandiflora*, B) *A. peregrina* e *M. rubiginosa*, C) *A. peregrina* e *X. aromática*, D) *A. peregrina* e *B. salicifolius* E) *M. rubiginosa* e *Q. grandiflora*, F) *Q. grandiflora* e *X. aromática*, G) *B. salicifolius* e *Q. grandiflora*, H) *M. rubiginosa* e *X. aromática*, I) *B. salicifolius* e *M. rubiginosa* e entre J) *B. salicifolius* e *X. aromática* (Continua).

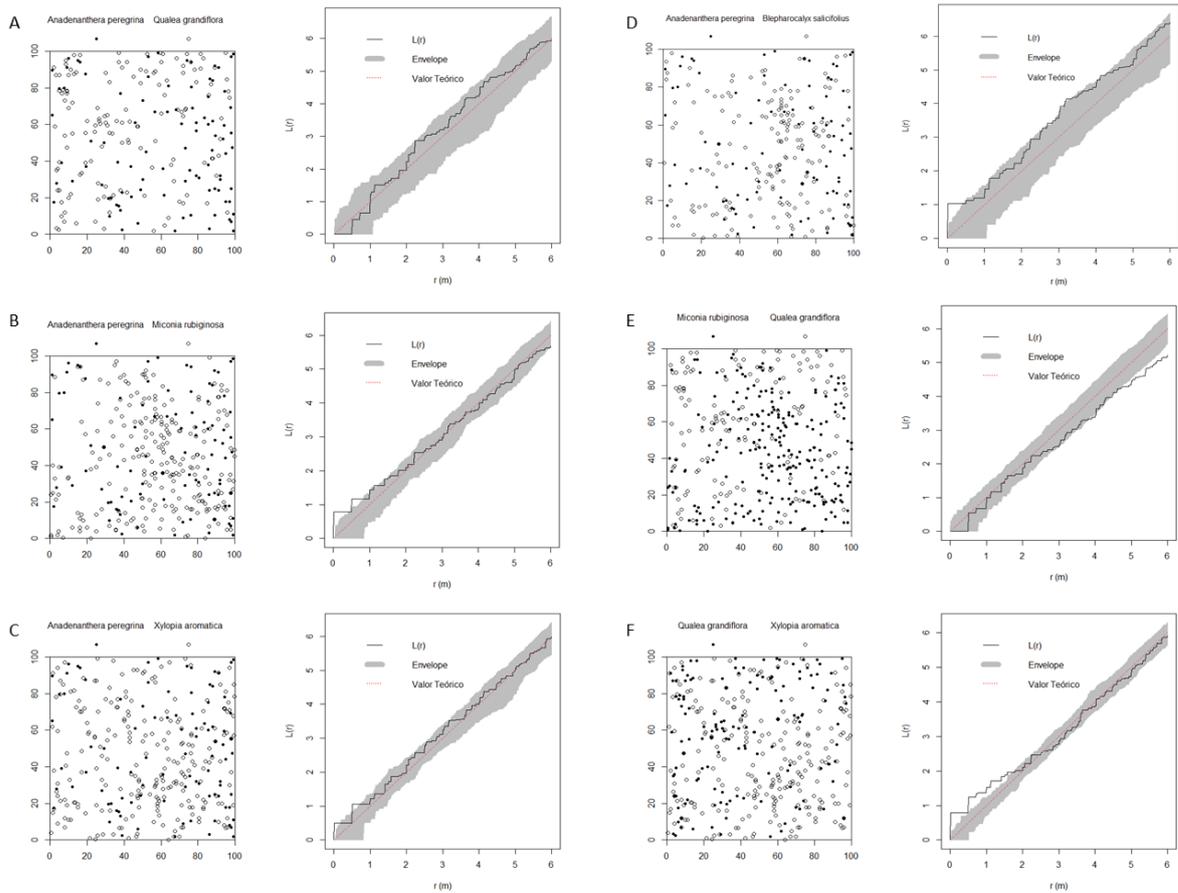
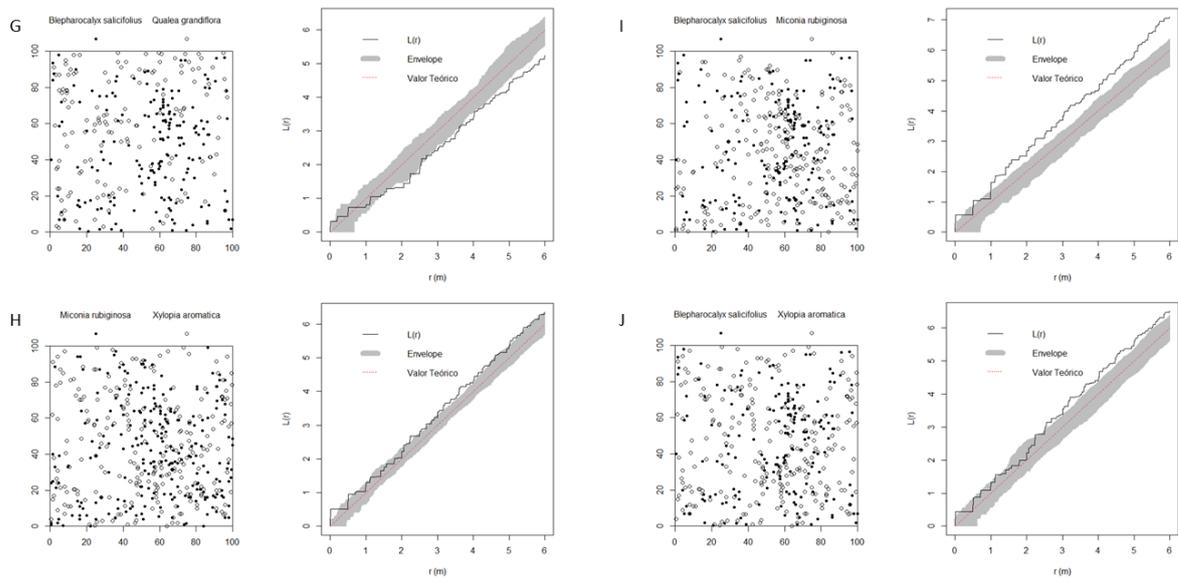


Figura 2 – Localização das árvores na parcela e envelopes de confiança com valor de K de Ripley transformado para as interações entre: A) *A. peregrina* e *Q. grandiflora*, B) *A. peregrina* e *M. rubiginosa*, C) *A. peregrina* e *X. aromática*, D) *A. peregrina* e *B. salicifolius* E) *M. rubiginosa* e *Q. grandiflora*, F) *Q. grandiflora* e *X. aromática*, G) *B. salicifolius* e *Q. grandiflora*, H) *M. rubiginosa* e *X. aromática*, I) *B. salicifolius* e *M. rubiginosa* e entre J) *B. salicifolius* e *X. aromática*. (Conclusão)



Fonte: Do Autor (2023).

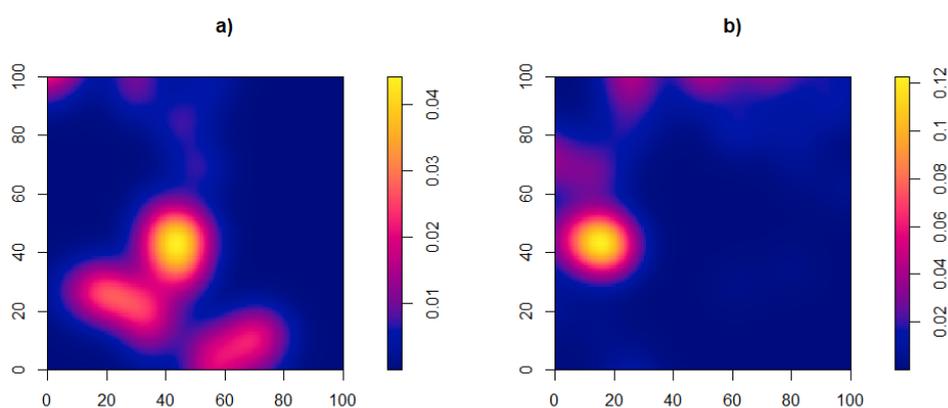
## 5. DISCUSSÃO

Vários são os fatores que influenciam a distribuição das árvores na paisagem quando olhamos em nível de comunidade e em nível de população. Ambientes mais heterogêneos correspondem a níveis mais elevados de agregação devido a concentração dos recursos em manchas no solo, enquanto ambientes mais homogêneos apresentam níveis mais baixos de agregação (CONDIT et al., 1992). A intensa competição por recursos pode levar a padrões regulares de distribuição (HAASE, 1995).

Quando falamos em nível de espécie, a síndrome de dispersão, estratégias de ocupação do habitat e preferências de nicho são fatores que influenciam na distribuição da espécie na paisagem (CAPRETZ et al., 2012).

Manchas de fertilidade no solo podem ser uma explicação para o padrão de distribuição fortemente agregado da *P. torta* e *V. sebifera*. A distribuição de ambas não se sobrepõe na paisagem como observado na Figura 3, e segundo Françoso (2015), *P. torta* tem uma preferência por solos mais férteis, enquanto *V. sebifera* ocorre preferencialmente em locais de baixa fertilidade. Em escalas menores no Cerrado, o solo é a variável ambiental que mais se expressa como uma importante condicionante para a ocorrência de determinadas espécies em detrimento de outras (FRANÇOSO, 2015).

Figura 3 — Mapa kernel da densidade de árvores a) *Pouteria torta* e b) *Virola Sebifera*



Fonte: Do Autor (2023)

Uma das variáveis que influenciam no padrão de distribuição é a síndrome de dispersão, já que a forma como os diásporos são dispersados a partir da planta mãe interferem no local de colonização de novas plântulas. No entanto, estudos prévios mostraram baixa correlação entre a síndrome de dispersão e o padrão de distribuição em

ambientes florestais secos (CHRISTIANINI et al., 2004; JARA-GUERRERO et al., 2015). Porém, existe um indicativo de determinadas espécies com dispersão por zoocoria apresentaram padrões mais agregados devido ao efeito poleiro, onde aves atraídas por uma preferência de frutos acabam dispersando as sementes de uma espécie arbórea próximo de outros indivíduos da mesma espécie (GODOY et al., 2001; MULLER-LANDAU et al., 2008).

As espécies *P. torta* e a *V. sebifera* apesar de serem ambas zoocóricas (STEFANELLO et al., 2010), carecem de mais estudos para determinar seus principais agentes dispersores, não sendo possível relacionar seu padrão de distribuição na paisagem com efeito poleiro.

A ocorrência agregada também pode ocorrer entre populações de espécies distintas. Nichos semelhantes entre as espécies e a ocorrência de manchas de recurso no solo são fatores que influenciam a ocorrência agregada. A repulsão entre duas espécies também pode ser influenciada por manchas de fertilidade no solo, porém quando os nichos efetivos não se sobrepõem (BEGON et al., 2023).

Manchas de fertilidade no solo parece ser o caso para o padrão de ocorrência agregado encontrado entre *B. salicifolius* e *M. rubiginosa* (Figura 2). França (2015) encontrou uma preferência por solos pobres para ambas as espécies em uma área de cerrado no planalto central. Enquanto *Q. grandiflora*, que ocorre em solos com maior soma de bases, e *M. rubiginosa* apresentaram repulsão a partir de 4,8 metros (Figura 2).

A repulsão apresentada entre as populações de *M. rubiginosa* e *Q. grandiflora* e entre *B. salicifolius* e *Q. grandiflora* (Figura 2) na paisagem pode ser resultado da competição interespecífica pelos recursos disponíveis. Esse processo, evolutivamente acabaria criando uma diferenciação de nicho, onde cada espécie tenderia a uma exigência de recurso e condições ambientais diferenciadas para poderem persistir na paisagem.

A ocorrência agregada parece ser uma tendência para a maioria das espécies do Cerrado que tiveram seu padrão de distribuição estudados. Das 18 populações estudadas em uma área de Cerrado em Brasília-DF por Meirelles (1995), 16 apresentaram padrão agregado. Em outra área de Cerrado próxima, as espécies lenhosas *C. brasiliense*, *P. pubescens*, *S. paniculatum* e *Q. parviflora* e duas espécies de palmeiras nativas, *S. comosa* e *S. flexuosa* apresentaram padrão agregado (SOUZA et al., 2005; HAY et al., 2000).

Esse padrão se repete para várias savanas e ecossistemas secos nos trópicos. Estudos semelhantes foram conduzidos em floresta seca na Costa Rica por Hubbel (1979), onde das 61 espécies arbóreas estudadas, 44 apresentaram padrão agregado. Em uma savana na Nigéria, Greig-Smith (1979) constatou que das 8 espécies arbóreas de maior abundância, 6 apresentaram um padrão agregado e 2 aleatório.

Um fator para a ocorrência predominante de padrões espaciais agregados no Cerrado e em savanas no geral pode ser a capacidade dessas espécies de se reproduzirem vegetativamente (LIMA-RIBEIRO, 2007). Essa reprodução ocorrida por brotação faz com que as plântulas geralmente ocorram próximo da planta mãe, aumentando a probabilidade de se encontrar padrões agregados em vez de aleatórios. Indivíduos com preferência pela reprodução sexuada podem apresentar padrões mais aleatórios de distribuição na paisagem, já que os diásporos dispersados pelo vento ou por animais percorreriam maiores distâncias (GOODLAND; FERRI, 1979; RAVEN; RAY F. E.; SUSAN, 2014).

Saber quais espécies apresentam uma preferência pela reprodução vegetativa pode servir de base para estudos de restauração utilizando propágulos vegetativos, como partes da raiz e do tronco, reduzindo custos. Conhecer as espécies que repelem ou que se agregam na paisagem pode auxiliar na criação de arranjos mais eficientes nos plantios de restauração.

## 6. CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos nesse trabalho, vimos a predominância do padrão agregado para todas as espécies estudadas. Corroborando com o que foi apontado por outros estudos com espécies nativas do Cerrado (HAY et al., 2000; MEIRELLES et al., 1995; SOUZA et al., 2005). Manchas de recurso no solo, como a soma de bases, foi um dos indicativos para a ocorrência dessa forma. Isso foi verificado tanto para as populações individuais quanto para as interações significativas entre duas populações.

As espécies que se apresentaram fortemente agregadas, como a *Virola sebifera* e *Pouteria torta*, podem estar indicando uma capacidade de reprodução vegetativa. Esse seria um ponto de partida para estudos envolvendo a reprodução dessas espécies e seu uso na restauração de ecossistemas degradados.

De forma geral, o uso de recursos foi a principal inferência feita para o comportamento demonstrado pelas espécies analisadas, sendo necessário um aprofundamento da autoecologia de cada espécie para compreender melhor os efeitos que as levam a se distribuírem de tal forma na paisagem.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. M. **Métodos de processos pontuais para análise de interação entre árvores de espécies nativas da amazônia**. 2018. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.
- BAROT, S.; GIGNOUX, J.; MENAUT, J. C. Demography of a savanna palm tree: predictions from comprehensive spatial pattern analyses. **Ecology**, v. 80, n. 6, p. 1987–2005, 1999.
- BECHARA, F. C. **Unidades Demonstrativas de Restauração Ecológica através de Técnicas Nucleadoras: Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga**. 2006. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – ESALQ/USP, Piracicaba, 2006.
- BEGON, M.; COLIN, R. T. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. 5. ed. Artmed Editora, 2023.
- BONANOMI, J. et al. Protecting forests at the expense of native grasslands: Land-use policy encourages open-habitat loss in the Brazilian cerrado biome. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 1, p. 26–31, jan. 2019.
- CAPRETZ, R. L. **Análise dos padrões espaciais de árvores em quatro formações florestais do estado de São Paulo, através de análises de segunda ordem, como a função K de Ripley**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – ESALQ/USP, Piracicaba, 2004.
- CAPRETZ, R. L. et al. Padrão espacial de quatro formações florestais do estado de são paulo, através da função k de ripley. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 3, p. 551–565, 2012.
- CHRISTIANINI, A. V et al. **Síndromes de dispersão e distribuição espacial de indivíduos de sete espécies lenhosas do cerrado**. 2004. Relatórios da disciplina NE211–PPG-Ecologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- CLARK, P. J.; EVANS, F. C. Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations. **Ecology**, v. 35, n. 4, p. 445–453, 1954.
- CONDIT, R.; HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B. Recruitment near conspecific adults and the maintenance of tree and shrub diversity in a neotropical forest. **The American Naturalist**, v. 140, n. 2, p. 261–286, 1992.
- COUTINHO, L. M. Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In: HUNTLEY, B. J.; WALKER, B. H. (Org.). **Ecology of Tropical Savannas**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, v. 42. p. 273–291, 1982.
- SOUZA, J. P.; COIMBRA, F. G. Estrutura populacional e distribuição espacial de *Qualea parviflora* mart. em um cerrado sensu stricto. **Bioscience Journal**, v. 21, n. 2, p. 65–70, 2005.
- DESSARD, H. et al. Spatial pattern of the most abundant tree species. **Ecology and management of a Neotropical Rainforest**, p. 177–190, 2004.

DOS ANJOS, A. et al. Análise do padrão de distribuição espacial da araucária. **Scientia Forestalis**, v. 66, p. 38–45, 2004.

DUNCAN, R. P. Competition and the Coexistence of Species in a Mixed Podocarp Stand. **The Journal of Ecology**, v. 79, n. 4, p. 1073, 1991.

FRANÇOSO, Renata Dias. **Padrões biogeográficos e composição das comunidades arbóreas do cerrado brasileiro**. 2015. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

GODOY, J. A.; JORDANO, P. Seed dispersal by animals: exact identification of source trees with endocarp DNA microsatellites. **Molecular Ecology**, v. 10, n. 9, p. 2275–2283, 2001.

GOODLAND, R. J. A.; FERRI, M. G. **Ecologia do Cerrado**. 1. ed. USP, 1979.

GREIG, P. Pattern in Vegetation. **Journal of Ecology**. v. 67, n. 3, p. 755-779, 1979.

HAASE, P. Spatial pattern analysis in ecology based on Ripley's K-function: Introduction and methods of edge correction. **Journal of Vegetation Science**, v. 6, n. 4, p. 575–582, ago. 1995.

HAY, J. D. et al. Comparação do padrão da distribuição espacial em escalas diferentes de espécies nativas do cerrado, em Brasília, DF. **Brazilian Journal of Botany**, v. 23, p. 341–347, 2000.

HOFFMANN, W. A. Post-burn reproduction of woody plants in a neotropical savanna: the relative importance of sexual and vegetative reproduction. **Journal of Applied Ecology**, v. 35, n. 3, p. 422–433, 1998.

HUBBELL, S. P. Tree Dispersion, Abundance, and Diversity in a Tropical Dry Forest: That tropical trees are clumped, not spaced, alters conceptions of the organization and dynamics. **Science**, v. 203, n. 4387, p. 1299–1309, 1979.

HUTCHINGS, M. J. The Structure of Plant Populations. **Plant Ecology**. p. 325–358, 1996.

JARA-GUERRERO, A. et al. Does spatial heterogeneity blur the signature of dispersal syndromes on spatial patterns of woody species? A test in a tropical dry forest. **Oikos**, v. 124, n. 10, p. 1360–1366, 2015.

JOSE, J. J. S.; FARINAS, M. R.; ROSALES, J. Spatial Patterns of Trees and Structuring Factors in a Trachypogon Savanna of the Orinoco Llanos. **Biotropica**, v. 23, n. 2, p. 114, 1991.

KERSHAW, K. A. An Investigation of the Structure of A Grassland Community: I. The Pattern of *Agrostis Tenuis*. **The Journal of Ecology**, v. 46, n. 3, p. 571, 1958.

LEVIN, S. A. The Problem of Pattern and Scale in Ecology: The Robert H. MacArthur Award Lecture. **Ecology**, v. 73, n. 6, p. 1943–1967, 1992.

LIMA-RIBEIRO, M. S. Distribuição espacial de espécies arbóreas em fragmentos de cerrado sentido restrito no planalto central brasileiro-go. **Biociências**, v. 15, n. 2, p. 160–165, 2007.

MEIRELLES, M. L.; LUIZ, A. J. B. Padrões espaciais de árvores de um cerrado em Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 18, n. 2, p. 185–189, 1995.

- MOEUR, M. Characterizing Spatial Patterns of Trees Using Stem-Mapped Data. **Forest Science**, v. 39, n. 4, p. 756-775, 1993.
- MULLER-LANDAU, H. C. et al. Interspecific Variation in Primary Seed Dispersal in a Tropical Forest. **Journal of Ecology**, v. 96, n. 4, p. 653–667, 2008.
- OLIVEIRA, A. W.; SCALON, J. D.; MELLO, J. M. Processos pontuais marcados na análise da interação entre espécies de árvores nativas na região de Lavras-MG. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematic**, v. 9, n. 1, 2022.
- PACHECO-COBOS, L. et al. Towards a traditional ecological knowledge-based monitoring scheme: a proposal for the case of edible mushrooms. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 5, p. 1253–1269. 2015.
- RATTER, J. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, n. 3, p. 223–230. 1997.
- RAVEN, P. H.; RAY F. E.; SUSAN, E. E. **Biologia Vegetal**. 8. ed. Guanabara Koogan, 2014.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. **Cerrado: Ambiente e Flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p. 89–166. 1998.
- RIPLEY, B. D. Modelling Spatial Patterns. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 39, n. 2, p. 172–192. 1977.
- RIPLEY, B. D. Tests of “Randomness” for Spatial Point Patterns. **Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)**, v. 41, n. 3, p. 368–374, 1979.
- STEFANELLO, D. et al. Síndromes de dispersão de diásporos das espécies de trechos de vegetação ciliar do rio das Pacas, Querência-MT, Querência-MT. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 141–150, 2010.
- VACEK, S.; LEPŠ, J. Spatial dynamics of forest decline: the role of neighbouring trees. **Journal of Vegetation Science**, v. 7, n. 6, p. 789–798. 1996.
- VAN LIESHOUT, M. N. M.; BADDELEY, A. J. A nonparametric measure of spatial interaction in point patterns. **Statistica Neerlandica**, v. 50, n. 3, p. 344–361. 1996.