

"Estruturação das interações planta-visitante floral em uma comunidade do Cerrado: uma perspectiva de rede de interação"

Gabrielle Ricci

Novello¹

Murilo Menck Guimarães^{1,2}

Larissa de Oliveira Leite³

Ricardo Alves Siqueira Junior²

João Vitor Pereira Carreri¹

Marina Wolowski⁴

Biodiversidade e Conservação

Resumo

O Cerrado, o segundo maior bioma do Brasil, abriga uma rica biodiversidade, incluindo muitas espécies endêmicas. Classificado como um hotspot de biodiversidade devido às constantes ameaças e degradação, o bioma já perdeu mais de 70% de sua vegetação original. Essas mudanças afetam negativamente a fauna, especialmente insetos, e comprometem interações ecológicas essenciais, como a polinização. A redução das interações entre plantas e visitantes florais prejudica a persistência e coexistência das espécies, além de comprometer a disponibilidade de recursos e o sucesso reprodutivo das plantas. O estudo dessas interações em nível comunitário é crucial para a conservação de espécies, particularmente em biomas perturbados como o Cerrado, pois permite identificar a estrutura e a resiliência da comunidade, bem como as espécies-chave que mantêm sua coesão. Este estudo teve como objetivo analisar as interações planta-visitantes florais no Parque Estadual da Serra de Boa Esperança, Minas Gerais. Foram registradas interações entre 47 espécies de plantas e 64 de visitantes florais em duas campanhas realizadas em 2023. A rede de interações apresentou baixa conectância e aninhamento, características de redes mutualistas, possivelmente devido ao pequeno número de espécies. As interações demonstraram-se especializadas e modulares, com espécies formando subgrupos que interagem fortemente entre si. A organização núcleo-periferia indicou que *Apis mellifera* ocupa um papel central, mas, como espécie invasora e competitiva, exerce pressão sobre polinizadores nativos, promovendo competição. Métricas como grau e intermediação reforçaram o papel dominante de *A. mellifera* na rede ecológica.

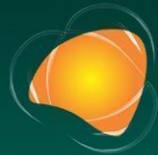
Palavras-chave: Abelhas; Conservação; Polinização.

¹Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciências da Natureza, Ciências Biológicas, gabriellenovello18@gmail.com

²Prof. Me, Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada

³Aluna do Curso de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-Graduação em Ecologia

⁴Profª. Dra., Universidade Federal de Alfenas, Instituto de Ciências da Natureza, marina.torres@unifal-mg.edu.br

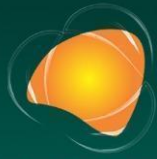


INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando 24% do território nacional, abrigando uma rica biodiversidade, sendo que muitas dessas espécies são consideradas endêmicas (Myers *et al.*, 2000). Considerado um *hotspot* de biodiversidade, o bioma enfrenta uma ampla degradação devido às ações antrópicas, como expansão agrícola, pecuária e incêndios, ocasionando a modificação da composição e configuração da paisagem, resultando na fragmentação do habitat (Myers *et al.*, 2000; Fahrig *et al.*, 2011). Tais ações foram responsáveis por alterar mais de 70% de sua cobertura vegetal original (Silva, 2015). Em suma, essa modificação é passível de desencadear alterações na biodiversidade como a redução de espécies, principalmente de insetos, e conseqüentemente, alterações de suas interações, elementos considerados essenciais para a preservação e funcionamento do ecossistema, como a polinização dos vegetais e a ciclagem de nutrientes (Potts *et al.*, 2010; Ramos *et al.*, 2020).

A redução das interações interespecíficas em uma comunidade exerce um impacto direto sobre a persistência e coexistência das espécies, como plantas e visitantes florais ao comprometer a disponibilidade de recursos essenciais à sobrevivência dos animais e à manutenção das plantas, cuja permanência depende da abundância de visitantes florais. A predição das conseqüências desta diminuição interfere tanto no sucesso reprodutivo dos vegetais quanto também sua distribuição na paisagem, alterando os padrões preexistentes (Ghazoul, 2005).

Desempenhando um papel fundamental para a manutenção do ecossistema, a polinização é reconhecida como uma importante interação intraespecífica em comunidades ecológicas, por contribuir para o sucesso reprodutivo dos vegetais, além de fortalecer a produção de alimentos agrícolas como também a restauração dos ecossistemas, impactando no bem-estar do ser humano (IPBES, 2016). Entretanto, as interações entre os pares de espécies não ocorrem de maneira exclusiva, de modo que as



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

espécies tendem a possuir diversos parceiros de interações em comunidades locais (Bascompte; Jordano, 2006). Desse modo, analisar as comunidades locais a partir de suas interações planta-visitantes florais torna-se essencial para compreender a topologia e resiliência destas comunidades, principalmente em um bioma diante das perturbações ambientais como o Cerrado (Menmott *et al.*, 2004, Bascompte; Jordano, 2006). Além disso, essa abordagem oferece a capacidade de identificar espécies que desempenham papéis fundamentais para a estabilidade da comunidade, logo, influenciando na elaboração de estratégias de conservação (Bascompte; Jordano, 2007).

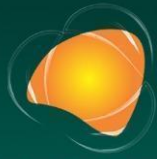
O presente estudo teve como principal objetivo analisar a topologia estrutural das interações planta-visitantes florais em uma área de Cerrado, bem como as espécies que possuem importância para essa comunidade, além de analisar e identificar quais espécies de plantas influenciam na diversidade de visitantes florais. Especificamente, foi mensurada: (1) a estruturação da rede de interação planta-visitante floral através das métricas de aninhamento, especialização, modularidade e conectância; (2) papel das espécies na rede de interação planta-visitante floral por meio dos índices de especialização, força e grau de interação. Portanto, com o objetivo de aprofundar a compreensão da dinâmica na comunidade planta-visitantes florais, os estudos das redes de interações possibilitam uma análise detalhada dessas interações e comunidades.

METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido dentro da Unidade de Conservação designada como Parque Estadual da Serra de Boa Esperança (PESBE), localizado na cidade de Boa Esperança, em Minas Gerais. Em relação à paisagem do parque, destaca-se a presença de um relevo irregular, abrangendo desde extensas chapadas planas até áreas de serras e escarpas. No entanto, o parque está localizado em uma zona de transição entre os biomas da Mata Atlântica e do Cerrado.

A coleta dos dados foi realizada em seis pontos diferentes dentro da Unidade de Conservação.

REALIZAÇÃO

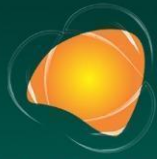


EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

As interações entre plantas e visitantes florais foram amostradas em seis transectos de 50 metros quadrados em cada ponto. A amostragem foi conduzida por três pessoas de forma que iam caminhando e realizando a observação dentro dos limites dos 50 m², com o objetivo de registrar as possíveis interações plantas-visitante floral. A observação e registro das interações ocorreu no intervalo das 09h00 às 14h00, totalizando 5 horas de observação (Bruijin; Sommeijer 1997). Quanto à coleta de dados, foram conduzidas duas campanhas ao longo do ano de 2023, realizadas nos meses de janeiro e abril. O esforço amostral foi de 12 dias amostrais, distribuídos em 6 dias de cada campanha, totalizando 60 horas. As interações planta-visitantes florais foram registradas através do método de coleta ativa. Portanto, com auxílio da rede entomológica foram realizadas as coletas dos insetos observados interagindo com as flores. Além disso, a frequência das visitas observadas em cada planta durante um período de 5 minutos foi registrada para posterior análise das métricas relacionadas à rede de interações do parque. As plantas que receberam visitas dos insetos foram registradas e posteriormente coletadas para identificação com base na literatura especializada (Souza, V. *et al.*, 2018). Após isso, foram herborizadas e inseridas na coleção do Herbário UALF da Universidade Federal de Alfenas.

As interações registradas entre plantas-visitantes florais foram utilizadas para a construção de uma matriz quantitativa, para analisar a topologia da rede de interações planta-visitantes florais, possibilitando observar padrões na organização dessas interações na comunidade (Bascompte, 2007). Esta análise foi realizada com base nos dados obtidos ao longo das duas campanhas. Com base na amostragem, foram construídas matrizes quantitativas utilizando a frequência de visitas observadas por espécie (Fründ *et al.*, 2016; Vizentin-Bugoni *et al.*, 2018), contendo espécies de plantas nas linhas e visitantes florais nas colunas. Além disso, foram calculadas as métricas de estrutura da comunidade, incluindo a conectância, o aninhamento, a modularidade e a especialização, utilizando o software R e o pacote bipartite (Dormann *et al.*, 2009).

As métricas selecionadas possuem como objetivo descrever a estrutura da comunidade ecológica. Em relação ao aninhamento, quantifica o grau em que as interações especialistas, ou menos

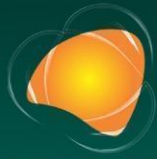


EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

abundantes, formam subconjuntos de interações generalistas, ou mais abundantes (Almeida-Neto; Ulrich 2011). A especialização voltada para o nível de comunidade procura analisar a complementaridade ou exclusividade das interações baseado na frequência de interações que ocorrem na comunidade (Blüthgen; Menzel; Blüthgen, 2006). Em termos de modularidade, quantifica a formação de grupos de espécies que apresentam interações mais fortes entre si, resultando na formação de módulos dentro da rede de interações (Olesen *et al.*, 2007). A conectância está relacionada com o nível de proporção das interações observadas dentro da comunidade (Landi *et al.*, 2018). A organização núcleo-periferia caracteriza a estrutura das interações em uma comunidade, onde as espécies do núcleo possuem um maior número de interações, tanto com outras espécies do núcleo quanto com as periféricas, tendendo a serem mais generalistas. Em contraste, as espécies periféricas têm menos interações e geralmente são mais especialistas (González *et al.*, 2020). Por fim, cada resultado obtido das métricas citadas foram avaliados por meio de comparação de modelos nulos (Vázquez; Aizen, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante as duas campanhas, foi registrado um total de 47 espécies de plantas, distribuídas entre 19 famílias, sendo as mais representativas Asteraceae (24%), Fabaceae (4%), Rubiaceae (4%) e Malpighiaceae (4%). Em relação aos visitantes florais, foram registradas 64 espécies, divididos em 5 grupos: abelhas (64%), moscas (14%), vespas (14%), besouros (6%), borboletas (3%) e outros insetos (1%). Um total de 479 interações entre plantas-visitantes florais foram registradas. Entre os visitantes, *Apis mellifera* foi a espécie com maior frequência de visitas, totalizando 238, em seguida, *Trigona spinipes* com 18 interações. Isso se deve ao fato de que são espécies de abelhas classificadas como eussociais e com formações de colônias populosas, contudo, também podem ser consideradas generalistas na coleta de recursos florais (Pigozzo; Viana 2010). Enquanto na perspectiva das plantas, Asteraceae sp.29 totalizou 32 interações, seguida de Rubiaceae sp.4 (30), *Sabicea brasilienses* (25),

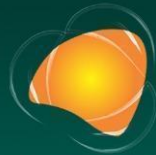


EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

Vellozia nivea (22), *Banisteriopsis campestris* (18).

Nossas análises demonstraram que a rede de interações planta-visitantes florais possuem estrutura aninhada (Figura 1), embora com um valor baixo desta métrica ($wNODF = 3,72$). O mesmo ocorreu para conectância ($C = 0,04$). Apesar desses padrões encontrados não corroboram com a literatura específica, uma vez que interações mutualistas como a polinização são comumente descritas como aninhadas e conectadas (Jordano *et al.*, 2006), comunidades com baixa riqueza de espécies tendem a não apresentar um padrão aninhado (Bascompte *et al.*, 2003). Entretanto, a rede apresentou estrutura modular ($Q = 0,56$) e especializada em nível de comunidade ($H2' = 0,64$). Dessa maneira, as interações planta-visitantes florais tendem a ocorrer entre parceiros específicos na comunidade, de modo a formar grupos de interações na comunidade (Olesen *et al.*, 2007; Blüthgen; Menzel; Blüthgen, 2006). As interações entre plantas e animais são acopladas por uma série de fatores, como morfologia das espécies interagentes e recursos florais, assim as espécies estão agrupadas com base na afinidade de interação com outras espécies (Olesen *et al.*, 2007). Apesar não ter sido testado aqui, a biodiversidade amostrada na área é um potencial explicador para as estruturas encontradas, já que possuem diferentes características que exigem comportamentos específicos, como coleta de pólen em anteras poricidas, e recursos florais que suprem as diversas necessidades dos diferentes grupos de visitantes, como óleo e néctar (Baronio *et al.*, 2018). De fato, os modelos nulos evidenciaram que ambas estruturas são diferentes do esperado ao acaso ($p < 0,05$), de modo a sugerir um fator biológico nos nossos resultados (Vázquez; Aizen, 2003).

Um aspecto importante a ser considerado é o papel central evidenciado pelos índices de organização núcleo-periferia, nível de grau e de força de interação, desempenhado por *A. mellifera* como espécie central nas interações ecológicas (Figura A1). É relevante destacar que esta espécie de abelha foi introduzida no continente americano há aproximadamente 60 anos, sendo, portanto, considerada uma espécie invasora (Gonçalves; Stort 1994). Por ser uma espécie altamente competitiva e eficiente na coleta de recursos florais, pode gerar competição com outros visitantes, como abelhas nativas, vespas e borboletas, reduzindo a disponibilidade de recursos para essas espécies nativas e, conseqüentemente, afetando o tamanho de suas populações (Goulson, 2003).



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

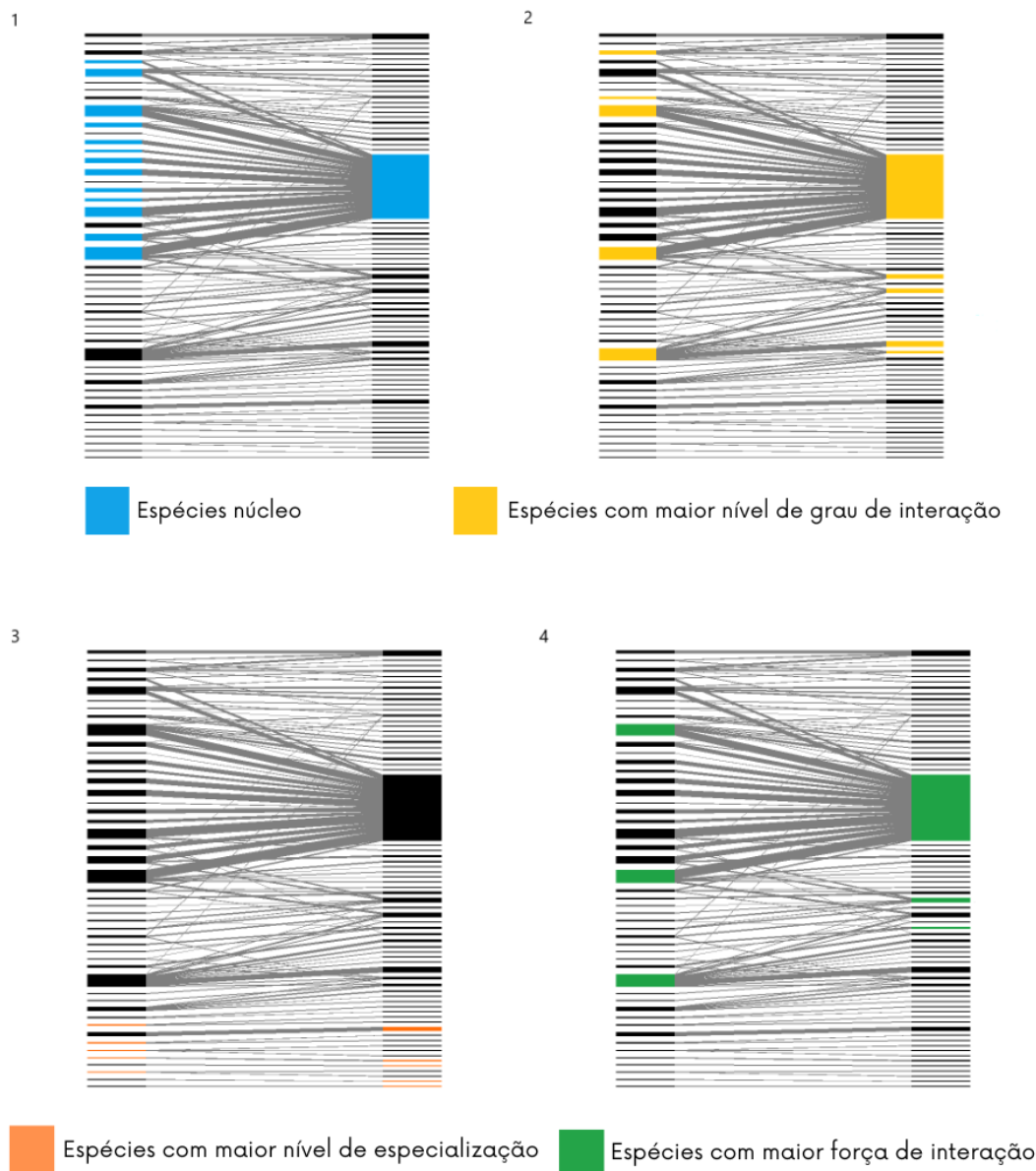


Figura 1: Grafos das redes de interações planta-visitantes florais em áreas localizadas na Unidade de Conservação - Parque Estadual da Serra de Boa Esperança, Minas Gerais, amostradas nos meses de janeiro a abril de 2023. Os retângulos à esquerda representam as espécies de plantas enquanto à direita as espécies de visitantes florais. As linhas cinzas representam as interações entre os visitantes florais e as plantas. (1) Espécies núcleos. (2) espécies com maior nível de grau de interação. (3) espécies com maior nível de especialização. (4) espécies com maior força de interação. O que está em coloração preta são as demais espécies que fazem parte da comunidade.



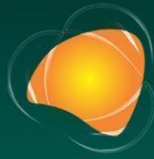
CONCLUSÃO

As análises da estrutura das interações planta-visitantes florais indicam que, apesar da rede ser relativamente pequena, os resultados demonstram uma comunidade coesa, com alta modularidade. Isso reflete que as interações tendem a formar grupos obtendo uma comunidade compartimentalizada. Embora a área sofre por uma tensão ecológica devido a presença de monocultivos de café e eucalipto, criação de animais domésticos e turismo, os resultados indicam que a rede de interações plantas-visitantes florais possuem coesão e resiliência de acordo as estruturas avaliadas, que sugerem rotas alternativas de interação. De modo que impactos ambientais sejam restritos a grupos de espécies, uma vez que as interações são compartimentalizadas, isto é, possuem topologia estrutural modular e especialista, indicando formação de grupos de interações na área.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA-NETO, M.; ULRICH, W. A straight forward computational approach for measuring nestedness using quantitative matrices. **Environmental Modelling & Software**, v.26, n. 2, p. 173-178, 2011.
- BASCOMPTE, J.; JORDANO, P. Plant-animal mutualistic networks: the architecture of biodiversity. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 38, n. 1, p. 567-593, 2007.
- BASCOMPTE, J. *et al.* The nested assembly of plant–animal mutualistic networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 100, n. 16, p. 9383-9387, 2003.
- BLÜTHGEN, N.; MENZEL, F.; BLÜTHGEN, N. Measuring specialization in species interaction networks. **BMC ecology**, v. 6, p. 1-12, 2006. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-6-9>.
- DÁTTILO, W.; GUIMARÃES, P.R.; IZZO, T.J. Spatial structure of ant-plant mutualistic networks. **Oikos**, v.122, p.1643-1648, 2013.
- DORMANN, C. F. *et al.* Indices, graphs and null models: analyzing bipartite ecological networks. **Open Ecol J** 2: 7–24. 2009.

REALIZAÇÃO



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

GHAZOUL, J. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. **Trends in ecology & evolution**, v. 20, n. 7, p. 367-373, 2005.

GONÇALVES, L.S.; STORT, A.C. A africanização das abelhas *Apis mellifera* nas Américas II. Pp. 49-63. In: BARRAVIERA, B. Barraviera (ed.). **Venenos Animais: uma visão integrada**. Editora de Publicações Científicas, 1994. Rio de Janeiro, RJ. 411p.

GOULSON, D. Efeitos de abelhas introduzidas em ecossistemas nativos. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.** 34 , 1–26, 2003.

IPBES (2016). The assessment of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, and H. T. Ngo (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 552 pages.

JORDANO, P. Patterns of mutualistic interactions in pollination and seed dispersal: connectance, dependence asymmetries, and coevolution. **The American Naturalist**, v. 129, n. 5, p. 657-677, 1987.

J. Baronio, Gudryan & Guimarães, Bárbara & Oliveira, Larissa & R F Melo, Lílian & Antunes, Pedro & Kobal, Renan & Araújo, Thayane. (2018). **ENTRE FLORES E VISITANTES: ESTRATÉGIAS DE DISPONIBILIZAÇÃO E COLETA DE RECURSOS FLORAIS**. *Oecologia Australis*. 22. 390-409. 10.4257/oeco.2018.2204.04.

LANDI, P. *et al.* Complexity and stability of adaptive ecological networks: a survey of the theory in mutualistic ecology. In: **Systems analysis approach for complex global challenges**. Springer, Cham, 2018. P. 209-248.

MARTÍN GONZÁLEZ, A. M. *et al.* Core-periphery structure in mutualistic networks: an epitaph for nestedness?. **BioRxiv**, p. 2020.04. 02.021691, 2020.

MEMMOTT, J.; WASER, N. M.; PRICE, M. V. Tolerance of pollination networks to species extinctions. **Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 271, n. 1557, p. 2605-2611, 2004.

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

OLESEN, J. M. *et al.* The modularity of pollination networks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 50, p. 19891-19896, 2007.

PIGOZZO, C. M.; VIANA, B. F. Estrutura da rede de interações entre flores e abelhas em ambiente de caatinga. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 1, p. 100-114, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.04.

POTTS, S. G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, v. 25, n. 6, p. 345–353, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>.



EXTREMOS CLIMÁTICOS: **IMPACTOS ATUAIS** E RISCOS FUTUROS

RAMOS, D. L. *et al.* Ecosystem Services Provided by Insects in Brazil: What Do We Really Know? *Neotropical Entomology*, v. 49, n. 6, p. 783–794, 2020.

SOUZA, V. C. *et al.* **Guia das plantas do cerrado**. Piracicaba: Taxon Brasil, 2018.

TINOCO, B. A. *et al.* Effects of hummingbird morphology on specialization in pollination networks vary with resource availability. *Oikos*, v. 126, n. 1, p. 52-60, 2017.

VÁZQUEZ, D. P. Degree distribution in plant–animal mutualistic networks: forbidden links or random interactions?. *Oikos*, v. 108, n. 2, p. 421-426, 2005.

VÁZQUEZ, D. P.; AIZEN, M. A. Null model analyses of specialization in plant–pollinator interactions. *Ecology*, v. 84, n. 9, p. 2493-2501, 2003.

VIZENTIN-BUGONI, Jeferson *et al.* Plant-pollinator networks in the tropics: a review. **Ecological networks in the tropics: An integrative overview of species interactions from some of the most species-rich habitats on earth**, p. 73-91, 2018.

REALIZAÇÃO