



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

CECILIA PELLACANI GARDIOLO

**SISTEMAS DE POLINIZAÇÃO EM AFLORAMENTOS ROCHOSOS  
BASÁLTICOS NA REGIÃO DE LERROVILLE, LONDRINA,  
PARANÁ, BRASIL**

---

Londrina

2023

CECILIA PELLACANI GARDIOLO

**SISTEMAS DE POLINIZAÇÃO EM AFLORAMENTOS ROCHOSOS  
BASÁLTICOS NA REGIÃO DE LERROVILLE, LONDRINA,  
PARANÁ, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Lahoz da Silva Ribeiro

Londrina

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Gardiolo , Cecilia .

SISTEMAS DE POLINIZAÇÃO EM AFLORAMENTOS ROCHOSOS  
BASÁLTICOS NA REGIÃO DE LERROVILLE, LONDRINA, PARANÁ, BRASIL  
/ Cecilia Gardiolo . - Londrina, 2023.  
56 f. : il.

Orientador: José Eduardo Lahoz da Silva Ribeiro .

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Polinizadores de longa distância - Tese. 2. Sistemas de polinização - Tese.  
3. Afloramentos rochosos - Tese. 4. Polinização - Tese. I. Lahoz da Silva Ribeiro , José Eduardo . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. III. Título.

CDU 58

CECILIA PELLACANI GARDIOLO

**SISTEMAS DE POLINIZAÇÃO EM AFLORAMENTOS  
ROCHOSOS BASÁLTICOS NA REGIÃO DE LERROVILLE,  
LONDRINA, PARANÁ, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Lahoz da Silva  
Ribeiro  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Rosimar Maria Marques  
Universidade Estadual de Maringá - UEM

---

Prof. Dr. Halley Caixeta de Oliveira  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 31 de agosto de 2023.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr José Eduardo Lahoz da Silva Ribeiro, meu orientador e amigo de todas as horas, que acompanhou e me apoiou em todos os momentos dessa jornada.

À minha família, especialmente aos meus pais Ricardo e Maria Goreti pelo apoio e incentivo ao meu estudo, podendo me tornar a profissional que eu sempre admirei neles;

À minha irmã Mariana por sempre estar presente em todos os momentos da minha vida, e mostrando que a determinação de uma pessoa pode levá-la nos mais altos sonhos;

Aos meus avós que sempre me mostraram a importância do estudo.

À minha companheira de herbário e uma grande amiga que eu fiz nesses dois anos Camille. Aos meus amigos de Maringá que me apoiaram Taynara, Mariana, Luiz Henrique, Lucas, Meliana, Victoria, Fabio e Matheus.

Às minhas amigas da graduação de UEM que sempre estiveram do meu lado, Gabriela, Beatriz Melissa, Samara e Amanda.

Às minhas amigas que me fizeram um apartamento um lar em Londrina, Rayane e Leticia.

GARDIOLO, Cecilia Pellacani. **Sistemas de Polinização em afloramentos rochosos basálticos na região de Lerroville, Londrina, Paraná, Brasil**. 2023. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

### RESUMO GERAL

A teoria OCBIL (paisagem antiga, climaticamente tamponada e infértil) é um conceito relativamente novo em ecologia, que tende a explicar como a biodiversidade é mantida em diferentes paisagens. Essa teoria estabelece hipóteses para testar as previsões sobre os padrões de evolução, diversificação e características funcionais das espécies. Uma das hipóteses abordadas é o Efeito James, que se refere a um padrão observado nas comunidades vegetais pequenas/isoladas, o qual, sugere que as plantas polinizadas em OCBILs desenvolveram mecanismos para promover a recombinação genética. Os sistemas de polinização por longa distância mantêm altos níveis de heterozigiosidade, facilitando a troca genética entre indivíduos e populações de plantas isoladas geograficamente, como ocorre nos afloramentos rochosos basálticos no Terceiro Planalto do Paraná. Portanto esse estudo pretende responder se há a prevalência de ocorrência de polinizadores capazes de se deslocar por longas distâncias, necessários para garantir a polinização cruzada e, conseqüentemente a variabilidade genética, em populações isoladas das espécies de plantas presentes nos afloramentos rochosos localmente restritos no distrito de Lerroville, Londrina, Paraná. Foram adotados 12 sistemas de polinização, com 5 critérios de precisão para aferir os polinizadores. As categorias de 1 a 3 incluem observações diretas, no campo, de visitantes florais e polinizadores. Já nas categorias 4 e 5, o polinizador é inferido com base em evidências indiretas. Nesta área foram observadas 29 espécies de plantas, pertencentes a 22 gêneros e 15 famílias. As famílias mais representativas nas áreas do afloramento foram Bromeliaceae, Cyperaceae, Fabaceae, Gesneriaceae e Plantaginaceae. O sistema de polinização predominante foi “diversos animais” sendo responsáveis por 27,58% das interações dos polinizadores, seguidas por “vento” (20,68%) e “abelha pequena” (17,24%). Portanto, o estudo demonstra que não há a prevalência de polinizadores longas distâncias, não corroborando com a hipótese levantada.

**Palavras-chave:** Polinizadores de longa distância, Sistemas de polinização, Afloramentos rochosos

Gardiolo, Cecilia Pellacani. **Pollination Systems in Basaltic Rocky Outcrops in the Lerroville Region, Londrina, Paraná, Brazil.** 2023. 57 pp. Dissertation (Master's degree in Biological Sciences) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

### **GENERAL ABSTRACT**

The OCBIL theory (Old, Climatically Buffered, Infertile Landscape) is a relatively new concept in ecology that aims to explain how biodiversity is maintained in different landscapes. This theory establishes hypotheses to test predictions regarding the patterns of evolution, diversification, and functional characteristics of species. One of the hypotheses addressed is the James Effect, which refers to an observed pattern in small/isolated plant communities suggesting that plants pollinated in OCBILs have developed mechanisms to promote genetic recombination. Long-distance pollination systems maintain high levels of heterozygosity, facilitating genetic exchange among individuals and populations of geographically isolated plants, as occurs in the basaltic rock outcrops in the Third Plateau of Paraná. Therefore, this study aims to determine if there is a prevalence of long-distance pollinators capable of ensuring cross-pollination and, consequently, genetic variability in isolated populations of plant species found in locally restricted rock outcrops in the Lerroville district, Londrina, Paraná. Twelve pollination systems were adopted, with five criteria for assessing pollinators. Categories 1 to 3 include direct field observations of floral visitors and pollinators, while categories 4 and 5 infer the pollinator based on indirect evidence. In this area, 29 plant species belonging to 22 genera and 15 families were observed. The most representative families in the outcrop areas were Bromeliaceae, Cyperaceae, Fabaceae, Gesneriaceae, and Plantaginaceae. The predominant pollination system was "diverse animals," accounting for 27.58% of pollinator interactions, followed by "wind" (20.68%) and "small bee" (17.24%). Therefore, the study demonstrates that there is no prevalence of long-distance pollinators, contradicting the hypothesis raised.

**Key-words:** Long-distance pollinators, pollination systems, rocky outcrops.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Município de Londrina, Paraná, Brasil. A=Localização do município de Londrina, em destaque o distrito de Lerroville. B= Vista aérea dos pontos de coleta 1 e 2 no distrito de Lerroville. C= Ponto de coleta 1. D= Ponto de coleta 2..... 48
- Figura 2** - Flores e seus visitantes registrados em Lerroville, Paraná, Brasil: A-B= *Trigona spinipes* e Besouro, caracterizado por animais diversos visitando *Dyckiawalteriana*. C= *Wedelia kerrii* sendo visitada por *Apis mellifera* (abelha grande). D= Moscas da família Syrphidae visitando *Zornia latifolia*. E= *Apis mellifera* (abelha grande) visitando *Portulaca hatschbachii*. F. *Apis mellifera* pilhando *Sinningia aggregata* ..... 49
- Figura 3** - Número de sistemas de polinização observados nos afloramentos rochosos de Lerroville, Londrina, Paraná, Brasil segundo os grupos taxonômicos..... 50
- Figura 4** - Percentual de espécies caracterizadas no sistema de polinização diversos animais em Lerroville, Londrina, Paraná, Brasil ..... 50
- Figura 5** - Sistema de polinização definido como diversos animais para a espécie de *Aechmea distichantha* observada Lerroville, Londrina, Paraná, Brasil. A= Observação de *Trigona spinipes*. B= *Bombus* sp. C= Borboleta. D= Beija-flor da família Trochilidae ..... 51

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Critérios de acurácia aplicados para a inferência do polinizador das espécies vegetais. Do método de inferência mais (categoria 1) ao menos (categoria 5) preciso. Para as Categorias 1 a 3, a determinação do polinizador é baseada em observações diretas de campo das espécies alvo; para as Categorias 4-5, o polinizador é inferido com base em evidências indiretas. (adaptados de Ollerton *et al* (2019) e Monteiro *et al* (2021)..... 52
- Tabela 2** - Sistemas de polinização e categoria das espécies observadas nos afloramentos rochosos basálticos de Lerroville, Londrina, Paraná, Brasil ..... 54

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CFA	Clima Subtropical Úmido
FUEL	Herbário da Universidade Estadual de Londrina
MZUEL	Museu de Zoologia da Universidade Estadual de Londrina
OCBIL	Paisagem antiga, climaticamente tamponada e infértil
UEL	Universidade Estadual de Londrina
YODFEL	Paisagens jovens, frequentemente perturbadas e férteis

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
	<b>ABSTRACT</b> .....	<b>21</b>
	<b>RESUMO</b> .....	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	25
4.2	ESPÉCIES DE PLANTAS ESTUDADAS .....	25
4.3	CATEGORIAS PARA DETERMINAÇÃO DOS POLINIZADORES .....	25
4.4	POLINIZADORES OBSERVADOS E INFERIDOS .....	26
4.5	SISTEMAS DE POLINIZAÇÃO.....	27
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>28</b>
5.1	ESPÉCIES DE PLANTAS ESTUDADAS .....	28
5.2	CATEGORIAS PARA DETERMINAÇÃO DOS POLINIZADORES .....	28
5.3	POLINIZADORES OBSERVADOS E INFERIDOS .....	29
5.4	SISTEMAS DE POLINIZAÇÃO .....	29
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>37</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO</b> .....	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A teoria OCBIL (paisagem antiga, climaticamente tamponada e infértil) é um conceito relativamente novo em ecologia que tende a explicar como a biodiversidade é mantida em diferentes paisagens. Segundo Hopper, (2009) a teoria OCBIL sugere que paisagens inférteis, são antigas e têm sido climaticamente estáveis por muito tempo, o que limita a capacidade das plantas de se adaptarem a mudanças ambientais rápidas, como aquelas causadas pelas mudanças climáticas e pelo uso humano da terra. Essa teoria sugere que as comunidades de plantas possuem características específicas no viés ecológico e evolutivo, como a tolerância à seca e ao fogo, que as tornam únicas e diferentes de outras comunidades de plantas. Para isso, algumas hipóteses foram estabelecidas para testar as previsões sobre os padrões de evolução, diversificação e características funcionais das espécies presentes nessas paisagens (Hopper, 2009; Hopper *et al.*, 2021).

Em contrapartida, a base teórica tradicional para ecologia, biologia evolutiva e conservação tem sido fundamentada principalmente em dados provenientes de espécies e comunidades presentes em paisagens jovens, frequentemente perturbadas e férteis - YODFELs (Hopper, 2009). O contraste entre ambientes OCBIL-YODFEL é particularmente interessante, uma vez que implica um papel fundamental da idade da paisagem e sua estabilidade (Robins *et al.*, 2021). Os YODFELs são exemplificados pelas florestas temperadas e, até certo ponto, pelas florestas tropicais.

Os OCBILs Neotropicais são representados por vegetação gramínea, arbustiva, aberta, geralmente associada a afloramentos de diferentes origens. Os OCBILs Neotropicais identificados foram os tepuis (espalhados por toda a floresta amazônica), campos rupestres (imersos nos biomas Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga), em afloramentos ferríferos, como as cangas (na Amazônia Central, Cerrado e Mata Atlântica) e em afloramentos granítico-gnáissicos, como inselbergs e campos de altitude (inseridos nos biomas Caatinga e Mata Atlântica). Suas áreas de cobertura geográficas são pequenas, mas possuem altos níveis de

diversidade e endemismo (DeSafford, 1999; Porembski, 2000; Jacobi *et al.*, 2007; Silveira *et al.*, 2020). Para a manutenção dessas áreas, uma das previsões abordadas é da prevalência de polinização a longa distância necessária para polinização cruzada, facilitando a troca genética entre indivíduos e para a contribuição da manutenção da diversidade genética entre indivíduos e populações de plantas (Hopper, 2009).

A polinização, definida como a transferência de grãos de pólen das anteras para o estigma de uma mesma flor, entre flores do mesmo indivíduo, de indivíduos diferentes de uma mesma espécie ou entre indivíduos de espécies diferentes, representa um passo crucial na reprodução sexual das plantas com flores (Proctor *et al.*, 1996). A polinização geralmente envolve vetores abióticos (água ou vento) ou bióticos (animais), incluindo desde insetos não especialistas, até animais estritamente dependentes de flores para sua sobrevivência, como abelhas, pássaros e morcegos (Proctor *et al.*, 1996; Machado *and* Oliveira, 2000). A maioria das plantas com flores dependem de animais para a transferência de pólen (Nabhan *and* Buchmann, 1997; Renner, 1988). As plantas oferecem atrativos aos animais para instigar a visitação de suas flores fornecendo alimentos, como néctar, pólen e óleos (Abrol, 2012), ou não nutritivos, como resina, perfume, gomas, coloração, locais para acasalamento, abrigo e oviposição (Faegri *and* Pijl, 1979; Vogel, 1990; Proctor *et al.*, 1996).

As espécies vegetais apresentam flores com muitas características morfológicas e funcionais, que podem estar associadas a síndromes de polinização (Faegri *and* Pijl, 1979). A síndrome de polinização refere-se ao conjunto de características florais que evoluíram em resposta às pressões seletivas impostas por grupos específicos de polinizadores, que incluem cor, forma, odor, período de antese e recursos florais, que são específicos para grupos de polinizadores (Faegri *and* Pijl, 1979). Através dessas características florais, as síndromes foram caracterizadas, por exemplo, flores com a síndrome melitofilia, que são polinizadas por abelhas, geralmente têm pétalas de cores vivas, perfumadas e guia de néctar, enquanto

flores com a síndrome ornitofilia, polinizadas por beija-flores, possuem flores de cores vivas, forma longa e tubular, produzem néctar e tem antese diurna (Rech *et al.*, 2014). As síndromes de polinização sustentam a visão de uma relação limitada entre plantas e polinizadores, tendendo a considerar especializadas essas relações (Proctor *et al.*, 1996).

Essa visão tem sido questionada, com base em evidências de uma ampla generalização na polinização de plantas, levando a utilização dos sistemas de polinização, em que as espécies apresentam um amplo espectro de visitantes (McDade, 1992; Waser *et al.*, 1996; Herrera, 1996; Ollerton, 1996; 2021). Levar em consideração apenas a morfologia floral não é suficiente para a determinação de polinizadores de uma espécie vegetal (Regal, 1982), pois a diferença do corpo e comportamento de visita são fatores determinantes para a eficiência das diferentes espécies de polinizadores (Faegri *and* Van der pijl, 1979; Neff *and* Simpson, 1993; Endress, 1994).

Portanto, os sistemas de polinização, referem-se aos vários mecanismos pelos quais o pólen é transferido das estruturas masculinas de uma flor para as estruturas femininas de outra flor, levando à fertilização e à produção de sementes. Diferentes espécies de plantas desenvolveram diferentes sistemas de polinização. Os sistemas de polinização levam em consideração algumas características, morfológicas ou atrativas, produzidas por uma flor (ou uma inflorescência funcionando como uma unidade reprodutiva única), em conjunto com os comportamentos e atividades dos animais que efetivamente transferem o pólen (Ollerton *et al.*, 2019). Existem muitos fatores que influenciam o grau de especialização e generalização dos sistemas de polinização, tais como formas de vida da planta, estrato vegetacional, abundância, sistema sexual, fauna local, dentre outros (Ollerton, 1996; Ollerton *et al.*, 2019; Waser *et al.*, 1996; Johnson *and* Steiner, 2000).

Embora os sistemas de polinização e as síndromes de polinização estejam relacionados, eles não são termos intercambiáveis. Os sistemas de polinização descrevem o

mecanismo pelo qual o pólen é transferido, enquanto as síndromes de polinização descrevem o conjunto de características florais que evoluíram em resposta a grupos específicos de polinizadores. Em alguns casos, o sistema de polinização e a síndrome de polinização de uma espécie de planta podem estar intimamente alinhados, mas em outros casos podem não estar (Ollerton *et al.*, 2019).

Os sistemas de polinização em ambientes com populações de plantas isoladas, como o caso dos afloramentos rochosos, sofrem influência direta do ambiente, em que esses ecossistemas são caracterizados por flutuações de temperatura, ventos secos, escassez de água e altas taxas de evaporação (Oliveira *and* Godoy 2007), filtros ambientais característicos de ambientes áridos (Frahm 1996; Porembski *et al.*, 1998).

Nos afloramentos rochosos, a despeito das restrições ambientais, é comum deparar-se com riqueza bastante acentuada de herbáceas, incluindo cactáceas, bromeliáceas, entre outras. De acordo com Cervi *et al.* (1996), nestas condições a vegetação tem que estar adaptada ao microclima seletivo, estando propensa, inclusive, a desenvolver endemismos.

Os afloramentos rochosos basáltico ácidos, presentes no Terceiro Planalto do Paraná estão isolados geográfica e ecologicamente (Machado, 2003) e possuem uma vegetação típica do Planalto Subtropical, formando mosaicos com florestas nos estados do Paraná, Santa Catarina e a metade norte do Rio Grande do Sul (Iganci *et al.*, 2011). Esses afloramentos rochosos enfrentam uma variedade de ameaças antrópicas que exercem impacto direto sobre sua composição, resultando em um aumento do risco de extinção das espécies endêmicas que estão associadas a esses ecossistemas. Dentre os riscos, se destacam I) A introdução de gramíneas invasoras utilizadas como pastagem para o gado, uma vez que deslocam a vegetação nativa, dominando-as (Boldrini *and* Eggers, 1996; Medeiros, 2000; Nabinger *et al.*, 2000); II) a extração de substrato rochoso (brita) para uso na construção

civil; III) estradas de rodagem com um fluxo alto de maquinários agrícolas e IV) a presença da agricultura nas redondezas, sem o manejo correto das áreas. A conservação dos afloramentos rochosos tem sido muito precária, devido à falta de informações sobre a diversidade de flora e fauna desses ambientes.

Esse estudo pretende responder se há a prevalência de polinizadores capazes de se deslocar por longas distâncias, ou seja, abelhas grandes e beija-flores, necessários para garantir a polinização cruzada e, conseqüentemente, a variabilidade genética em populações isoladas das espécies de plantas presentes nos afloramentos rochosos localmente restritos no distrito de Lerroville, Londrina, Paraná.

## 2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABROL, D.P. 2012. Pollination biology: biodiversity conservation and agricultural production. *New York: Springer* p. 792.

BOLDRINI, I.I. and EGGERS, L. 1996. Vegetação campestre do sul do Brasil: dinâmica de espécies à exclusão do gado. *Acta Botânica Brasílica*, vol. 10, p. 37–50.

CERVI, A.C., VON LINSINGEN, L., HATSCHBACH, G. and RIBAS, O. S. 1996. A vegetação do parque estadual de Vila Velha, município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil. *Publicação interrompida*, vol. 1986, p.1998-2004.

DeSAFFORD, H.D. 1999. Brazilian Páramos I. An introduction to the physical environment and vegetation of the campos de altitude. *Journal of Biogeography*, vol. 26, no. 4, p. 693–712.

ENDRESS, P.K. 1994. Floral structure and evolution of primitive angiosperms: recent advances. *Plant Systematics and Evolution*, vol. 192, p. 79-97.

FAEGRI, K. and VAN DER PIJL, L. 1979. *The principles of pollination ecology*. Pergamon, New York.

FRAHM, J.P. 1996. Diversity, life strategies, origins and distribution of tropical inselberg bryophytes. *Anales del Instituto de Biología*, Universidad Nacional Autónoma de México, vol. 67, no. 1, p. 73-86.

HERRERA, C. M. 1996. Floral Traits and Plant Adaptation to Insect. *Floral biology: studies on floral evolution in animal-pollinated plants*, p. 65.

HOPPER, S. D. 2009. OCBIL theory: towards an integrated understanding of the evolution, ecology and conservation of biodiversity on old, climatically buffered, infertile landscapes. *Plant and soil*, vol. 322, p. 49-86.

HOPPER, S. D., LAMBERS, H., SILVEIRA, F. A. and FIEDLER, P. L. 2021. OCBIL theory examined: reassessing evolution, ecology and conservation in the world's ancient, climatically buffered and infertile landscapes. *Biological Journal of the Linnean Society*, vol. 133, no. 2, p. 266-296.

IGANCI, J.R.V., HEIDEN, G., MIOTTO, S. V. and PENNINGTON, R.T. 2011. Campos de Cima da Serra: The Brazilian Subtropical Highland Grasslands show an unexpected level of plant endemism. *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 167, p. 378–393.

JACOBI, C.M, CARMO, F.F., VINCENT, R.C. and STEHMANN, J.R. 2007 Plant communities on ironstone outcrops: a diverse and endangered Brazilian ecosystem. *Biodivers Conserv*, vol. 1, p. 2185–2200.

JOHNSON, S.D. and STEINER, K.E. 2000. Generalization versus specialization in plant pollination systems. *Trends in ecology & evolution*, vol. 15, no. 4, p. 140-143.

MACHADO, A.D.O. and OLIVEIRA, P.E.A.D. 2000. Biologia floral e reprodutiva de *Casearia grandiflora* Camb.(Flacourtiaceae). *Brazilian Journal of Botany*, vol. 23, p. 283-290.

MACHADO, F.B. 2003. *Geologia e possíveis zonas de efusão do Magmatismo ácido cretácico da Bacia do Paraná*. Monografia (Trabalho de conclusão de curso – Geologia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista.

MCDADE, L.A. 1992. Pollinator relationships, biogeography, and phylogenetics. *BioScience*, vol. 42, p. 21-26.

MEDEIROS, J.D. 2000. Da exploração e conservação da Araucaria eotropical. Florianópolis: Parecer Ministério Público Federal.

NABHAN, G.P. and BUCHMANN, S.L. 1997. Pollination services: biodiversity's direct link to world food stability. In: Daily GC (ed) Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. *Island Press*, Washington, DC, pp 133–150.

NABINGER, C., MORAES, A. D. and MARASCHIN, G. E. 2000. Campos in southern Brazil. In *Grassland ecophysiology and grazing ecology* Wallingford UK: CABI Publishing. pp. 355-376.

NEFF, J. L. and SIMPSON, B. B. 1993. Bees, pollination systems and plant diversity.

OLIVEIRA, R.B.D. and GODOY, S.A.P.D. 2007. Composição florística dos afloramentos rochosos do Morro do Forno, Altinópolis, São Paulo. *Biota Neotropica*, vol. 7, p. 37-47.

OLLERTON J. 1996. Reconciling ecological process with phylogenetic patterns: the apparent paradox of plant-pollinator systems. *Journal of Ecology*, vol. 84, p. 767-769.

OLLERTON, J. 2021. *Pollinators and Pollination: Nature and Society*. Pelagic Publishing Ltd.

OLLERTON, J., LIEDE-SCHUMANN, S., ENDRESS, M. E., MEVE, U., RECH, A. R., SHUTTLEWORTH, A., ... and QUIRINO, Z. 2019. The diversity and evolution of pollination systems in large plant clades: Apocynaceae as a case study. *Annals of Botany*, vol. 123, no. 2, p. 311-325.

POREMBSKI, S. and BARTHLOTT, W. 2000. Granitic and gneissic outcrops (inselbergs) as centers of diversity for desiccation-tolerant vascular plants. *Plant Ecology*, vol. 151, p. 19–28

- PROCTOR, M., YEO, P. and LACK, A. 1996. *The natural history of pollination*. Harper Collins, New York.
- RECH, A. R., AGOSTINI, K., OLIVEIRA, P. E., AND MACHADO, I. C. (Eds.). 2014. *Biologia da polinização*. Rio de Janeiro: Projecto Cultural.
- REGAL, P. J. 1982. Pollination by wind and animals: ecology of geographic patterns. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 13, no. 1, p. 497-524.
- RENNER, S. S. 1998. 13. Effects of habitat fragmentation on plant polinator interactions in the tropics. In *Dynamics of Tropical Communities: 37th Symposium of the British Ecological Society* Cambridge University Press, p. 339.
- ROBINS, T. P. BINKS, R. M., BYRNE, M. and HOPPER, S. D. 2021. Contrasting patterns of population divergence on young and old landscapes in *Banksia seminuda* (Proteaceae), with evidence for recognition of subspecies. *Biological Journal of the Linnean Society*, vol. 133, no. 2, p. 449-463.
- SILVEIRA, F.A., DAYRELL, R.L., FIORINI, C.F., NEGREIROS, D. and BORBA, E.L. 2020. Diversification in ancient and nutrient-poor Neotropical ecosystems: how geological and climatic buffering shaped plant diversity in some of the world's neglected hotspots. *Neotropical diversification: patterns and processes*, p. 329-368.
- VOGEL, S. and RENNER, S.S. 1990. The role of scent glands in pollination: on the structure and function of osmophores.
- WASER, N. M., CHITTKA, L., PRICE, M. V., WILLIAMS, N. M. and OLLERTON J. 1996. Generalization in pollination systems, and why it matters. *Ecology*, vol. 77, p. 1043-1060.

**SISTEMAS DE POLINIZAÇÃO EM AFLORAMENTOS ROCHOSOS  
BASÁLTICOS NA REGIÃO DE LERROVILLE, LONDRINA, PARANÁ, BRASIL**

Artigo nas normas da Revista *Brazilian Journal of Biology*

# **SISTEMAS DE POLINIZAÇÃO EM AFLORAMENTOS ROCHOSOS BASÁLTICOS NA REGIÃO DE LERROVILLE, LONDRINA, PARANÁ, BRASIL**

GARDIOLO, C. P. <sup>1</sup> and RIBEIRO, J. E. S. L. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestranda do programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Londrina.

<sup>2</sup> Departamento de Biologia Animal e Vegetal, CCB, Universidade Estadual de Londrina. Cxp. 6001.86061-970, Londrina, Paraná.

Correspondente: Cecilia Pellacani Gardiolo Departamento de Biologia Animal e Vegetal, CCB, Universidade Estadual de Londrina. Cxp. 6001.86061-970, Londrina, Paraná, Brasil. e-mail: [cisapellacani@gmail.com](mailto:cisapellacani@gmail.com)

(With 5 figure)

Palavras-chave: Ilhas terrestres, Isolamento geográfico, Polinização

Key words: Land islands, Geographic isolation, Pollination

Running Title: Pollination systems in rocky outcrops in Lerroville

## **ABSTRACT**

### **Pollination systems in basaltic rocky outcrops in the Lerroville region, Londrina, Paraná, Brazil.**

The basaltic rock outcrops of Lerroville, located in the Municipality of Londrina, Paraná, are geographically and ecologically isolated, functioning as terrestrial islands (inselbergs). These outcrops harbor a unique biodiversity with species of plants endemic to Paraná. Plant-animal interaction processes are important for understanding the dynamics within the community, where the reproductive process plays a crucial role in the composition and structuring of communities, directly influencing genetic diversity and promoting gene flow among populations. One prediction within the OCBIL theory (Old, Climatically Buffered, Infertile Landscape) is that long-distance pollinators predominate, ensuring cross-pollination in isolated landscapes. This study describes the pollination systems present in two areas of basaltic rock outcrops in Lerroville, Paraná, Brazil. Twelve pollination systems were adopted, with five criteria for assessing pollinators. Categories 1 to 3 include direct field observations of floral visitors and pollinators, and for categories 4–5, the pollinator is inferred based on indirect evidence. In the study area, 29 plant species belonging to 22 genera and 15 families were observed. The prevailing pollination systems in the area were "diverse animals," accounting for 27.58% of pollinator interactions, followed by "wind" (20.68%) and "small bee" at 17.24%. Therefore, the study demonstrates that there is no prevalence of long-distance pollinators, contradicting the hypothesis raised. However, the study provides, for the first time, data on pollinators in basaltic rock outcrop areas in the northern region of Paraná. Additionally, it highlights the importance of biological interaction studies addressing pollination systems.

## RESUMO

### **Sistemas de polinização em afloramentos rochosos basálticos na região de Lerroville, Londrina, Paraná, Brasil**

Os afloramentos rochosos basálticos de Lerroville, localizados no Município de Londrina, Paraná, estão isolados geograficamente e ecologicamente, funcionando como ilhas terrestres (*inselbergs*), esses afloramentos possuem uma biodiversidade única com espécies de plantas endêmicas do Paraná. Os processos de interação planta-animal são importantes para a compreensão da dinâmica na comunidade, em que o processo reprodutivo é importante na composição e estruturação das comunidades, influenciando diretamente a diversidade genética e promovendo o fluxo gênico entre populações. Uma previsão dentro da teoria de OCBIL (paisagem antiga, climaticamente tamponada e infértil) é de que há predomínio de polinizadores de longa distância, garantindo a polinização cruzada nas paisagens isoladas. Neste estudo foram descritos os sistemas de polinização presentes em duas áreas de afloramento rochosos basálticos de Lerroville, Paraná, Brasil. Foram adotados 12 sistemas de polinização, com cinco critérios de precisão para aferir os polinizadores. As categorias 1 a 3 incluem observações diretas no campo de visitantes florais e polinizadores, e para as categorias 4–5, o polinizador é inferido com base em evidências indiretas. No local estudado foram observadas 29 espécies de plantas, pertencentes a 22 gêneros e 15 famílias. Os sistemas de polinização que mais predominaram a área foram “diversos animais” sendo responsáveis por 27,58% das interações dos polinizadores, seguidas por “vento” (20,68%) e “abelha pequena” com 17,24%. Portanto, o estudo demonstra que não há a prevalência de polinizadores longas distâncias, não corroborando com a hipótese levantada. Porém o estudo fornece, pela primeira vez, os dados dos polinizadores de áreas de afloramentos rochosos basálticos da região norte do Paraná. Além disso, destaca a importância de estudos de interação biológica abordando sistemas de polinização.

### 3 INTRODUÇÃO

Afloramentos rochosos são elevações monolíticas ou agrupadas que aparecem isoladas da paisagem circundante. Embora ocorram nos mais diversos domínios climáticos, são mais abundantes nos trópicos e subtropicais, especialmente em climas áridos e semiáridos (Frahm 1996; Porembski *et al.*, 1998). Esses ecossistemas são caracterizados por flutuações de temperatura, ventos secos, escassez de água e altas taxas de evaporação (Oliveira *and* Godoy 2007), filtros ambientais característicos de ambientes áridos (Frahm 1996; Porembski *et al.*, 1998).

Os afloramentos rochosos basálticos ácidos, presentes no Terceiro Planalto do Paraná de forma isolada geograficamente e ecologicamente se estendendo até o Rio Grande do Sul (Machado, 2003). Afloramentos rochosos têm sido alvo de intensa atividade humana. Essas ações incluem a extração mineral, introdução de gramíneas invasoras que acabam levando à perda de ecossistemas e, por extensão, de sua biodiversidade. Além disso, o ambiente envolvente é afetado, por exemplo, pela substituição da vegetação por plantas de interesse agrícola.

Populações de plantas estão localmente isoladas no contexto dos afloramentos rochosos (Hopper, 2009). A teoria OCBIL (paisagem antiga, climaticamente tamponada e infértil) sustenta que paisagens áridas são duradouras, levando à evolução de plantas e animais únicos, adaptadas as essas condições. A teoria estabelece bases para testar previsões sobre os padrões de evolução, diversificação e características funcionais das espécies presentes nessas paisagens. Por outro lado, áreas do tipo YODFEL são representadas por espécies e comunidades presentes em paisagens jovens, frequentemente perturbadas e férteis (Hopper, 2009). Uma previsão importante é a prevalência de polinizadores de longa distância necessários para garantir a polinização cruzada e o fluxo genético entre elas, tanto em OCBILs quanto em YODFELs (Hopper, 2009; Monteiro *et al.*, 2021).

A polinização é um processo essencial para a reprodução das plantas porque promove o movimento do pólen da estrutura masculina de uma flor para a estrutura feminina de outra flor para formar sementes (Proctor *et al.*, 1996). Diferentes espécies de plantas desenvolveram diferentes sistemas de polinização que podem envolver vento, água ou animais como mecanismos de dispersão de pólen (Proctor *et al.*, 1996; Machado *and* Oliveira, 2000).

Os sistemas de polinização podem influenciar o fluxo gênico em populações de plantas determinando a extensão da troca de pólen entre indivíduos (Ollerton, 2021). Por exemplo, plantas com altos níveis de autopolinização podem ter fluxo gênico limitado e correm maior risco de depressão por endogamia. Por outro lado, plantas que dependem de polinizadores, para polinização cruzada, podem ter maior fluxo gênico e maior diversidade genética (Nason *et al.*, 1997).

Esse estudo pretende verificar se há a prevalência de polinizadores capazes de se deslocar por longas distâncias, visto que são necessários para garantir a polinização cruzada e, conseqüentemente, o aumento da variabilidade genética em populações isoladas das espécies de plantas presentes nos afloramentos rochosos no distrito de Lerroville, Londrina, Paraná.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em duas áreas de afloramentos rochosos basálticos ácidos indicados neste trabalho como ponto de coleta 1 (23°42'2"S 51°00'34"W), com 800 m de altitude e o ponto de coleta 2 (23°37'41"S 51°05'03"W), com 680 m de altitude (Figura 1). O ponto de coleta 1 está há uma distância média de 11 km do ponto de coleta 2 (Figura 1B). Os pontos estão localizados no norte do estado do Paraná, no distrito de Lerroville, pertencente ao município de Londrina, cercado originalmente pela Floresta Estacional Semidecidual (Feliciano *et al.*, 2022). Esses afloramentos são compostos por rochas ácidas do tipo Palmas e Chapecó, se distribuem de forma descontínua, ao longo do Terceiro Planalto do Paraná, e estão inseridos no Bioma Mata Atlântica (Bellieni *et al.*, 1986; Iganciet *et al.*, 2011).

Os fragmentos estão localizados em propriedades particulares e cercados por campos de milho, soja e pastagens de gado (Feliciano *et al.*, 2022). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, (1948) é do tipo Cfa, clima subtropical úmido, caracterizado com verão quente e sem estação seca definida.

### 4.2 ESPÉCIES DE PLANTAS ESTUDADAS

O levantamento das interações planta-polinizador foi baseado em um esforço de coleta de campo anual, com uma amostragem sistemática das plantas nos afloramentos rochosos. As plantas foram coletadas após as observações de 15 minutos para os visitantes florais. Os indivíduos foram coletados e fotografados para acessar informações sobre cor, forma e tamanho das flores. As amostras das plantas foram identificadas por especialistas e depositadas no Herbário FUEL, da Universidade Estadual de Londrina.

### 4.3 CATEGORIAS PARA DETERMINAÇÃO DOS POLINIZADORES

Para determinar os polinizadores envolvidos no processo reprodutivo das plantas,

cinco categorias de precisão foram adotadas (Tabela 1). As categorias 1, 2 e 3 incluem observações diretas no campo de visitantes florais e polinizadores. As categorias 4 e 5, o polinizador é inferido com base em evidências indiretas (Tabela 1).

As categorias 4 e 5 foram adotadas quando nenhuma observação em campo foi possível, portanto, os polinizadores foram inferidos com base na literatura existente (Tabela 1). O levantamento de plantas e polinizadores foi realizado por revisão de artigos publicados e outros materiais (teses, artigos locais), abordando interações planta-polinizador. As buscas foram realizadas nas bases de dados: ISI Web of Science (<https://clarivate.com/web-of-sciencegroup/soluções/web-of-science/>), e no Google Scholar.

Na Categoria 4, o polinizador foi atribuído com base na ocorrência em uma espécie intimamente relacionada (ex: mesmo gênero), com morfologia floral semelhante (Tabela 1). Caso não haja estudos disponíveis na literatura, foi utilizada a última categoria de precisão (5), no qual, o polinizador é inferido através da morfologia floral, sendo aplicada as características levantadas por Faegri *and* Pijl (1979) para caracterização de síndromes de polinização (Tabela 1).

#### 4.4 POLINIZADORES OBSERVADOS E INFERIDOS

As visitas a campo foram realizadas mensalmente, de janeiro de 2022 até dezembro de 2022. As observações e coletas dos visitantes florais e polinizadores foram feitas em um período de 15 minutos em todas as espécies de angiospermas floridas no momento da visita à campo (Carstensen *et al.*, 2014; 2016), observadas desde o período da manhã (09:00 h) até o final da tarde (aproximadamente 18:00 h), abrangendo o principal período de atividade dos polinizadores e o principal momento de antese das flores (Singer *and* Sazima, 2001).

Foram registrados os visitantes florais e considerados polinizadores somente aqueles que entraram em contato com as partes reprodutivas das flores. Os insetos coletados foram montados, desidratados e depositados na coleção do Museu de Zoologia da UEL (MZUEL).

Os indivíduos foram identificados ao menor nível taxonômico, e durante o campo quando a captura não foi possível, seu morfotipo foi identificado até o nível de ordem.

#### 4.5 SISTEMAS DE POLINIZAÇÃO

Foram estabelecidos 12 sistemas de polinização, considerando as categorias geralmente utilizadas nos estudos de sistemas de polinização de plantas e modificado de Ollerton *et al.*, (2019) e Monteiro *et al.*, (2021). Os sistemas de polinização utilizados neste estudo são: “abelha pequena”, “abelha grande”, “abelha e outros animais”, “beija-flor”, “mosca”, “borboleta”, “mariposa”, “morcego”, “vespa”, “besouro”, “diversos animais” e “vento”.

Os sistemas de polinização foram considerados a partir do polinizador, sendo desconsiderado os visitantes florais que não tocam as estruturas reprodutivas das flores,. No sistema de polinização denominado “abelha e outrosanimais” foram considerado dois grupos funcionais de polinizadores, sendo um delesnecessariamente representado por abelha, no qual ambos possuem relevância semelhante para a polinização (ex: abelhas e beija-flores, abelhas e moscas, abelhas e borboletas, sistemas modificados de Ollerton *et al.*,2019). A categoria “diversos animais” foi atribuídaquando uma espécie de flor recebe três ou mais grupos funcionais diferentes de polinizadores (Ollerton *et al.*, 2019).

Considerando que o tamanho corporal de uma abelha está positivamente relacionado ao seu alcance de voo (Greenleaf *et al.*, 2007), quando o polinizador observado ou inferido é uma abelha, o sistema de polinização atribuído será de acordo com o tamanho do inseto. O sistema “abelha pequena”, representa indivíduos com tamanho corporal menor que 12 mm de comprimento, consideradas polinizadoras que percorrem curtas distâncias. O sistema “abelha grande” representa insetos maiores ou igual a 12 mm de comprimento, capazes de voar longas distâncias (Frankie *et al.*, 1983; Gottsberger *and* Silberbauer-Gottsberger, 2006).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 ESPÉCIES DE PLANTAS ESTUDADAS

Foram avaliadas 29 espécies de plantas, em sua totalidade herbáceas, das quais 24 foram identificadas até o nível de espécie, distribuídas em 22 gêneros e 15 famílias. As famílias com mais representantes nas áreas de afloramento foram Fabaceae (*Centrosema virginianum*, *Mimosa paupera*, *Stylosanthes valsii* e *Zornia latifolia*), Bromeliaceae (*Aechmea distichantha*, *Bromelia balansae* e *Dyckia walteriana*), Cyperaceae (Cyperaceae sp1, Cyperaceae sp2 e Cyperaceae sp3), Gesneriaceae (*Sinningia aggregata*, *Sinningia sellovii* e *Sinningia warmingii*) e Plantaginaceae (*Mecardonia procumbens*, *Scoparia pinnatifida* e *Stemodia verticillata*) (Tabela 2). Dentre as espécies observadas há presença de endêmicas do Paraná, *Dyckia walteriana*, *Portulaca hatschbachii*, *Stylosanthes vallsii* e *Zephyrantes paranaensis*.

Entre as 29 espécies de plantas observadas, foi possível considerar 13 espécies que apresentaram características generalistas (considerando plantas polinizadas por dois ou mais grupos funcionais, ou seja, os sistemas “diversos animais” e “abelha e outros animais”) e 16 espécies apresentaram características especialistas (considerando apenas um grupo funcional) (Tabela 2).

### 5.2 CATEGORIAS PARA DETERMINAÇÃO DOS POLINIZADORES

Porcentagem de polinizadores definidos por observações diretas (Categoria 1-3) (Tabela 2) foram de 41,37%. Não foi possível confirmar nenhum polinizador para categoria 1 (ver Categoria 1, Tabela 1), 34,48% foram definidos pela observação direta do visitante em contato com o aparelho reprodutor floral (Categoria 2, Tabela 1) (Figura 2) e 6,89% pela observação oportunista e circunstancial de visitantes florais (Categoria 3, Tabela 1). Em 58,62% das espécies os polinizadores foram definidos indiretamente (Categoria 4 e 5), no qual 41,37% o polinizador inferido foi baseado em observações diretas de uma espécie do mesmo gênero

com flores semelhantes (Categoria 4, Tabela 1), e para 17,24%, o provável vetor foi determinado baseado na morfologia floral (Categoria 5, Tabela 1).

### 5.3 POLINIZADORES OBSERVADOS E INFERIDOS

Foram identificadas seis ordens entre os polinizadores observados e inferidos, dentre elas a ordem Hymenoptera foi a mais expressiva, com indivíduos polinizando um total de 19 espécies de plantas, seguida de Diptera presente em 6 espécies, Apodiformes e Coleoptera ambas em 5 espécies, Lepidoptera polinizando 4 espécies e, por fim, Hemiptera polinizando apenas uma espécie de planta. As abelhas foram o grupo de polinizadores mais importante e diversificado observado no trabalho, com destaque para a espécie *Apis mellifera* que foi registrada em 6 espécies de plantas de diferentes famílias.

### 5.4 SISTEMAS DE POLINIZAÇÃO

O estudo mostrou uma dominância de polinização biótica, presente em 79,31% das 29 espécies de plantas estudadas, enquanto os 20,68% restante, apresentam polinização abiótica pelo vento, representada pelas espécies *Acalypha brasiliensis*, Cyperaceae sp1, Cyperaceae sp2, Cyperaceae sp3, Poaceae sp1 e Poaceae sp2 (Figura 2).

O sistema de polinização "diversos animais" foi responsável por 27,58% das interações dos polinizadores, seguidas por "vento" (20,68%), "abelha pequena" (17,24%), "abelha e outros animais" (13,79%) e "abelha grande" (13,79%), "mosca" (3,44%) e "beija-flor" com 3,44%. No estudo não foram observados os sistemas de polinização "morcego", "vespa", "besouro", "borboleta" e "mariposa" individualmente (Figura 2).

No sistema de polinização "diversos animais", foram identificados os grupos funcionais que estavam presentes nas espécies de flores. Dentre eles, "abelha grande" estava presente em 23% das interações entre planta-polinizadores, enquanto "abelha pequena" e "borboleta" ocorreram em 18%, seguido de "besouro" e "mosca" com 14% cada, "beija-flor"

com 9% e “vespa” com 4% (Figura 4). A ocorrência de “diversos animais” foi observada nas espécies de plantas de *Aechmea distichantha* (Figura 5), *Dyckia walteriana*, *Mimosa paupera*, *Portulaca hatschbachii* e *Praxelis kleinioides*, *Dioscoreae campestris*, *Sinningia aggregata* e *Zephyranthes paranaenses*.

## 6 DISCUSSÃO

Os afloramentos rochosos são caracterizados por algumas restrições ambientais e é comum deparar-se com riqueza bastante acentuada de herbáceas, incluindo Bromeliaceae, Poaceae e Cyperaceae nesses ambientes (Cervi *et al.*, 1996; Silva, 2011). De acordo com Cervi *et al.*, (1996), a vegetação presente nestas condições, tem que estar adaptada ao microclima seletivo, estando propensa, inclusive, a desenvolver endemismos, como observado na área de estudo deste trabalho. As condições do substrato favorecem a totalidade de plantas herbáceas observadas, pois as raízes mais finas conseguem entrar em pequenas fissuras de rocha e promover a retirada de nutrientes (Silva, 2011).

Foi observado que das 29 espécies de plantas, 16 foram visitadas por polinizadores especialistas. Alguns estudos demonstram a importância da polinização por esses organismos, pois tendem a remover uma maior quantidade de pólen durante a visita à inflorescência e, conseqüentemente, garantir a eficácia na reprodução (Larsson, 2005; Brosi *and* Briggs, 2013). Por outro lado, as 13 plantas que foram visitadas por polinizadores generalistas, têm a vantagem desses organismos geralmente estarem presentes nas diferentes condições impostas pelo ambiente (Zografou *et al.* 2020). Ou seja, essas plantas podem garantir a sobrevivência, caso haja algum fator que prejudique o especialista, como impactos antrópicos (Pauw, 2007; Harrison *and* Winfree, 2015). Além disso, a ausência ou possível extinção de um polinizador especialista, pode resultar, conseqüentemente, na extinção da planta (Bond, 1994; Johnson *and* Steiner, 2000).

Dentre as 15 famílias de plantas que foram observadas, as cinco discutidas a seguir, se destacaram por apresentarem a maior quantidade de espécies dentre as que foram encontradas na área de estudo. Em primeiro lugar, se destaca a família Fabaceae, que possui uma grande diversidade de formas de vida e morfologia das estruturas florais, o que contribui para sua posição como uma das mais diversas, em praticamente todos os principais biomas globais (Flora e Funga do Brasil, 2023). Conseqüentemente, os polinizadores responsáveis

pela reprodução das plantas dessa família podem variar devido a tamanha diversidade. Foi observada, principalmente, a presença de abelhas de grande porte como polinizadores, No entanto, em *Mimosa paupera* foram registrados outros tipos de insetos, como moscas e besouros. Em seguida, com a mesma quantidade de espécies observadas, temos a família Bromeliaceae, que é conhecida por apresentar uma grande diversidade de visitantes polinizadores, incluindo abelhas, borboletas, beija-flores e besouros (Krömer *et al.*, 2008), onde também foi possível observar essa diversidade de visitantes nos representantes analisados dessa família.

Já na família Cyperaceae, sabe-se que a polinização ocorre, na maioria das vezes, pelo vento (Friedman *and* Barrett, 2009), justificando a ausência de organismos visitantes polinizadores em nossos resultados. Enquanto as plantas da família Gesneriaceae são polinizadas principalmente por beija-flores (Araujo *and* Rocha-Filho, 2019). Contudo, outros estudos relatam a presença de abelhas como visitantes e possíveis polinizadores (Camargo *et al.*, 2011, Ferreira *and* Viana, 2010), assim como verificado aqui nos resultados, onde a presença foi, predominantemente, de abelhas, mas borboletas e beija-flores também estavam presentes. Por fim, a família Plantaginaceae é conhecida por ser um grupo de floresprodutoras de óleo (Oleques *et al.*, 2021) e, embora tenha sido observada a polinização por moscas em *Scoparia pinnatifida*, espera-se que essa família seja polinizada principalmente por abelhas (Oleques *et al.*, 2021).

Dentre os polinizadores, a ordem mais expressiva foi Hymenoptera, na qual o grupo funcional de abelhas é considerado como polinizador mais importantes e dominante na maioria das comunidades de plantas (Proctor *et al.*, 1996). Os resultados mostraram que as abelhas foram associadas a 19 das 29 espécies de plantas, o que demonstra a influência e importância desses organismos na reprodução das plantas presentes no local de estudo. A abelha *A. mellifera* foi predominantemente registrada como visitante em várias espécies de plantas (Tabela 2), o mesmo observado em diversos trabalhos sobre visitantes florais e

biologia da polinização de vários biomas brasileiros (e.g. Wilms *et al.*, 1996; Neves and Viana 2002; Klein *et al.*, 2003; Minussi and Alves-dos-Santos 2007). A *A. mellifera* é considerada um polinizador de alcance de voo longo, podendo ser apontada como uma das principais espécies da polinização cruzada e portanto, necessária para a manutenção da variabilidade genética dos fragmentos (Hung *et al.*, 2018).

Por outro lado, o baixo número de indivíduos de abelhas nativas e de beija-flores observado, pode ter sido resultado do monopólio de *A. mellifera* nas flores, que pode impedir a aproximação dos demais visitantes e levar as flores há uma exaustão de recursos florais (Paton, 1993; Celebrezze and Paton, 2004). Embora *A. mellifera* seja considerada um polinizador importante, o aumento descontrolado de sua população se torna preocupante, visto que podem deslocar os visitantes nativos devido a sobreposição de uso dos recursos (Paudel *et al.*, 2015; Mohallem, 2019). Com isso, espécies de plantas que dependem exclusivamente dos polinizadores nativos, terão seu sucesso reprodutivo influenciado negativamente (Badano and Vergara, 2011).

Dentre os 12 sistemas de polinização caracterizados, 7 deles tiveram destaque nas observações. O sistema “diversos animais” foi representado pela maioria das espécies vegetais presentes nos afloramentos rochosos basálticos de Lerroville, estando relacionado, principalmente, com a característica generalista das plantas do local. A predominância desse sistema, demonstra a importância da diversidade de espécies polinizadoras no ambiente (Ollerton, 2017), bem como relatado no estudo de Oleques *et al.* (2021), em campos da região Suldo Brasil, no qual a maioria das plantas foram polinizadas por mais de um grupo de espécies. Em seguida, o sistema de polinização “vento” também apresentou um resultado expressivo no estudo, devido a presença de gramíneas e ciperáceas anemófilas presentes no local (Wolowski and Freitas, 2015; Schulze Albuquerque *et al.*, 2020). Esse sistema é responsável por cerca de 10% da polinização em angiospermas (Culley *et al.*, 2002; Friedman and Barrett, 2009), sendo vantajoso por não necessitar de animais como vetores e

permitir o fluxo gênico (Barrett, 1996; Conceição *et al.*, 2007). Portanto, a anemofilia favorece habitats que são isolados ou de acesso limitado aos animais, como é o caso dos afloramentos rochosos (Porembski *et al.* 1998, Safford *and* Martinelli 2000).

O sistema “abelha pequena” é caracterizado por animais que não realizam polinização de longas distâncias, porém alcançam um grande e variado número de flores, demonstrando a importância do comportamento generalista para a reprodução das plantas mais próximas (Freitas *and* Sazima, 2006). Em estudos realizados em campos de altitude do Sudeste brasileiro, esse sistema foi o principal responsável pela polinização local (Freitas *and* Sazima, 2006). Em seguida, os sistemas “abelha e outros animais” e “abelha grande” aparecem com a mesma porcentagem de polinização, contudo, o último pode ser representado por polinizadores de longas distâncias, o que favorece o fluxo gênico em locais mais isolados (Gottsberger *and* Silberbauer-Gottsberger, 2006). De modo geral, a maioria dos estudos trazem “abelhas” como o principal sistema de polinização, mesmo em diferentes regiões brasileiras, com os mais diversos tipos de vegetação, demonstrando a importância tanto ecológica quanto econômica desses animais (Machado *and* Lopes, 2004; Oleques *et al.*, 2021).

O sistema de polinização “mosca” e “beija-flor” foram semelhantes quanto às porcentagens de visita. O primeiro, mesmo não sendo caracterizados por voadores de longas distâncias, podem atuar como importantes vetores de pólen em toda a paisagem. A polinização por moscas é especialmente relevante, uma vez que algumas espécies da família Syrphidae podem atuar como polinizadores de média distância (Rader *et al.*, 2011). O sistema de polinização “beija-flor” foi associado à polinização de longa distância, a predominância desse sistema está associada aos campos rupestres da Serra do Cipó (Monteiro *et al.*, 2021) e previsto em ambientes do tipo OCBIL (Hooper, 2009). Porém, o presente estudo não corroborou com o esperado, visto que foi registrada baixa presença de beija-flor como sistema de polinização. Isso pode ser devido à área de estudo apresentar poucos recursos

atrativos para esse polinizador, como por exemplo, flores vermelhas, abundância de néctar, ausência de odor e corolas tubulosas (Faegri *and* Pijl, 1979; Endress, 1994) que são geralmente relacionadas com a visita por esses animais.

Os sistemas de polinização “borboleta”, “besouro” e “vespa” foram semelhantes quanto às porcentagens de visita, pois poucas espécies de plantas são polinizadas exclusivamente por esses animais. Contudo, a presença e contribuição deles foi registrada em conjunto como sistema de polinização “diversos animais” em algumas plantas. Também foi registrada a baixa contribuição dos sistemas “mariposa” e “morcego” que deve-se, principalmente, ao fato das observações terem ocorrido durante a antese das flores, ou seja no período diurno, que é contrário ao de atividade desses polinizadores. Além disso, a ausência do sistema “morcego” pode ser explicada pela sua extrema especialização com as flores, que devem ser grandes e produzidas em hastes robustas, para suportar às mordidas e arranhões dos polinizadores (Stebbins, 1970; Fleming *et al.*, 2009), diferente das flores e inflorescências apresentadas pelas espécies encontrada nos afloramentos rochosos do local de estudo.

Do ponto de vista unicamente dos sistemas de polinização predominantes na área de estudo, os sistemas envolvidos na polinização da maioria das espécies não estão relacionados com polinizadores de longa distância, indicando que a vegetação sobre basaltos ácidos da região do distrito de Lerroville não se enquadram nas categorias previstas na teoria de OCBIL.

## **7 CONCLUSÃO**

Os resultados desse estudo demonstram que não há a prevalência de polinizadores capazes de se deslocar por longas distâncias em populações isoladas de plantas presentes nos afloramentos rochosos, localmente restritos no distrito de Lerroville, não corroborando com a hipótese levantada.

Contudo, enfatizamos a importância biológica e ecológica do local que apresenta espécies de plantas endêmicas, além de uma variedade de insetos polinizadores que contribuem para a manutenção da área.

## 8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, A. C., and SAZIMA, M., 2003. The assemblage of flowers visited by hummingbirds in the “capões” of Southern Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brazil. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, vol. 198, no. 6, p. 427-435.

ARAÚJO, F.P.D. and ROCHA-FILHO, L.C.D. 2019. Special offer while stocks last: high-energy pulse of nectar caused by a massive post-fire flowering of *Sinningia elatior* (Gesneriaceae) in an area of Cerrado and implications for its pollination. *Rodriguésia*, v. 70.

BADANO, E. I., and VERGARA, C.H. 2011. Potential negative effects of exotic honey bees on the diversity of native pollinators and yield of highland coffee plantations. *Agricultural and Forest Entomology* vol. 13, p. 365–372.

BARRETT, S.C.H. 1996. The reproductive biology and genetics of island plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* vol. 351, no. 1341, p. 725-733.

BELLIENI, G., COMIN-CHIARAMONTI, P., MARQUES, L.S., MELFI, A. J., NARDY, A.J.R., PAPTRECHAS, C., PICCIRILLO, E.M., ROISENBERG, A. and STOLFA, D. 1986. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná Plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. *Journal of Petrology*, vol. 27, p. 915–944.

Bond, W.J. 1994. Do mutualisms matter? Assessing the impact of pollinator and disperser disruption on plant extinction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, vol. 344, no. 1307, p. 83-90.

- BROSI, B. J. and BRIGGS, H. M. 2013. Single pollinator species losses reduce floral fidelity and plant reproductive function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 110, no. 32, p. 13044-13048.
- BULLOCK, S. H., 1994. Wind pollination of neotropical dioecious trees. *Biotropica*, p. 172-179.
- CAMARGO, E., RODRIGUES, L.C., and ARAÚJO, A.C. 2011. Pollination biology and reproduction of *Seemannia sylvatica* (Kunth) Hanstein (Gesneriaceae) in the Serra da Bodoquena National Park, Mato Grosso do Sul. *Biota Neotropica*, vol. 11, p. 125-130.
- CARSTENSEN, D.W., SABATINO, M. and MORELLATO, L.P. 2016. Modularity, pollination systems, and interaction turnover in plant-pollinator networks across space. *Ecology*, vol. 97, p. 1298–1306.
- CARSTENSEN, D.W., SABATINO, M., TRØJELSGAARD, K. and MORELLATO, L.P. 2014. Beta diversity of plant-pollinator networks and the spatial turnover of pairwise interactions. *PLoS One*, vol. 9, no. 11, p. e112903.
- CELEBREZZE, T. and PATON, D.C. 2004. Do introduced honeybees (*Apis mellifera*, Hymenoptera) provide full pollination service to bird-adapted Australian plants with small flowers? An experimental study of *Brachyloma ericoides* (Epacridaceae). *Austral Ecology*, vol. 29, no. 2, p. 129-136.
- CERVI, A.C., VON LINSINGEN, L., HATSCHBACH, G. and RIBAS, O. S. 1996. A vegetação do parque estadual de Vila Velha, município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil. *Publicação interrompida*, vol. 1986, p.1998-2004.
- CONCEIÇÃO, A.A., FUNCH, L.S., and PIRANI, J.R. 2007. Reproductive phenology, pollination and seed dispersal syndromes on sandstone outcrop vegetation in the" Chapada

Diamantina", northeastern Brazil: population and community analyses. *Brazilian Journal of Botany*, vol. 30, p. 475-485.

CULLEY, T.M., WELLER, S.G. and SAKAI, A.K. 2002. The evolution of wind pollination in angiosperms. *Trends in Ecology & Evolution*, vol.17, no. 8, p. 361–369.

DA SILVA, A.R. 2011. *Aspectos fitossociológicos e pedológicos em remanescente florestal e florística em afloramento rochoso no município de campo mourão, paraná, brasil*: Universidade Federal do Paraná, 114 p. Tese de Doutorado.

DE BASTIANI, A., NERVO, M. H., SINGER, R. B., and BUZATTO, C. R. 2020. One or two species? Floral characteristics and pollination biology aid in *Sinningia* (Gesneriaceae) species circumscription. *Flora*, vol. 271, p. 151660.

DE FÁTIMA RIBEIRO, M., DA SILVA, E.M.S. and RIZZARDO, R.A.G. 2006. Who is pollinating *Stemodia pratensis* (Scrophulariaceae) in lençóis, Bahia?. *Biologia e Ecologia da Polinização*, p. 83.

ENDRESS, P.K. 1994. Floral structure and evolution of primitive angiosperms: recent advances. *Plant Systematics and Evolution*, vol. 192, p. 79-97.

Fabaceae in *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB115>>. Acesso em: 03 ago. 2023

FADEN, R.B. 1992. Floral attraction and floral hairs in the Commelinaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, p. 46-52.

FAEGRI, K. and VAN DER PIJL, L. 1979. *The principles of pollination ecology*. Pergamon, New York.

FELICIANO, D.C., DE GODOY, S.M., DA SILVA, J.F.M., GÓES, B. D., FERRAZ, J.R., DE OLIVEIRA SANTOS, P., ... and DE FÁTIMA RUAS, C. 2022. Landscape genetics reveal low diversity and adaptive divergence in *Portulaca hatschbachii* (Portulacaceae): an endangered species endemic to rocky outcrops of the Atlantic Forest. *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 200, no. 1, p. 116-141.

FERREIRA, P.A., and VIANA, B.F. 2010. Pollination biology of *Paliavana tenuiflora* (Gesneriaceae: Sinningeae) in northeastern Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, vol. 24, p. 972-977.

FLEMING, T. H., GEISELMAN, C. and KRESS, W. J. 2009. The evolution of bat pollination: a phylogenetic perspective. *Annals of botany*, vol. 104, no.6, p.1017-1043.

FRAHM, J.P. 1996. Diversity, life strategies, origins and distribution of tropical inselberg bryophytes. *Anales del Instituto de Biología*, Universidad Nacional Autónoma de México, vol. 67, no. 1, p. 73-86.

FRANKIE, G.W., HABER, W.A., OPLER, P.A., and BAWA, K.S. 1983. Characteristics and organization of the large bee pollination system in the Costa Rican dry forest. *Characterstics and organization of the large bee pollination system in the Costa Rican dry forest.*, p. 411-447.

FREITAS, L. and SAZIMA, M. 2006. Pollination biology in a tropical high-altitude grassland in Brazil: interactions at the community level. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, p. 465-516.

FRIEDMAN, J. and BARRETT, S. C. H. 2009. Wind of change: new insights on the ecology and evolution of pollination and mating in wind-pollinated plants. *Annals of Botany*, vol. 103, no. 9, p. 1515–1527.

- GOTTSBERGER, G., and SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. 2006. Life in the Cerrado: a South American Tropical Seasonal Vegetation. Vol. I-Origin. *Structure, Dynamics and Plant Use*. Germany.
- GREENLEAF, S.S., WILLIAMS, N.M., WINFREE, R. and KREMEN, C. 2007. Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia*, vol. 153, p. 589–596.
- HARRISON, T., and WINFREE, R. 2015. "Urban drivers of plant-pollinator interactions." *Functional Ecology*, vol. 29, no.7, p. 879-888.
- HOPPER, S. D. 2009. OCBIL theory: towards an integrated understanding of the evolution, ecology and conservation of biodiversity on old, climatically buffered, infertile landscapes. *Plant and soil*, vol. 322, p. 49-86.
- HUNG, K.L.J., KINGSTON, J.M., ALBRECHT, M., HOLWAY, D.A., and KOHN, J.R. 2018. The worldwide importance of honey bees as pollinators in natural habitats. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 285, no.1870, p. 20172140.
- IGANCI, J.R.V., HEIDEN, G., MIOTTO, S.V. and PENNINGTON, R.T. 2011. Campos de Cima da Serra: The Brazilian Subtropical Highland Grasslands show an unexpected level of plant endemism. *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 167, p. 378–393.
- JOHNSON, S. D. and STEINER, K. E. 2000. Generalization versus specialization in plant pollination systems. *Trends in ecology & evolution*, vol. 15, no. 4, p. 140-143.
- KLEIN, A.M., STEFFAN-DEWENTER, I. and TSCHARNTKE, T. 2003. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, vol. 270, no. 1518, p. 955-961.

- KÖPPEN, W. 1948. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. *Fondo de Cultura Econômica*. México, p.479.
- KRÖMER, T., KESSLER, M., LOHAUS, G. and SCHMIDT-LEBUHN, A.N. 2008. Nectar sugar composition and concentration in relation to pollination syndromes in Bromeliaceae. *Plant Biology*, vol. 10, no. 4, p. 502–511.
- LARSSON, M. 2005. Higher pollinator effectiveness by specialist than generalist flower-visitors of unspecialized *Knautia arvensis* (Dipsacaceae). *Oecologia*, vol. 146, no. 3, p. 394-403.
- LIMA, G.O., SANTOS, B.Y.M., LEITE, A.V. and SANTANA, E. L. 2016. Biologia floral e guilda de polinizadores de *Zornia latifolia* Sm.(FABACEAE). Congresso Nacional de Pesquisa e ensino em ciências.
- MACHADO, A.D.O. and OLIVEIRA, P.E.A.D. 2000. Biologia floral e reprodutiva de *Casearia grandiflora* Camb.(Flacourtiaceae). *Brazilian Journal of Botany*, vol. 23, p. 283-290.
- MACHADO, F.B. 2003. Geologia e possíveis zonas de efusão do Magmatismo ácido cretácico da Bacia do paraná. Monografia (Trabalho de conclusão de curso – Geologia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista.
- MACHADO, I.C. and LOPES, A. V. 2004. Floral Traits and Pollination Systems in the Caatinga, a Brazilian Tropical Dry Forest, *Annals of Botany*, Vol. 94, no. 3, p. 365–376.
- MINUSSI, L.C. and ALVES-DOS-SANTOS, I. 2007. Abelhas nativas versus *Apis mellifera* Linnaeus, espécie exótica (Hymenoptera, Apidae). *Bioscience Journal*, Uberlândia, vol. 23, p. 58-62.

- MOHALLEM, M.L. 2019. *Impacto de Apis mellifera L. no comportamento de abelhas nativas e na rede de interações abelha-planta*: Universidade Federal de Alfenas, 60 p. Dissertação Mestrado em Ciências Ambientais.
- MONTEIRO, B.L., CAMARGO, M.G.G., LOIOLA, P.D.P., CARSTENSEN, D.W., GUSTAFSSON, S. and MORELLATO, L.P.C. 2021. Pollination in the campo rupestre: a test of hypothesis for an ancient tropical mountain vegetation. *Biological Journal of the Linnean Society*, vol. 133 no. 2, p. 512-530.
- NASON, J. D., ALDRICH, P. R. and HAMRICK, J. L. 1997. Dispersal and the dynamics of genetic structure in fragmented tropical tree populations. *Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities*, p. 304-320.
- NEVES, E.L.D. and VIANA, B.F. 2002. As abelhas eussociais (Hymenoptera, Apidae) visitantes florais em um ecossistema de dunas continentais no médio Rio São Francisco, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*, vol. 46, p. 571-578.
- OLEQUES, S.S., SOUZA-CHIES, T.T.D. and AVILA JR, R.S.D. 2021. Elucidating plant-pollinator interactions in South Brazilian grasslands: What do we know and where are we going?. *Acta Botanica Brasilica*, vol. 35, p. 323-338.
- OLIVEIRA, R.B.D. and GODOY, S.A.P.D. 2007. Composição florística dos afloramentos rochosos do Morro do Forno, Altinópolis, São Paulo. *Biota Neotropica*, vol. 7, p. 37-47.
- OLLERTON J. 1996. Reconciling ecological process with phylogenetic patterns: the apparent paradox of plant-pollinator systems. *Journal of Ecology*, vol. 84, p. 767-769.
- OLLERTON, J. 2017. Pollinator diversity: distribution, ecological function, and conservation. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, vol. 48, p. 353-376.

OLLERTON, J. 2021. *Pollinators and Pollination: Nature and Society*. Pelagic Publishing Ltd.

OLLERTON, J., LIEDE-SCHUMANN, S., ENDRESS, M. E., MEVE, U., RECH, A. R., SHUTTLEWORTH, A., ... and QUIRINO, Z., 2019. The diversity and evolution of pollination systems in large plant clades: Apocynaceae as a case study. *Annals of Botany*, vol. 123, no. 2, p. 311-325.

PARKER, F. D. and TEPEDINO, V. J. 1990. Bee pollination of *Cuphea* (Lythraceae) species in greenhouse and field. *Pan-Pacific Entomologist*, vol. 66, no. 1, p. 9-12.

PATON, D. C. 1993. Honeybees in the Australian environment. *Bioscience*, vol. 43 no. 2, p. 95-103.

PAUDEL, Y. P., MACKERETH, R., HANLEY, R. and QIN, W. 2015. Honey bees (*Apis mellifera* L.) and pollination issues: Current status, impacts, and potential drivers of decline. *Journal of Agricultural Science*, vol. 7, no. 6, p. 93.

Pauw, A. 2007. Collapse of a pollination web in small conservation areas. *Ecology*, vol. 88, no. 7, p. 1759-1769.

POREMBSKI, S., MARTINELLI, G., OHLEMÜLLER, R. and BARTHLOTT, W. 1998. Diversity and ecology of saxicolous vegetation mats on inselbergs in the Brazilian Atlantic rainforest. *Diversity and distributions*, vol. 4, no. 3, p. 107-119.

PROCTOR, M., YEO, P. and LACK, A. 1996. *The natural history of pollination*. Harper Collins, New York.

RADER, R., EDWARDS, W., WESTCOTT, D. A., CUNNINGHAM, S. A. and HOWLETT, B. G. 2011. Pollen transport differs among bees and flies in a human-modified landscape. *Diversity and Distributions*, vol. 17, no. 3, p. 519-529.

RAMALHO, M. and ROSA, J. F. 2010. Ecologia da interação entre as pequenas flores de quilha de *Stylosanthes viscosa* Sw.(Faboideae) e as grandes abelhas *Xylocopa* (Neoxylocopa) *cearensis* Ducke, 1910 (Apoidea, Hymenoptera), em duna tropical. *Biota Neotropica*, vol. 10, p. 93-100.

ROBINS, T. P. BINKS, R. M., BYRNE, M. and HOPPER, S. D. 2021. Contrasting patterns of population divergence on young and old landscapes in *Banksia seminuda* (Proteaceae), with evidence for recognition of subspecies. *Biological Journal of the Linnean Society*, vol. 133, no. 2, p. 449-463.

SAFFORD, H. D. and MARTINELLI, G. 2000. Southeast Brazil. In *Inselbergs: biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. pp. 339-389.

SANMARTIN-GAJARDO, I. and SAZIMA, M. 2004. Non-euglossine bees also function as pollinators of *Sinningia* species (Gesneriaceae) in southeastern Brazil. *Plant Biology*, vol.6, no. 04, p. 506-512.

SCHULZE-ALBUQUERQUE, I., COSTA, A. C. G. D., MILET-PINHEIRO, P., NAVARRO, D. M. D. A. F., THOMAS, W. W. and MACHADO, I. C. 2020. Visual and olfactory floral cues related to ambophilous pollination systems in Poaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 192, no. 1, p. 242-257.

SEGNOU, C. A., AKORODA, M. O. and HAHN, S. K. 1992. Studies on the reproductive biology of white yam (*Dioscorea rotundata* Poir.). *Euphytica*, vol. 64, p. 197-203.

- SILVEIRA, F.A., DAYRELL, R.L., FIORINI, C.F., NEGREIROS, D. and BORBA, E.L. 2020. Diversification in ancient and nutrient-poor Neotropical ecosystems: how geological and climatic buffering shaped plant diversity in some of the world's neglected hotspots. *Neotropical diversification: patterns and processes*, p. 329-368.
- SINGER, R.B. and SAZIMA, M. 2001. Flower morphology and pollination mechanism in three sympatric Goodyerinae orchids from southeastern Brazil. *Ann Bot.-London*, vol. 88, no. 6, p. 989-997.
- SOUZA-CHIES, T. T., SANTOS, E. K. D., EGGERS, L., FLORES, A. M., ALVES, E. M. S., FACHINETTO, J., LUSTOSA, L., CORRÊA, L. B., TACUATIÁ, L. O., PICCOLI, P. and MIZ, R. B. 2012. Studies on diversity and evolution of Iridaceae species in southern Brazil. *Genetics and Molecular Biology*, vol. 35, p. 1027-1035.
- STEBBINS, G. L. 1970. Adaptive radiation of reproductive characteristics in angiosperms, I: pollination mechanisms. *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 1, no. 1, p. 307-326.
- TEIXEIRA, L. A. G. 2005. *Mecanismos de polinização e sistema reprodutivo de espécies de Marantaceae da Estação Ecológica do Tapacurá, Pernambuco, Nordeste do Brasil*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.
- WILMS, W., IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. and ENGELS, W. 1996. Resource partitioning between highly eusocial bees and possible impact of the introduced Africanized honey bee on native stingless bees in the Brazilian Atlantic rainforest. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, vol. 31, no. 3-4, p.137-151.
- WOLOWSKI, M. and FREITAS, L. 2015. An overview on pollination of the Neotropical Poales. *Rodriguésia*, vol. 66, p. 329-336.

ZOGRAFOU, K., SWARTZ, M. T., TILDEN, V. P., MCKINNEY, E. N., ECKENRODE, J. A. and SEWALL, B. J. 2020. Stable generalist species anchor a dynamic pollination network. *Ecosphere*, vol. 11, no. 8, p. e03225.

## 9 ANEXO

Figura 1 - Município de Londrina, Paraná, Brasil. Localização do município de Londrina, em destaque o distrito de Lerroville. B = Vista aérea dos pontos de coleta 1 e 2 no distrito de Lerroville. C= Ponto de coleta 1. D= Ponto de coleta 2

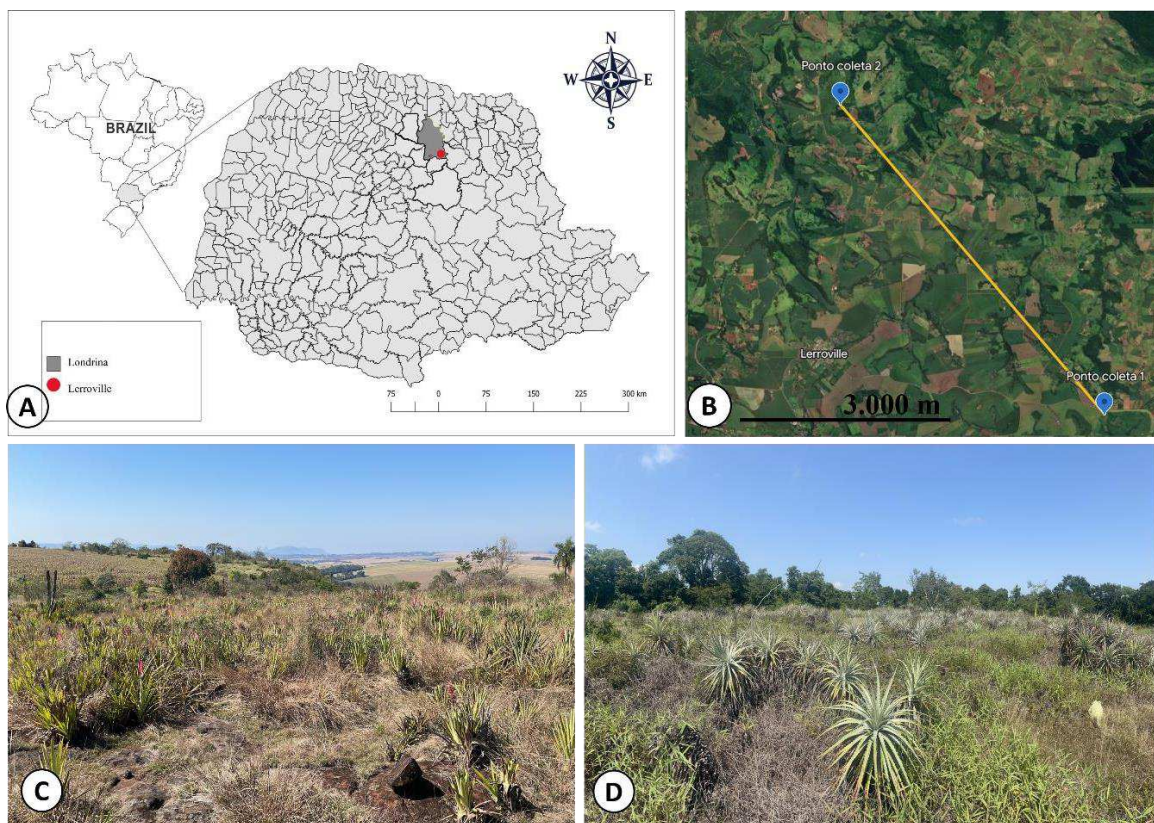


Figura 2 - Flores e seus visitantes registrados em Lerroville, Paraná, Brasil: A-B= *Trigona spinipes* e Besouro, caracterizado por animais diversos visitando *Dyckia walteriana*. C= *Wedelia kerrii* sendo visitada por *Apis mellifera*(abelha grande). D= Moscas da família Syrphidae visitando *Zornia latifolia*. E= *Apis mellifera* (abelha grande) visitando *Portulaca hatschbachii*. F= *Apis mellifera* pilhando *Sinningia aggregata*.

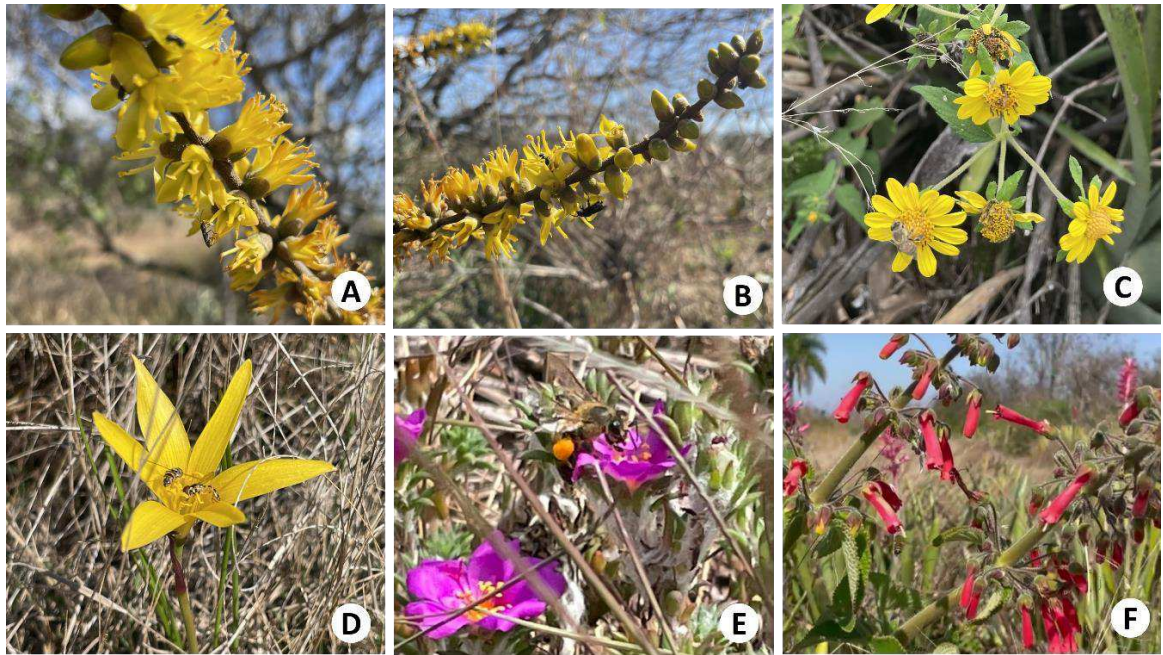


Figura 3 – Número de sistemas de polinização observados nos afloramentos rochosos de Lerroville, Londrina, Paraná, Brasil segundo os grupos funcionais, N= 29.

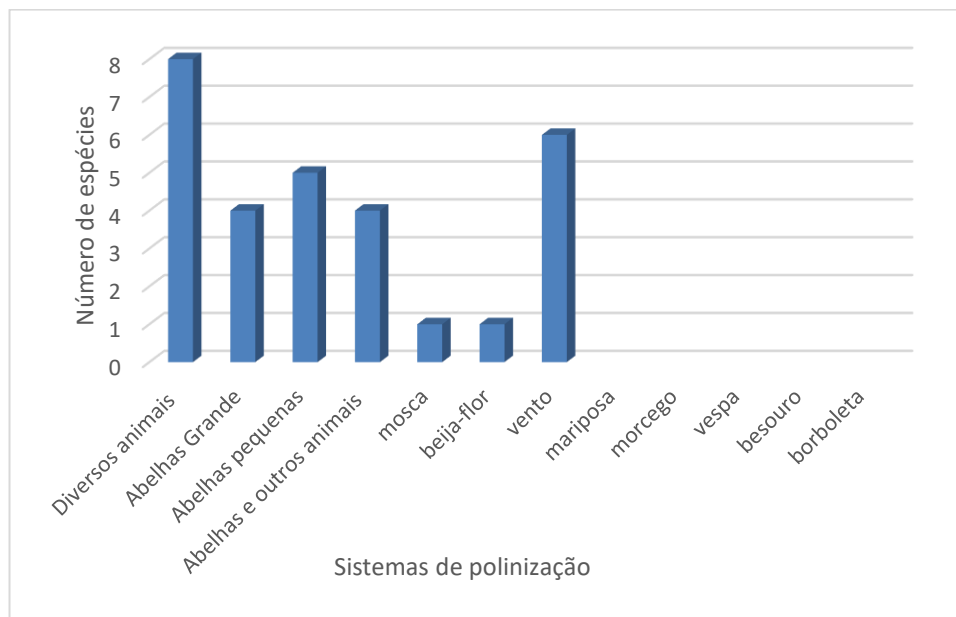


Figura 4 - Percentual de espécies caracterizadas no sistema de polinização Diversos animais em Lerroville, Londrina, Paraná, Brasil

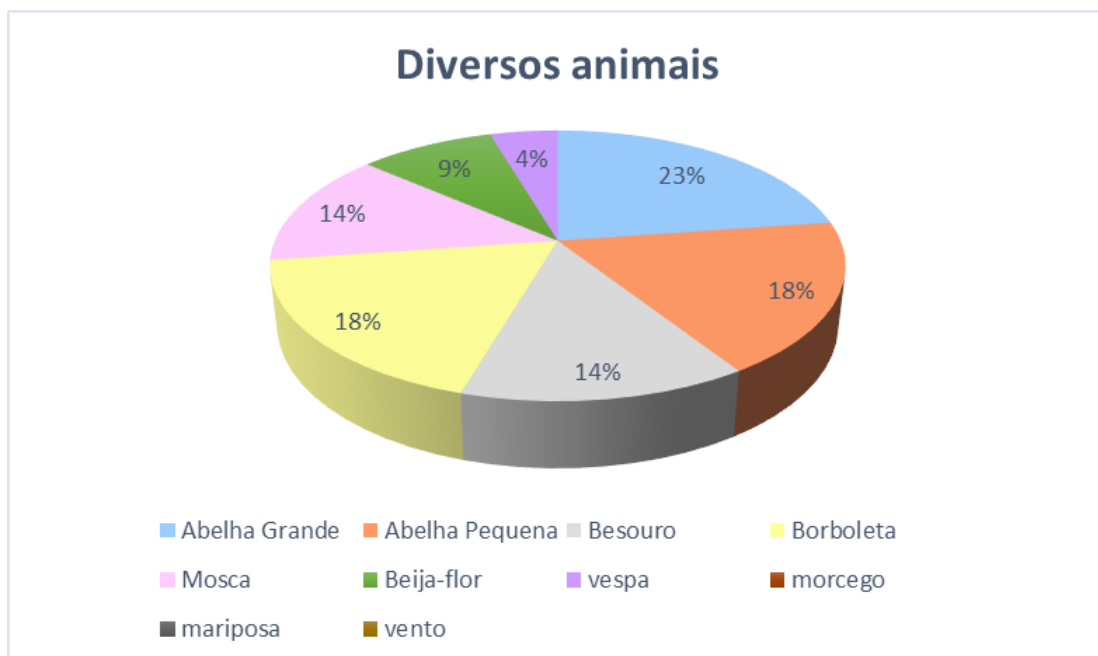


Figura 5 - Sistema de polinização definido como diversos animais para a espécie de *Aechmea distichantha* observada Lerroville, Londrina, Paraná, Brasil. A= Observação de *Trigona spinipes*. B= *Bombus* sp. C= Borboleta. D= Beija-flor da família Trochilidae



Tabela 1 - Critérios de acurácia aplicados para a inferência do polinizador das espécies vegetais. Do método de inferência mais (categoria 1) ao menos (categoria 5) preciso. Para as Categorias 1 a 3, a determinação do polinizador é baseada em observações diretas de campo das espécies alvo; para as Categorias 4–5, o polinizador é inferido com base em evidências indiretas. (adaptados de Ollerton *et al.*, (2019) e Monteiro *et al.*, (2021).

Categoria	Condição	Descrição
1	Polinizador comprovado	Observações sistemáticas e diretas no campo da transferência de pólen entre flores por visitantes florais polinizando a flor. Os dados podem incluir avaliação do sucesso reprodutivo, contagem/viabilidade de pólen, produção de sementes/ viabilidade, tempo e frequência de visitas, biologia floral e coleta de visitantes florais.
2	Polinizador definido por observação direta	Observação sistemática e direta no campo de um visitante floral em contato com o estame/ estigma, aparelho reprodutor floral, inferido como polinizador. Os dados podem incluir o horário e a frequência das visitas e informações sobre a biologia floral.
3	Polinizador definido por observação oportunista	Polinizador definido pela observação de campo oportunista e circunstancial de visitantes florais em contato com o estame/estigma. Considera eventual avaliação qualitativa da frequência de visitação e biologia floral.
4	Polinizador definido por espécies intimamente relacionadas	Polinizador definido com base em observações diretas disponíveis na literatura de espécies intimamente relacionadas do mesmo gênero e com morfologia floral semelhante.

---

5	Definição indireta de polinizador	Polinizador definido com base apenas na morfologia floral e atributos florais observados em campo, fotos, material depositado em herbário e literatura geral.
---	-----------------------------------	---

---

Tabela 2 - Lista de espécies, organizadas por família, e respectivos sistemas de polinização (Sistema), e informações sobre número de testemunho, com nome e número de coletor (FUEL), tipo de pesquisa, fonte (este estudo ou revisão de literatura), categoria (Cat) dos critérios de precisão e pontos de coleta.

Testemunho	Família	Espécies	Autor	Polinizador observado ou inferido	Literatura	Cat	Sistema	Ponto de coleta
Ribeiro 2953	Amaryllidaceae	<i>Zephyrantes paranaenses</i>	Ravenna	<i>Apis mellifera</i> (Linnaeus, 1758), Syrphidae e Borboleta sp2	Este estudo	2	Diversos animais	Ponto coleta 1 e 2
Ribeiro 2958	Asteraceae	<i>Praxelis kleinioides</i>	(Kunth) Sch. Bip.	Abelha sp4., Syrphidae e Borboleta sp1	Este estudo	3	Diversos animais	Ponto coleta 2
Ribeiro 2948/2977	Asteraceae	<i>Wedelia kerrii</i>	N.E.Br.	<i>Apis mellifera</i>	Este estudo	2	Abelha grande	Ponto coleta 2
Ferraz 416	Bromeliaceae	<i>Aechmea distichantha</i>	Lem.	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus</i> sp2, <i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793), Halictidae sp., Trochilidae sp2, Trochilidae sp3, borboleta sp3, borboleta sp4	Este estudo	2	Diversos animais	Ponto coleta 1
Não coletada	Bromeliaceae	<i>Bromelia balansae</i>	Mez.	Phaethornis eurynome (Lesson, 1832)	Araujo and Sazima, 2003	4	Beija-flor	Ponto coleta 1
Ferraz 1002	Bromeliaceae	<i>Dyckia walteriana</i>	Leme	<i>Trigona spinipes</i> , abelha sp5 e besouro sp3	Este estudo	2	Diversos animais	Ponto coleta 2
Ribeiro 3009	Commelinaceae	<i>Commelina erecta</i>	L.	Abelha sp6. e Syrphidae	Faden, 1992	4	Abelha e outros animais	Ponto coleta 1
Ribeiro 3003	Cyperaceae	Cyperaceae sp1		Vento	Este estudo	5	Vento	Ponto coleta 2
Ribeiro 3018	Cyperaceae	Cyperaceae sp2		Vento	Este estudo	5	Vento	Ponto coleta 2
Ribeiro 3019	Cyperaceae	Cyperaceae sp3		Vento	Este estudo	5	Vento	Ponto coleta 2
Ribeiro 2949/2950/3011	Dioscoreaceae	<i>Dioscorea campestris</i>	Griseb.	Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, Hemiptera e Thysanoptera	Segnou et al., 1992	4	Diversos animais	Ponto coleta 1
Ribeiro 2975/2965	Euphorbiaceae	<i>Acalypha brasiliensis</i>	Müll.Arg.	Vento	Bullock, 1994	4	Vento	Ponto coleta 1
Ribeiro 2976/2956	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia hyssopifolia</i>	L.	Syrphidae	Este estudo	3	Mosca	Ponto coleta 2
Ribeiro 3010	Fabaceae	<i>Centrosema virginianum</i>	(L.) Benth.	<i>Bombus</i> sp.	Este estudo	2	Abelha grande	Ponto coleta 1

Testemunho	Família	Espécies	Autor	Polinizador observado ou inferido	Literatura	Cat	Sistema	Ponto de coleta
Ribeiro 2955/2961/3006	Fabaceae	<i>Mimosa paupera</i>	Benth.	<i>Apis mellifera</i> , <i>Bombus</i> sp1, mosca sp1 e besouro sp1	Este estudo	2	Diversos animais	Ponto coleta 1 e 2
Ribeiro 2957	Fabaceae	<i>Stylosanthes vallsii</i>	Sousa Costa & Van den Berg	<i>Xylocopa cearenses</i> (Ducke,1910)	Ramalho and Rosa, 2010	4	Abelha grande	Ponto coleta 2
Ribeiro 2953	Fabaceae	<i>Zornia latifolia</i>	Sm.	<i>Bombus brevivilus</i> (Franklin,1913) e <i>Apis mellifera</i>	Lima et al., 2016	4	Abelha grande	Ponto coleta 2
Ribeiro 2947	Gesneriaceae	<i>Sinningia aggregata</i>	(Ker Gawl.) Wiehler	Trochilidae sp1 e <i>Apis mellifera</i> e Borboleta	Este estudo	2	Diversos animais	Ponto coleta 1
Ribeiro 3007	Gesneriaceae	<i>Sinningia sellovi</i>	(Mart.) Wiehler	Trochilidae, <i>Centris analis</i> , <i>Bombus morio</i> , <i>Epicharis morio</i> , <i>Eufriesea violascens</i> e <i>Eulaema cingulata</i>	de Bastiniani et al., 2020; SanMartin-Gajardo and Sazima, 2004	4	Abelha e outros animais	Ponto coleta 2
Ribeiro 2951	Gesneriaceae	<i>Sinningia warmingii</i>	(Hiern) Chautems	Trochilidae, <i>Centris analis</i> , <i>Bombus morio</i> , <i>Epicharis morio</i> , <i>Eufriesea violascens</i> e <i>Eulaema cingulata</i>	de Bastiniani et al., 2020; SanMartin-Gajardo and Sazima, 2004	4	Abelha e outros animais	Ponto coleta 2
Ferraz 303	Iridaceae	<i>Trimezia spathata</i>	(Klatt) Baker	<i>Chalepogenus</i> sp.	Souza-Chies et al., 2012	4	Abelha pequena	Ponto coleta 1
Ribeiro 3004	Lythraceae	<i>Cuphea calophylla</i> .	Cham. & Schltldl	<i>Bombus fervidus</i> (Fabricius,1798), <i>Bombus huntii</i> (Greene,1860), <i>Bombus occidentalis</i> (Greene,1858), <i>Dialictus</i> sp., <i>Agapostemon tezanus</i> (Cresson, 1872) e <i>Megachile rotundata</i> (Fabricius,1787)	Parker and Tepedino, 1990	4	Abelha pequena	Ponto coleta 1
Ribeiro 2962	Maranthaceae	<i>Maranta sobolifera</i>	L. Andersson	Abelha pequena	Teixeira, 2005	4	Abelha pequena	Ponto coleta 1
Ribeiro 2946	Plantaginaceae	<i>Mecardonia procumbens</i>	(Mill.) Small	Apidae sp1	Este estudo	2	Abelha pequena	Ponto coleta 1 e 2
Ribeiro 2959/3001	Plantaginaceae	<i>Scoparia pinnatifida</i>	Cham.	Apidae sp5 e Syrphidae	Este estudo	2	Abelha e outros animais	Ponto coleta 2
Ribeiro 2945	Plantaginaceae	<i>Stemodia verticillata</i>	(Mill.) Hassl.	<i>Nannotrigona testaceicornis</i> (Lepeletier, 1836), <i>Dialictus</i> sp e <i>Augochlora</i> sp.	de Fatima Ribeiro et al., 2006	4	Abelha pequena	Ponto coleta 1

Testemunho	Família	Espécies	Autor	Polinizador observado ou inferido	Literatura	Cat	Sistema	Ponto de coleta
Ribeiro 3008/3015	Poaceae	Poaceae sp1		Vento	Este estudo	5	Vento	Ponto coleta 1
Ribeiro 3016	Poaceae	Poaceae sp2		Vento	Este estudo	5	Vento	Ponto coleta 1
Ribeiro 3013	Portulacaceae	<i>Portulaca hatschbachii</i>	D. Legrand	<i>Apis mellifera</i> , abelha sp1, vespidae sp1 e besouro sp2	Este estudo	2	Diversos animais	Ponto coleta 1 e 2