

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA EVOLUTIVA  
(ASSOCIAÇÃO AMPLA ENTRE A UEPG E UNICENTRO)

LUCIELI MOREIRA GARCIA

*Parodia carambeiensis* (Buining & Brederoo) Hofacker (CACTACEAE):  
FENOLOGIA, BIOLOGIA REPRODUTIVA E VISITANTES FLORAIS

PONTA GROSSA

2021

LUCIELI MOREIRA GARCIA

*Parodia carambeiensis* (Buining & Brederoo) Hofacker (CACTACEAE):  
FENOLOGIA, BIOLOGIA REPRODUTIVA E VISITANTES FLORAIS

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Biologia Evolutiva da Universidade Estadual de Ponta Grossa em associação com a Universidade do Centro Oeste do Paraná, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Ciências Biológicas (Área de concentração de Biologia Evolutiva).

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosângela Capuano Tardivo  
Co-orientador: Prof. Dr. Felipe Micali Nuvoloni

PONTA GROSSA

2021

G216 Garcia, Lucieli Moreira  
*Parodia carambeiensis* (Buining & Brederoo) Hofacker (Cactaceae): Fenologia,  
Biologia Reprodutiva e Visitantes Florais / Lucieli Moreira Garcia. Ponta Grossa,  
2021.

63 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Área de Concentração:  
Biologia Evolutiva), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Rosângela Capuano Tardivo.

Coorientador: Prof. Dr. Felipe Micali Nuvoloni.

1. Cactaceae. 2. Campos rupestres. 3. Paraná. 4. Polinização. 5. Reprodução.  
I. Tardivo, Rosângela Capuano. II. Nuvoloni, Felipe Micali. III. Universidade  
Estadual de Ponta Grossa. Biologia Evolutiva. IV.T.

CDD: 574



**Programa de Pós-Graduação em Biologia Evolutiva**  
*Associação Ampla entre a Universidade Estadual de Ponta Grossa (Departamento de Biologia Estrutural, Molecular e Genética) e a Universidade Estadual do Centro Oeste (Departamento de Ciências Biológicas)*



PPG - Biologia Evolutiva

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº. 04/2021/UEPG**

Ata referente à Defesa de Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Evolutiva, uma Associação Ampla entre a Universidade Estadual de Ponta Grossa e a Universidade Estadual do Centro-Oeste, pelo(a) candidato(a) **Lucieli Moreira Garcia**.

Aos vinte e sete dias do mês de agosto de dois mil e vinte e um, sob a presidência do(a) Profa. Dra. Rosângela Capuano Tardivo em sessão pública por sessão remota, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação do(a) aluno(a) **Lucieli Moreira Garcia**, do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas - Área de concentração em Biologia Evolutiva, visando o título de Mestre, constituída pelos: Profa. Dra. Cristiana Barros Nascimento Costa (UFSB), Profa. Dra. Ivana de Freitas Barbola (UEPG), Dr. Fabiano Costa da Maia (UFPR) – Suplente. Atestada pela colenda Congregação do Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas, área de concentração em Biologia Evolutiva. Iniciados os trabalhos a presidência deu conhecimento aos membros da Comissão e ao candidato das normas que regem a defesa de dissertação. A seguir o(a) candidato(a) passou a defesa de sua dissertação intitulada: “*Parodia carambeiensis* (Buining & Brederoo) Hofacker (Cactaceae): Fenologia, Biologia Reprodutiva e Visitantes Florais”. Encerrada a defesa, procedeu-se ao julgamento e a Comissão Examinadora considerou a candidata **APROVADA**. A Presidência ressaltou que a obtenção do título de Mestre está condicionada ao disposto da atual aprovação de outorga do Título de Mestre em Ciências Biológicas, Área de concentração em Biologia Evolutiva, **com validade de sessenta dias**; assim como comprovante de envio de um artigo científico proveniente de seu trabalho de dissertação a revista com Qualis igual ou superior a B1 (Biodiversidade – Capes) **até o prazo máximo de 90 dias após a defesa**; o não depósito da versão definitiva da Dissertação, bem como as cópias em CD (PDF) com todas as correções feitas e atestadas pelo orientador, assim como o comprovante de envio do artigo nestes prazos, anulará toda possibilidade de outorga definitiva do Título, recebimento de Certidão e outros documentos, bem como a solicitação do Diploma. Nada mais havendo a tratar, lavrou-se a presente ata, que vai assinada pelos membros da Comissão Examinadora. Observação (se necessário)

Alteração de Título: sim  não

Novo título: \_\_\_\_\_

Ponta Grossa, 27 de agosto de dois mil e vinte e um.

Profa. Dra. Rosângela Capuano Tardivo (UEPG)

Profa. Dra. Cristiana Barros Nascimento Costa (UFSB)

Profa. Dra. Ivana de Freitas Barbola (UEPG)

Àqueles que me apoiaram neste caminho longo: A minha família, “bem mais precioso que possuo”, dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por ter colocado esta oportunidade em minha vida, abrir caminhos e estar sempre presente nos momentos de dificuldade e conquistas.

À Professora Rosângela Capuano Tardivo, pela orientação, oportunidade oferecida, partilha de conhecimentos, horas de orientação gastas para conclusão desta pesquisa, grata por ter contribuído com minha formação desde a iniciação científica sempre foi muito atenciosa e me ajudou da melhor maneira possível na pesquisa.

Ao Professor Felipe Micali Nuvoloni pela coorientação que mesmo distante contribuiu muito com este trabalho, pelos valiosos ensinamentos, orientações, sugestões e acima de tudo por sua amizade e carinho ao longo da realização desta pesquisa, sempre disposto a ajudar.

Aos meus familiares, especialmente meus pais pelo exemplo de dignidade, força e fé, que me direcionam sempre. Pelo apoio incondicional e, por muitas vezes, acreditarem em mim mais que eu mesma.

Ao meu esposo Gustavo, por todo amor, carinho, incentivo e compressão, desde a graduação e mestrado e por toda ajuda na maioria dos trabalhos de campo.

Aos colegas do herbário e do programa de Pós-graduação em Biologia Evolutiva.

À banca avaliadora da qualificação Professoras Cristiana Costa e Ivana de Freitas Barbola pelas dicas e sugestões. E as mesmas pela participação da banca de defesa.

Ao Sisbio pela autorização da coleta.

À Capes pelo apoio financeiro.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

## RESUMO

A família Cactaceae apresenta 129 gêneros e 1450 espécies, com distribuição Neotropical. O Brasil é considerado o terceiro centro de diversidade e endemismo da família, sendo os cactos considerados importantes na manutenção da biodiversidade local, além de fornecerem importantes serviços ecossistêmicos para o ser humano. O conhecimento de estudos de biologia reprodutiva e eventos fenológicos nos possibilitam melhor compressão dos sistemas de polinização, comportamento dos polinizadores, trazem inúmeras informações principalmente quanto à época de floração, frutificação, dispersão e disponibilidade de recursos, embora sejam de extrema importância, pouco se sabe sobre estes sistemas para as cactáceas da região Sul do Brasil, sendo a maioria deles conhecidos nas regiões Sudeste e Nordeste. O principal objetivo deste trabalho foi conhecer aspectos fenológicos, biologia floral e reprodutiva e os polinizadores de *Parodia carambeiensis*. Foram conduzidos estudos em campo no Parque Nacional dos Campos Gerais (PNCG), Ponta Grossa (PR), durante dois anos consecutivos. As subpopulações foram marcadas e acompanhadas desde o estágio vegetativo até o reprodutivo. Para a realização dos devidos testes, alguns exemplares foram coletados para análise morfológica detalhada em microscopia. A floração é sincrônica e anual, sendo a temperatura e precipitação importante na modulação desta fenose. A flor de *P. carambeiensis* é extremamente atrativa, de coloração amarela vibrante e estigma lobado rosa. Quanto ao sistema reprodutivo a maior formação de frutos ocorreu por meio da polinização cruzada e uma pequena porcentagem da autopolinização, com base nos testes reprodutivos e compatibilidade, esta espécie é classificada como auto incompatível. Foram observados três grupos de insetos: as abelhas, consideradas polinizadoras efetivas com base nos atributos florais e seu comportamento sobre a flor, além de besouros polinizadores secundários, estes possivelmente propiciam a autofertilização e as formigas que realizaram visitas ilegítimas, consumindo algumas partes florais. Os resultados reforçam a dependência destas plantas por vetores para sua reprodução, sugerindo medidas que visem a sua proteção, bem como dos polinizadores para garantir a propagação desta espécie que é endêmica e símbolo da região.

**Palavras-Chaves:** Cactaceae, Campos Rupestres, Paraná, Polinização, Reprodução.

## ABSTRACT

The Cactaceae family has 129 genera and 1450 species, with a Neotropical distribution. Brazil is considered the third center of diversity and endemism of the family, and cacti are considered important in the maintenance of local biodiversity, in addition to providing important ecosystem services for humans. The knowledge of reproductive biology studies and phenological events allow us to better compress pollination systems, pollinator behavior, bring a lot of information, especially regarding the flowering time, fruiting, dispersion and availability of resources, although they are extremely important, little is known under these systems for the cactuses of southern Brazil, most of them being known in the Southeast and Northeast regions. The main objective of this work was to know phenological aspects, floral and reproductive biology and the pollinators of *Parodia carambeiensis*. Field studies were conducted in the Campos Gerais National Park (PNCG), Ponta Grossa (PR), for two consecutive years, the subpopulations were marked and monitored from the vegetative to the reproductive stage. To carry out the appropriate tests, some specimens were collected for detailed morphological analysis under microscopy. Flowering is synchronous and annual, with temperature and precipitation being important in modulating this phenosis. The flower of *P. carambeiensis* is extremely attractive with a vibrant yellow color and a pink, lobed stigma. As for the reproductive system, the greatest fruit formation occurred through cross-pollination and a small percentage of self-pollination, based on reproductive tests and compatibility, this species is classified as self-incompatible. Three groups of insects were observed: bees, considered effective pollinators based on floral attributes and their behavior under the flower, in addition to secondary pollinating beetles, which possibly provide self-fertilization, and ants that carried out illegitimate visits, consuming some floral parts. The results reinforce the dependence of these plants on vectors for their reproduction, suggesting measures aimed at their protection, as well as on pollinators to ensure the propagation of this species, which is endemic and a symbol of the region.

**Keywords:** Cactaceae, Campos Rupestres, Paraná, Pollination, Reproduction.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Diversidade de cactáceas no Brasil.....	12
Figura 2	- Caracterização morfológica de Cactaceae. a. Caule ramificado; b. Morfologia globosa; c. Morfologia colunar; d. Aréolas; e. Androceu polistêmone; f. Estigma lobado; g. Ovário pluriovulado; h. Fruto carnoso.....	14
Figura 3	- Localização dos campos do sul do Brasil: (a) visão geral, (b) classificação oficial brasileira de biomas (IBGE, 2004) e (c) distribuição de pastagens na região Sul do Brasil.....	15
Figura 4	- Cactáceas na região dos Campos Gerais. a. <i>Cereus hildmannianus</i> K. Schum b. <i>Hatiora salicornioides</i> (Haw.) Britton & Rose; c. <i>Rhipsalis</i> sp. Gaertn.; d. <i>Lepismium cruciform</i> (Vell.) Miq.....	16
Figura 5	- Fitofisionomia da região dos Campos Gerais, Cachoeira da Mariquinha, Ponta Grossa, PR.....	18
Figura 6	- Mapa do Parque Nacional dos Campos Gerais, PR, Brasil.....	30
Figura 7	- Tratamentos de biologia reprodutiva. a. Isolamento das flores desde pré-antese; b. Antese flores isoladas com saco de <i>voile</i> ; c-d. Polinizações com auxílio de pincel.....	33
Figura 8	- Relação entre temperatura média mensal e pluviosidade, fenologia de floração e frutificação de <i>P. carambeiensis</i> cactos monitorados de setembro a dezembro de 2019/2020, Furna grande, Ponta Grossa, PR, Brasil.....	36
Figura 9	- Correlação da fenologia de floração de <i>P. carambeiensis</i> . a-b. Soma de dias período reprodutivo por mês (antese-fruto) com a temperatura/pluviosidade; c-d. Número de flores abertas por mês (temperatura/pluviosidade), cactos monitorados de setembro a dezembro de 2019/2020, Furna Grande, Ponta Grossa, PR, Brasil.....	37
Figura 10	- Correlação de acordo com a ausência e presença de flores de <i>P. carambeiensis</i> com a temperatura mensal, no período de 2019/2020.....	38
Figura 11	- Modificações que ocorrem na planta na transição estágio vegetativo para o reprodutivo. a. Região central apical acinzentada; b. Alteração da coloração	

	dos espinhos para arroxeados; c. Lanugem região central; d. Botões florais.....	39
Figura 12	– Detalhes das estruturas reprodutivas. a. flor completamente aberta; a. Grão de pólen tricolpado; c. Ovário pluriovulado; d. Frutos maduros; e. Fruto aberto detalhes funículo; f. Presença formigas fruto; g. Fissura longitudinal do fruto; h. Sementes na região apical; i. Detalhes semente obovada com superfície ornamentada verrucosa.....	41
Figura 13	– <i>Parodia carambeiensis</i> -a. Hábito de vida da planta com caule globoso e base cônica; b. Detalhes das costelas bem delimitadas e espinhos deflexos; c. Flor em antese; d. Corte longitudinal da flor, mostrando o e androceu polistêmone, estigma exserto e ovário ínfero; e. Fruto obovóide.....	42
Figura 14	– Variação do número de frutos para os diferentes tratamentos ( <i>Box - plot</i> ).....	44
Figura 15	– Variação do número de sementes para os diferentes tratamentos ( <i>Box - plot</i> ).....	45
Figura 16	– a-l. Visitantes florais encontrados em <i>P. carambeiensis</i> , na Furna Grande, Ponta Grossa, PR- Abelha do gênero <i>Ceratina</i> sp. a. Primeiro contato sob a flor no estigma; b-c. Forrageamento; d. Saída da flor; e-f. Áreas de deposição de grãos de pólen; g. Formigas nas tépalas. Besouros do gênero <i>Astylini</i> . h. Presença de besouros desde a pré-antese; i-j. Inúmeros sob a mesma flor; k-l. Áreas de deposição de grãos de pólen.....	47

## LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 – Testes reprodutivos realizados nos anos de 2019 e 2020 em populações de *Parodia carambeiensis*, localizadas no Município de Ponta Grossa, PR. Valores de médias seguidas por letras distintas<sup>(a-b)</sup> indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) de acordo com *pairwise-Dunn test*. EP= Erro padrão, DP= Desvio padrão.....43
- TABELA 2 – Visitantes florais de *P. carambeiensis*, em uma área dentro do PARNA dos Campos Gerais, Furna Grande, PR, Ponta Grossa (I - Ilegítimo; L - Legítimo; PE- Polinizador efetivo; PS- Polinizador secundário).....46

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	12
1.1	Família Cactaceae Juss.....	12
1.2	Caracterização morfológica da família Cactaceae Juss.....	13
1.3	Diversidade de Cactaceae nas áreas campestres do Sul do Brasil.....	14
1.4	Campos Rupestres e endemismo .....	17
1.5	Biologia Floral e Reprodutiva.....	18
1.6	Importância e conservação das cactáceas.....	22
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	25
2.1	Objetivo geral.....	25
2.2	Objetivos específicos.....	25
3	<b><i>Parodia carambeiensis</i> (Buining &amp; Brederoo) Hofacker (CACTACEAE): FENOLOGIA, BIOLOGIA REPRODUTIVA E VISITANTES</b>	
	<b>FLORAIS</b> .....	26
	RESUMO .....	26
	ABSTRACT.....	27
3.1	Introdução.....	27
3.2	Material e Métodos.....	30
3.3	Área de estudo.....	30
3.4	Fenologia reprodutiva.....	31
3.5	Biologia Floral.....	31
3.6	Sistema Reprodutivo .....	32
3.7	Visitantes Florais.....	34
3.8	Resultados.....	35
3.9	Fenologia reprodutiva.....	35
4	Biologia Floral.....	38
4.1	Sistema reprodutivo .....	43
4.2	Visitantes Florais.....	45
4.3	Discussão.....	48
4.4	Fenologia reprodutiva.....	48
4.5	Sistema reprodutivo .....	49
4.6	Visitantes Florais.....	50

4.7	Considerações finais.....	54
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

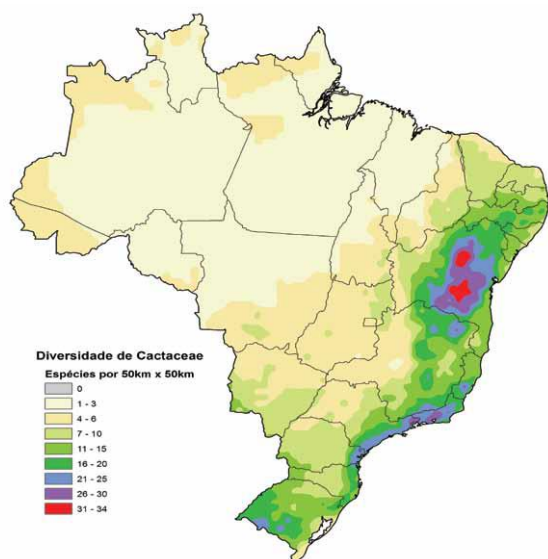
### 1.1 Família Cactaceae Juss.

As cactáceas possuem distribuição predominantemente neotropical, ocorrendo desde o Canadá, América do Norte, Patagônia até América do Sul, com exceção de *Rhipsalis baccifera* (J. M. Muell.) Stearn, encontrada na África e Madagascar (MAUSETH, 2006; STEVENS, 2018).

Cactaceae apresenta 129 gêneros e 1.450 espécies Hunt *et al.* (2006; 2013) com três centros de diversidade e endemismo, o primeiro localiza-se no México e Estados Unidos com a maior taxa de endemismo; o segundo nos Andes, Bolívia e Peru, e o Brasil aparece em terceiro lugar com 78% das espécies consideradas endêmicas (TAYLOR; ZAPPI, 2004; ORTEGA; GODÍNEZ, 2006; ZAPPI; TAYLOR; LAROCCA, 2011).

No território brasileiro, a família é representada por 81 gên., 15 endêmicos e 484 spp., 208 endêmicas, 113 subsp. 78 endêmicas e 2 variedades, podendo ser encontrada nos diferentes biomas brasileiros (Figura 1): Amazônia 15 spp., Caatinga 99 spp., Mata Atlântica 103 spp., Cerrado 85 spp., Pampas 50 spp. e Pantanal 26 spp. A região Sudeste é a mais rica com 138 espécies, seguida da região Nordeste com 115 spp., e as demais regiões com 89 Sul, 53 Centro-Oeste e 26 Norte (ZAPPI *et al.*, 2011; ZAPPI; TAYLOR, 2020).

**Figura 1** - Diversidade de cactáceas no Brasil.



Fonte: ZAPPI *et al.*, 2011.

De acordo com a sistemática atualizada, Cactaceae pertence a ordem Caryophyllales,

dividida em 5 principais subfamílias: **Leuenbergioideae** Marta & Molinar 1 gênero, 8 espécies, México, Caribe e Brasil; **Pereskioideae** Engelmann 1 gênero, 9 espécies, restrita a América do Sul; **Opuntioideae** Burnett 16 gêneros, 349 espécies, Canadá, Patagônia e América do Sul e **Maihuenioideae** P. Fearn 1 gênero, 2 espécies, Argentina e Chile e **Cactoideae** Eaton, representada por 112 gên. e 498 spp., a subfamília mais numerosa, ocorrendo entre os países do Novo mundo, África, Madagascar. (APG IV 2016; STEVENS, 2018).

Cactoideae é formada por plantas arbustivas ou epífitas, caule globoso a colunar e com ausência de folhas, flores sésseis diurnas ou noturnas, com frutos secos ou carnosos e sementes altamente variáveis (STEVENS, 2018).

Trata-se de uma subfamília de destaque, englobando 80% das espécies de Cactaceae. Há uma importante relação evolutiva que justifica esta diversidade, pois o desenvolvimento de um longo tubo floral, presente nesta subfamília e diferentes formas de crescimento, permitem uma maior variedade de polinizadores e consecutivamente conquistar novos ambientes (MAUSETH, 2006; STEVENS, 2018).

## 1.2 Caracterização morfológica da família Cactaceae Juss.

A família Cactaceae é formada por plantas perenes, rupícolas ou terrícolas, e com a disponibilidade de habitats podem ser encontradas na forma epífita (*Epiphyllum* Haw., *Rhipsalis* Gaertn., *Hatiora* Britton & Rose). Apresentam diferentes formas de crescimento, com caule simples à ramificado (Figura 2 A), globoso a colunar (Figura 2 B-C) e alguns subterrâneos; caule esverdeado e na maioria das vezes, suculento, possuindo protuberâncias (costelas) com função fotossintetizante; presença de artículos ou segmentos denominados de cladódios, estes possuem formas globosas, cilíndricas ou aplanadas. As aréolas (Figura 2 D) são botões axilares ou laterais, geralmente bilaterais, encontradas ao redor da planta, recobertas por espinhos, pêlos ou tricomas, podendo variar de circulares a alongadas, conforme a espécie. As folhas na maioria das plantas são reduzidas em espinhos, para evitar a perda excessiva de água, em algumas espécies podem ser distintas, como em *Pereskia aculeata* Mill., e folhas pequenas e efêmeras *Brasiliopuntia brasiliensis* (Willd.) e *Opuntia* Mill. As flores são vistosas, isoladas bissexuadas e raramente unissexuadas, actinomorfas ou ligeiramente zigomorfas ou em inflorescências *Pereskia grandifolia* Haw.; tubo floral curto à conspicuo, tépalas numerosas dispostas espiraladamente; o androceu é polistêmone e anteras rimosas (Figura 2 E); hipanto curto ou alongado; nectários estão presentes dentro do hipanto, gineceu formado por estigma lobado (Figura 2 F) com quatro ou mais lobos, três ou muitos carpelos, unilocular com

placentação parietal, geralmente pluriovulado (Figura 2 G); ovário infero ou semi-infero. Fruto do tipo baga ou cápsula carnosa (Figura 2 H), deiscentes ou indeiscentes com sementes ariladas, embrião usualmente curvado, endosperma ausente, perisperma algumas vezes presentes (ANDERSON, 2001; CARNEIRO *et al.*, 2016; ZAPPI; TAYLOR, 2017; BATISTA *et al.*, 2018; BFG, 2020).

**Figura 2** - Caracterização morfológica de Cactaceae. A. Caule ramificado; B. Morfologia globosa; C. Morfologia colunar; D. Aréolas; E. Androceu polistêmonico; F. Estigma lobado; G. Ovário pluriovulado; H. Fruto carnoso.



Fonte: CARNEIRO *et al.* 2016.

### 1.3 Diversidade de Cactaceae nas áreas campestres do Sul do Brasil

As áreas campestres na região sul são conhecidas como “Campos Sulinos” (Figura 3) abrangem dois biomas brasileiros, o Pampa e a Mata Atlântica, sendo encontrados nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná onde são encontradas áreas com fragmentos de Cerrado (OVERBECK *et al.*, 2009).

A **Mata Atlântica** que ocupa 15% do território brasileiro é considerada um dos principais *hotspots* mundiais, com inúmeras áreas prioritárias para conservação. Trata-se de um bioma muito rico em termos de espécies, pois apresenta uma elevada biodiversidade quando comparada com os demais, sendo essa riqueza influenciada pela presença de diferentes tipos de



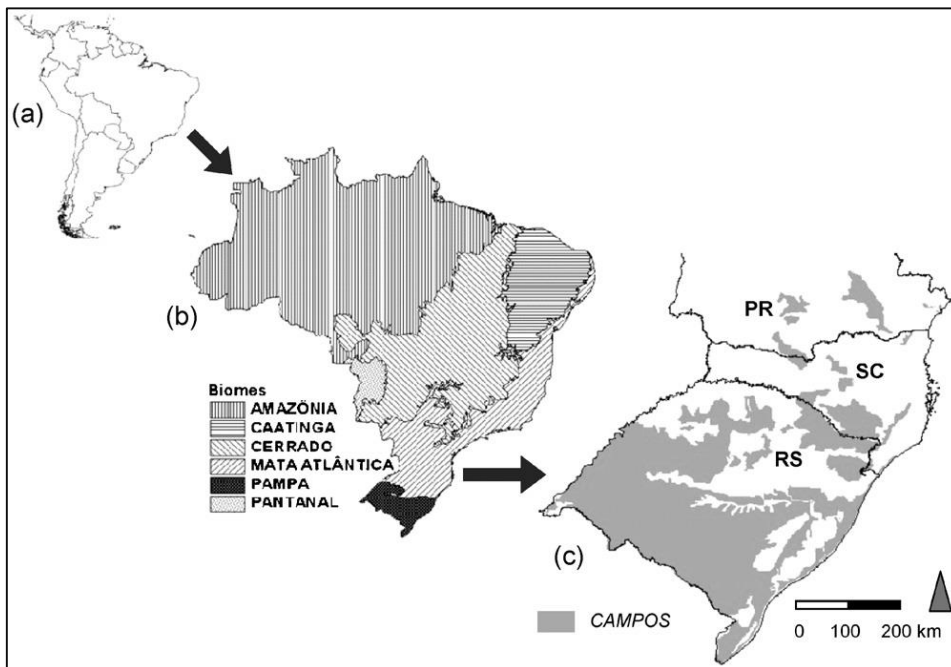
vegetação (OVERBECK *et al.*, 2009; BEHLING *et al.*, 2009; SEMA, 2018; SOS MATA ATLÂNTICA, 2019).

Levantamentos estimam que existem aproximadamente 20.000 espécies de plantas, sendo 15.179 spp. nativas de Angiospermas, das quais 49,5% são endêmicas, além da fauna com 1.711 spp. e 706 endêmicos correspondente aos vertebrados (BFG, 2015; SEMA, 2018).

O bioma **Pampa** presente em 2,07% do território brasileiro, é o único que possui uma distribuição restrita em um estado, ocorrendo em 63% no Rio Grande do Sul, sendo encontrado também em outros países como Uruguai e Argentina (CHOMENKO; BENCKE, 2016; SEMA, 2018).

Esses biomas, em conjunto, abrigam diversas espécies raras, endêmicas e ameaçadas. Na Mata Atlântica ocorre maior concentração de cactos epífitos ou terrícolas, com 103 espécies citadas para este bioma e dois gêneros endêmicos *Hatiora* Britton & Rose e *Schlumbergera* Lem. Já o domínio Pampa possui grande representatividade da flora de cactáceas, principalmente rupícolas, com 50 espécies, 8 endêmicas, sendo *Parodia* Sp. o gênero mais representativo com 30 espécies (ZAPPI *et al.*, 2011; ZAPPI; TAYLOR, 2020).

**Figura 3** - Localização dos campos do sul do Brasil: (a) visão geral, (b) classificação oficial brasileira de biomas (IBGE, 2004) e (c) distribuição de pastagens na região Sul do Brasil.



Fonte: OVERBECK *et al.*, 2007.

Dentre os trabalhos citados para a região Sul, destacam-se três para cada estado. Para o Rio Grande do Sul, Carneiro *et al.* (2016) elaboram um guia completo e importante para

ampliar o banco de dados, com descrições morfológicas, ilustrações e distribuição fitogeográfica, além de informações sobre as condições de vulnerabilidade de 11 gêneros e 65 espécies de Cactaceae.

Em Santa Catarina Scheinvar (1985) realizou o estudo de Cactaceae para a Flora Catarinense com inúmeras informações referentes aos aspectos vegetativos, reprodutivos, ilustrações, morfologia de grãos-de-pólen e formas de dispersão dos diferentes gêneros e espécies, ampliando o conhecimento da diversidade de cactáceas da região.

No Paraná, até o momento existem poucos trabalhos relacionados a esta família, no entanto, Soller *et al.* (2014) realizaram um dos estudos taxonômicos para a família e constataram a ocorrência de 12 gên. e 26 spp. nativas, com uma maior diversidade de espécies epífitas, habitando a Floresta Ombrófila Mista e Floresta Ombrófila Densa, enquanto as espécies terrícolas são citadas para a região Centro Oeste, ocorrendo na Floresta Estacional Semidecidual e Estepe (Figura 4).

**Figura 4** - Cactáceas na região dos Campos Gerais. A. *Cereus hildmannianus* K. Schum; B. *Hatiora salicornioides* (Haw.) Britton & Rose; C. *Rhipsalis* sp. Gaertn.; D. *Lepismium cruciform* (Vell.) Miq.



Fonte: TARDIVO, R. C.

A região de estudo deste trabalho, é denominada “Campos Gerais do Paraná”, distribuída por quase 22 municípios, situada na borda do segundo planalto paranaense,

apresenta o bioma Mata Atlântica predominante, além de fragmentos de Cerrado encontrados em algumas áreas. Trata-se de uma área de destaque, pois está limitada a Leste pela Escarpa Devoniana e a Oeste pela Escarpa da Esperança (MACK, 1948; 2012; MELO; MORO; GUIMARÃES, 2014).

Para esta região são encontradas inúmeras unidades de conservação, a maior ênfase é para o Parque Nacional dos Campos Gerais (PARNA), criado recentemente em 2006, composto de 21.298,91 hectares esparsos pelos municípios Ponta Grossa, Castro e Carambeí, uma unidade que serve de abrigo para diversas espécies, além de sítios geológicos, cachoeiras, fósseis, pinturas rupestres que compõem diversos ecossistemas (MELO; MORO; GUIMARÃES, 2014; GUIMARÃES *et al.*, 2010).

#### 1.4 Campos Rupestres e endemismo

Os campos rupestres possuem uma vegetação altamente especializada, predominantemente compostos por formações herbáceo-arbustivas entremeadas por fragmentos de rochas, onde a vegetação se desenvolve sob solos rasos. Sua distribuição ocorre em fitofisionomias pertencentes ao bioma Cerrado e Caatinga (HARLEY, 1995; BFG, 2015).

No Brasil, de acordo com Silveira *et al.* (2015) e BFG (2015), cerca de 5 mil espécies de plantas ocupam os campos rupestres, com 1.951 endêmicas, representando o segundo lugar de acordo com o tipo de vegetação com maior número de espécies endêmicas das Américas, com a floresta ombrófila em primeiro lugar.

A maior parte dos campos rupestres no Brasil está distribuída na Serra do Espinhaço, localizada entre os estados da Bahia e Minas Gerais, trata-se de uma área extremamente importante sob o ponto de vista da conservação, dada a ocorrência de dois *hostpots* globais de biodiversidade, a Mata Atlântica no Leste e Sul e o Cerrado no Oeste, além da Caatinga na porção Norte (GIULIETTI *et al.*, 1987; HUGHES *et al.*, 2013).

Na região dos Campos Gerais do Paraná os campos rupestres (Fig. 5) apresentam diversas plantas das famílias Amaryllidaceae, Bromeliaceae e Iridaceae, que se desenvolvem em uma fina camada de solo e sob as concavidades das rochas, além de representantes da Ericaceae, Melastomataceae e Euphorbiaceae, rainha-do-abismo (*Sinningia canescens* (Mart.) Wiehler) (Gesneriaceae), orquídeas (*Epidendrum* L.) bromélias (*Tillandsia* L. *Dickya* Schult. & Schult.f.) e cactáceas, *Hatiora*, *Lepismium*, *Parodia carambeiensis* Buining & Brederoo, discutida neste trabalho (MORO; CARMO, 2014).

**Figura 5** - Fitofisionomia da região dos Campos Gerais, Cachoeira da Mariquinha, Ponta Grossa, PR



Fonte: a autora.

### 1.5 Biologia Floral e Reprodutiva

A condução de estudos relacionados a biologia reprodutiva e eventos fenológicos são importantes para compreender os sistemas de polinização, comportamento dos polinizadores inferindo nos sistemas reprodutivos, trazem inúmeras informações principalmente quanto à época de floração, frutificação, dispersão e disponibilidade de recursos podendo fornecer subsídios a autoecologia desta família (OLIVEIRA; MARUYAMA, 2014, OTÁROLA; ROCCA, 2014).

Os sistemas de polinização são baseados em benefícios mútuos, refletindo em um aumento do valor adaptativo, sendo esta interação efetivada por meio de recursos disponíveis pelas plantas em seu ambiente natural. Trata-se de uma forma mais efetiva de otimizar o processo reprodutivo, envolvendo mecanismos variados como adaptações estruturais, fenológicas e fisiológicas (RECH *et al.*, 2014; OLIVEIRA; MARUYAMA, 2014).

Devido à grande disponibilidade de recursos florais presente nas cactáceas, são



registrados uma ampla variedade de polinizadores, desde besouros, abelhas, vespas, formigas, beija-flores, mariposas esfingídeos e morcegos (GRANT *et al.*, 1979; ROCHA *et al.*, 2007; STEVENS, 2018).

A fenologia envolve os eventos sazonais que acontecem ao longo do tempo, ou seja, as plantas possuem ritmos fenológicos próprios que serão acionados de acordo com as condições ambientais, estas variações são necessárias para entender quando e qual intensidade que os eventos de floração e frutificação acontecem, além de inferir sobre a disposição temporal dos recursos vegetais disponíveis para polinizadores e dispersores (MORELLATO; LEITÃO-FILHO, 1992; HAMANN, 2004). Dentre as diversas variações climáticas que podem influenciar nos aspectos fenológicos a temperatura e pluviosidade, são fatores determinantes no sistema reprodutivo das cactáceas (BUSTAMANTE; BÚRGEZ, 2008; SANDOVAL; ACKERMAN, 2011).

Em Cactaceae, existe uma grande variação quanto aos sistemas reprodutivos, no entanto, alguns estudos relatam que a autoincompatibilidade é predominante nesta família, presente em 28 gêneros e em três subfamílias, Pereskioideae, Opuntioideae e Cactoideae, entretanto, este sistema pode variar entre populações de acordo com diferentes condições espaço-temporais (ROSS, 1981; MANDUJANO *et al.*, 2010).

Embora existam alguns estudos que abordem de uma maneira geral estes sistemas, estes conhecimentos são escassos, sendo que, até o momento menos de 10% de todas as espécies existentes no Brasil, tiveram seus aspectos reprodutivos e síndromes da polinização determinados (ZAPPI *et al.*, 2011). No entanto, com intuito não só de conhecer o sistema reprodutivo, mas as interações existentes entre planta polinizador nesta família, destacamos alguns trabalhos que envolvem estes principais conceitos e principalmente englobam de forma conjunta informações de fenologia, uma vez que muitos destes estudos estão sendo trabalhados de formas isoladas (LUCENA, 2007; ZAPPI *et al.*, 2011).

Para a região **Nordeste**, um estudo conduzido na Chapada Diamantina, Bahia com duas espécies *Melocactus glaucences* Buining & Brederoo e *Melocactus paucispinus* Heimen & R. J. Paul. Os autores afirmam que a floração e frutificação para ambas é do tipo contínua, ou seja, ocorrem em todos os meses, porém com picos de floração alternados. Suas flores foram visitadas por beija-flores, borboletas, abelhas e besouros. O sistema reprodutivo variou, sendo *M. glaucences* classificada como auto-incompatível, enquanto que, *M. paucispinus* auto-compatível, essa compatibilidade é influenciada pela disponibilidade de pólen e a receptividade estigmática antes da antese total (COLAÇO *et al.*, 2006).

Similarmente, outro estudo na Chapada Diamantina, relacionados a biologia da

polinização, de três espécies do gênero *Micranthocereus* Backeb., relatou que estas espécies possuem flores coloridas e tubulosas, com antese noturna, fechando pela manhã e reabrindo em até 3 dias, tais características favorecem a polinização por ornitofilia, no entanto também foram avistados outros grupos como: abelhas e borboletas (AONA *et al.*, 2006).

Lucena (2007) registrou estudos que englobam tanto o sistema reprodutivo, aspectos fenológicos e polinização entre cinco espécies endêmicas da caatinga *Pilocereus chrysostele* (Vaupel) Werderm. *P. gounelli* F. A. C. Weber *P. pachycladus* F. Ritter e *P. tuberculatus* Werderm. com exceção a *P. catingicola* (Guerke) Werderm. O autor constatou que as espécies apresentam floração de forma assíncrona, visitadas por diversos animais como: morcegos, mariposas, abelhas e beija-flores e sistema reprodutivo predominante alogâmico auto-incompatível.

De acordo com Pereira *et al.* (2021) em *Pilocereus gounellei* e *Pilosocereus pachycladus*, ambas possuem porte arbóreo e com antese noturna, cujas flores ficam disponíveis aos visitantes por apenas uma noite. Corroborando com os demais estudos citados anteriormente para estas espécies, foram constatadas visitas de abelhas e morcegos, além de vespas, besouros, moscas e formigas.

Costa *et al.* (2020), conduziram estudo fenológico na Paraíba com duas espécies, *Cereus jamacaru* DC. (mandacaru) e *Pilosocereus pachycladus* subsp. (facheiro) e constataram que para o mandacaru a floração ocorre nos meses de maior pluviosidade e sua frutificação nos meses com início de chuvas, já a floração e frutificação do facheiro, foi mais intensa no meses de menor pluviosidade.

Na região **Sudeste** alguns trabalhos são destacados como em *Cipocereus laniflorus* (Werderm). os autores relatam que se trata de uma espécie endêmica da Serra do Caraça, Minas Gerais, com atributos florais que propiciam a polinização por morcegos, entretanto outros visitantes foram registrados tais como: besouros, abelhas e beija-flores. Seu sistema reprodutivo é do tipo alogâmico, sendo a polinização cruzada obrigatória (REGO *et al.*, 2012).

Em *Cipocereus minensis* subsp. *leiocarpus*, a autora destaca que a floração é do tipo assincrônica, observada em quase todos os meses, apresentando um período de floração subanual com curta duração, sendo um a dois meses de maior intensidade e picos de floração no auge da estação seca. Os morcegos foram os visitantes noturnos e os beija-flores e abelhas diurnos, sendo o sistema reprodutivo do tipo alogâmico auto-incompatível (LOPES, 2012).

De acordo com Leandro (2013) e Martins *et al.* (2020) *Cipocereus crassisepalus* (Buining & Brederoo) Zappi & N. P. Taylor, é um cacto ameaçado de extinção, raro e endêmico da Cadeia do Espinhaço. Trata-se de uma espécie dependente de morcegos para sua polinização,

com presença de atributos que favorecem a quiropterofilia, outros visitantes foram observados como abelhas e beija-flores. Esta espécie apresenta sistema reprodutivo do tipo auto-incompatível.

Em *Uebelmannia buiningii* Donald, Teixeira *et al.* (2018), observou que as flores apresentam antese diurna e duram até 3 dias, são amarelas e muito atrativas. Estes atributos atraem abelhas pela coloração e presença de osmóforos nesta espécie, realizando visitas efetivas, além de algumas visitas aleatórias de gafanhotos.

Já em *Uebelmannia pectinifera* subsp. *pectinifera*, os autores ressaltam que é um táxon ameaçado e endêmico de Minas Gerais, suas flores apresentam características que favorecem a melitofilia, como antese diurna e amarelas vibrantes, com sistema reprodutivo do tipo alogâmico auto-incompatível. Tais resultados ressaltam a importância de ampliar estratégias de conservação, uma vez que existe uma interação planta-polinizador bastante específica (SOUZA *et al.*, 2021).

Para a região **Centro-Oeste** são citados alguns trabalhos como: Ferreira *et al.* (2018) sobre biologia reprodutiva, floral e polinização de três espécies *Echinopsis rhodotricha* K. Schum. *Harrisia Balansae* (K. Schum.) N. P. Taylor & Zappi e *Praecereus saxicola* (Morong) N. P. Taylor, estas ocorrem no Mato Grosso do Sul, todas apresentam um padrão de floração estendido e sazonal, com flores e frutos na estação chuvosa. Suas flores foram visitadas por diversos insetos da ordem Hymenoptera, Coleoptera, Orthoptera, Hemiptera e Lepidoptera. O sistema reprodutivo variou entre as espécies em *H. balansae* classificado como auto-incompatível, enquanto *E. rhodotricha* e *P. saxicola* auto-compatível.

De acordo com Ferreira *et al.* (2020) *Cleistocactus baumannii* (Lem.) é uma espécie com flores diurnas, laranja-vermelho brilhantes e tubulosas, sua floração ocorre todos os meses, sendo do tipo contínuo e sazonal, atraindo inúmeros visitantes sendo as abelhas, formigas, borboletas consideradas ladrões de néctar e os beija-flores os polinizadores efetivos.

Para região **Sul** são citados trabalhos relacionados aos sistemas reprodutivos somente para o estado de Santa Catarina. Lenzi (2008) estudou *Opuntia monacantha* (Willd.) Haw. espécie com características florais que favorecem a melitofilia, corroborando com as síndromes, as abelhas foram os visitantes mais abundantes e com uma maior frequência, além dos besouros que propiciam a autogamia nestas plantas. Com base nestes dados o autor concluiu que essa espécie apresenta uma autocompatibilidade moderada.

Um estudo de fenologia reprodutiva realizado por Pereira (2009) sobre *Cereus Hildmannianus* K. Schum., em uma área de restinga arbustiva, relata que nesta espécie a

floração se estendeu por oito meses, sendo a frutificação mais curta. Dentre as variáveis climáticas, somente a temperatura apresentou significância.

### 1.6 Importância e conservação das cactáceas

Os cactos têm grande importância na manutenção da biodiversidade local, além de fornecerem diversos serviços ecossistêmicos para o ser humano. No Brasil, possuem uma relação forte com os povos do Nordeste, desde seu uso na alimentação humana e animal, rituais religiosos, até manifestações culturais, produção artesanal, fabricação de cosméticos e tintas (LUCENA *et al.*, 2012; SILVA, 2015; SOARES *et al.*, 2018). Muitas espécies são ornamentais e comercializadas, tal como: flor-de-maio (*Schlumbergera truncata* Haw Moran) entre outras espécies do gênero *Echinocactus* Link & Otto, *Hylocereus* Britton & Rose, *Cereus* Mill, *Opuntia*, *Melocactus* Link & Otto e *Pereskia* Mill (CARNEIRO *et al.*, 2016; SOUZA; LORENZI, 2019).

O mandacaru (*Cereus jamacaru*) e o *Melocactus* são utilizados popularmente como plantas medicinais, atuando como antioxidantes, antibióticos e utilizados no combate de diabetes, colesterol, gripe, problemas renais, hemorróidas, ressecamentos entre outras funções. O mandacaru também tem importância alimentícia, além da ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* e *Pereskia grandifolia*) entre outras espécies cujos frutos são comercializados por todo o mundo como a pitaita que envolve espécies dos gêneros *Hylocereus* (A. Berger) Britton & Rose e *Selenicereus* (A. Berger) Britton & Rose típicos da América central (NASSAR *et al.*, 2007; ALMEIDA; CORRÊA, 2012; HARLEV *et al.*, 2013; SOARES *et al.*, 2018).

Somado a importância econômica e cultural os cactos apresentam importante papel ecológico, sendo responsáveis por inúmeras interações entre plantas e animais (polinizadores e dispersores), servindo de base ecológica de cadeias alimentares, pois fornecem diversos recursos, além da fonte de néctar e pólen, os frutos são recursos energéticos para diversos animais, como: morcegos, pássaros, mamíferos, lagartos e formigas, estes se beneficiam da sua polpa carnosa e ao mesmo tempo dispersam suas sementes (ROJAS-ARÉCHIGA; VÁZQUEZ-YANES, 2000; ZAPPI *et al.*, 2011; FONSECA *et al.*, 2012; CAVALCANTE; TELES; MACHADO, 2013).

Apesar dos inúmeros benefícios presentes nesta família, existem diversos fatores que colocam em riscos as populações naturais dos cactos. De acordo com Goettsch *et al.* (2015), existe uma alta porcentagem de cactos ameaçados de extinção. As principais causas são: destruição e fragmentação de habitats devido à agricultura, que representa uma das mais



preocupantes, a pecuária e o reflorestamento com o uso de espécies exóticas como *Eucalyptus* spp. e *Pinus* spp. (ZILLER; GALVÃO, 2002). Além das coletas excessivas e ilegais, utilizadas no comércio nacional e internacional, pois estudos relatam que 86% dos cactos ameaçados são provenientes de populações selvagens, o que gera uma grande preocupação com esta família (ZILLER; GALVÃO, 2002; GOETTSCHE *et al.*, 2015).

Atualmente, muitas espécies enquadram-se nas categorias de ameaças, na qual constam 46 Em perigo, 12 Criticamente em perigo, 19 Vulnerável, sendo que, *Parodia* apresenta 5 espécies classificadas como Em Perigo, 1 Vulnerável e 1 Criticamente em Perigo (CNCflora, 2012).

Dentre as espécies pertencentes ao gênero *Parodia*, Garcia *et al.* (*no prelo*), estudando ecologia de populações de *P. carambeiensis*, ressaltam que esta espécie vem sofrendo negativamente com as influências antrópicas, tais como: pecuária, turismo, incêndios florestais e proximidade com rodovias, além da importância climática regional (amplitude de temperatura e pluviosidade), que juntos, contribuíram para explicar 56% da variação da densidade populacional. Nesta mesma abordagem foi proposta uma atualização do *status* de extinção desta espécie, que passa a ser considerar ameaçada de extinção, visto se tratar de uma espécie endêmica associada ao risco de ameaça nos seus ambientes naturais.

Um dos principais fatores que leva à conservação das cactáceas no Brasil é o elevado endemismo na família, abrigando 30% do total dos gêneros existentes nas Américas e sua alta especificidade de habitats (ZAPPI; TAYLOR, 2020).

Visto o elevado número de espécies de cactáceas ameaçadas e alto endemismo na família, foi criado em nível nacional, o Plano Nacional de conservação de cactáceas (PAN cactácea) que estabelece preencher lacunas e a realização de inventários de espécies ameaçadas além da proteção *in situ* e *ex situ* em unidades protegidas, controle do comércio e programas educacionais principalmente em áreas consideradas *hotspots* de cactáceas no Brasil, como no Sul do Rio Grande do Sul no bioma Pampa, Norte de Minas Gerais e Leste da Bahia domínios do Cerrado e Caatinga (ZAPPI *et al.* 2011; GOETTSCHE *et al.* 2015).

Considerando a necessidade de estudos baseados na biologia reprodutiva, fenologia e visitantes florais e principalmente trabalhos que englobam de uma forma conjunta estes principais conceitos, estes são de grande importância podendo posteriormente contribuir em estudos de manejo e conservação, demonstrando a diversidade de síndromes florais bem como, inúmeras riquezas e estratégias desenvolvidas na interação entre planta-polinizador. Desta forma, conhecer o comportamento de polinizadores e dispersores torna-se crucial para elucidar

as estratégias de dispersão das plantas, além de possibilitar previsões sobre sua chance de sucesso reprodutivo no ambiente.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Realizar estudos de fenologia e biologia reprodutiva de *P. carambeiensis* verificando seu mecanismo de compatibilidade, incluindo aspectos taxonômicos a partir de subpopulações na Furna Grande, unidade localizada no Parque Nacional dos Campos Gerais (PNCG), bem como identificar seus polinizadores e registrar seu comportamento, fornecendo subsídios para futuros trabalhos de conservação desta espécie.

### 2.2 Objetivos específicos

Realizar estudos de fenologia de *Parodia carambeiensis*;

Realizar a descrição morfológica da espécie de estudo;

Investigar atributos florais;

Realizar a caracterização do padrão de sistema reprodutivo, através de experimentos de polinização;

Observar e identificar os possíveis polinizadores;

Analisar a interação e o comportamento da relação planta-polinizador.

**3 *Parodia carambeiensis* (Buining & Brederoo) Hofacker (CACTACEAE):  
FENOLOGIA, BIOLOGIA REPRODUTIVA E VISITANTES FLORAIS**

**Lucieli Moreira Garcia<sup>ab</sup>, Rosângela Capuano Tardivo<sup>c</sup>, Felipe Micali Nuvoloni<sup>d\*</sup>**

<sup>a</sup> Programa de Pós Graduação em Biologia Evolutiva - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Av. General Carlos Cavalcanti 4748, Ponta Grossa (PR) 84030-900 Brazil.

<sup>b</sup> Universidade Estadual de Ponta Grossa, Av. General Carlos Cavalcanti 4748, Ponta Grossa (PR) 84030-900 Brazil.

<sup>c</sup> Depto. de Biologia Geral, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Av. General Carlos Cavalcanti 4748, Ponta Grossa (PR) 84030-900 Brazil.

<sup>d</sup> Centro de Formação em Ciências Ambientais, Laboratório de Ecologia Animal e Genômica Ambiental (LEGAM), Universidade Federal do Sul da Bahia, Campus Sosígenes Costa, Porto Seguro (BA) 45810-000 Brazil.

\* Corresponding author at: Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Campus Sosígenes Costa, Rod. Porto Seguro-Eunápolis, BR-367, km 10, Porto Seguro – BA. 45810-000 Brazil.

felipe\_nuvoloni@hotmail.com

## RESUMO

O gênero *Parodia* apresenta centro de diversidade na América do Sul, no Brasil, apresentando distribuição restrita na região Sul, sendo *P. carambeiensis* uma espécie considerada endêmica do estado do Paraná. Os objetivos deste trabalho foram compreender os aspectos fenológicos, determinar o sistema reprodutivo comum e identificar os visitantes florais. Foram conduzidos estudos de campo no Parque Nacional dos Campos Gerais, em Ponta Grossa, sendo algumas plantas utilizadas para estudos de fenologia, biologia floral e sistemas reprodutivos. Os visitantes florais foram observados, capturados e posteriormente identificados. Os resultados demonstram que a floração de *P. carambeiensis* é do tipo anual e sazonal, apresentando uma alta sincronia dos indivíduos durante a fase reprodutiva, sendo estas fenoses influenciadas, pelas variáveis temperatura e precipitação. Os tratamentos provenientes das polinizações cruzadas e naturais formaram maior número de frutos e sementes, estas foram mais efetivas, que a autopolinização. Os testes indicam que a espécie de estudo é alogâmica, auto incompatível. Dentre os visitantes florais, as abelhas *Ceratina* foram consideradas polinizadoras efetivas e os besouros *Astylini* polinizadores secundários, uma vez que seu comportamento pode propiciar a autofertilização, as formigas realizaram visitas ilegítimas, sendo observadas consumindo partes florais. Estes dados são inéditos e mostram a real dependência da planta pelos polinizadores, o que reforça a necessidade de implementação de medidas conservacionistas, bem como corredores ecológicos para aumentar o fluxo gênico entre populações distintas, placas de sinalização indicando o grau de ameaça e benefícios das plantas nestas áreas. Essas ações visam minimizar coletas ilegais, alertas de queimadas, melhor fiscalização dos órgãos ambientais, pois esta espécie corre risco no seu ambiente natural devido às ações antrópicas que estão expostas.

**Palavras chave:** Cactaceae, Fenologia, Floração, Polinização, Reprodução.

## ABSTRACT

The genus *Parodia* has a center of diversity in South America, Brazil, with a restricted distribution in the southern region, with *P. carambeiensis* being a species considered endemic to the state of Paraná. The objectives of this work were to understand the phenological aspects, determine the common reproductive system and identify the floral visitors. Field studies were conducted in the Campos Gerais National Park, in Ponta Grossa, with some plants being used for studies of phenology, floral biology and reproductive systems. Floral visitors were observed, captured and later identified. The results demonstrate that the flowering of *P. carambeiensis* is annual and seasonal, presenting a high synchrony of individuals during the reproductive phase, with these phenoses being influenced by the temperature and precipitation variables. Treatments from cross and natural pollinations formed a greater number of fruits and seeds, which were more effective than self-pollination. Tests indicate that the study species is allogamous, self-incompatible. Among the floral visitors, the *Ceratina* bees were considered effective pollinators and the *Astylini* beetles secondary pollinators, since their behavior can promote self-fertilization, the ants performed illegitimate visits, being observed consuming floral parts. These data are unprecedented and show the real dependence of the plant by pollinators, which reinforces the need to implement conservation measures, as well as ecological corridors to increase gene flow between different populations, signposts indicating the degree of threat and benefits of plants in these areas. These actions aim to minimize illegal collections, fire warnings, better inspection by environmental agencies, as this species is at risk in its natural environment due to the anthropic actions that are exposed.

**Key words:** Cactaceae, Phenology, Flowering, Pollination, Reproduction.

### 3.1 Introdução

Cactaceae constitui a segunda maior família de plantas endêmicas das Américas com 129 gêneros e 1.450 espécies; possui distribuição quase que restrita ao continente, exceto por *Rhipsalis baccifera* (Muell.) Stearn que apresenta ocorrência na África (HUNT *et al.*, 2006; ZAPPI *et al.*, 2011).

O Brasil é considerado o terceiro centro de diversidade da família, possuindo 81 gêneros, sendo 15 considerados endêmicos; 484 espécies, sendo 208 endêmicas; 113 subsp., 78 endêmicas e 2 variedades, distribuídos em todos os domínios fitogeográficos, principalmente Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pampa, sendo as regiões mais ricas Sudeste e Nordeste (ZAPPI *et al.*, 2011; ZAPPI; TAYLOR, 2020).

A distribuição por ecossistemas tão distintos possibilitou grande diversificação morfológica e de formas reprodutivas, sendo os cactos extremamente importantes do ponto de vista ecológico, pois fornecem recursos que podem servir como base ecológica em cadeias alimentares, como: frutos suculentos, néctar e pólen que podem constituir as únicas fontes de recurso em ecossistemas áridos (GRANT *et al.*, 1979; ANDERSON, 2001; ZAPPI *et al.*, 2011; CAVALCANTE *et al.*, 2013).

Essa grande diversidade de recursos ofertados pelas plantas desta família permitiu a coevolução com uma ampla variedade de polinizadores, sendo que cerca de 200 espécies e 51 gêneros são polinizadas por morcegos (STEVENS, 2001). Muitas cactáceas do semiárido brasileiro apresentam flores noturnas e brancas que favorecem a quiropterofilia. Também são observados outros polinizadores como beija-flores (ornitofilia) em flores diurnas geralmente

vermelhas ou rosas, sendo as flores amarelas geralmente polinizadas por abelhas (melitofilia), além daquelas com flores delicadas e com guias de néctar que são atrativas para borboletas (psicofilia) (FERREIRA *et al.*, 2020; SOUZA *et al.*, 2021; MARTINS *et al.*, 2020).

O período reprodutivo corresponde à fase em que a planta é mais dependente dos fatores bióticos (polinizadores e dispersores) e abióticos (temperatura e pluviosidade) pois são relatados como de maior importância para a fenologia das cactáceas (BUSTAMANTE; BÚRQUEZ, 2008; SANDOVAL; ACKERMAN, 2011). A melhor compreensão da fenologia reprodutiva nos possibilita conhecer o padrão de reprodução e formação de novos indivíduos, sincronia de floração e comportamento dos polinizadores, além da influência fenológica exercer um enorme impacto na disponibilidade de recursos disponíveis para fauna local (LOPES, 2012; GOMES; ARAÚJO, 2015).

No entanto, tais informações são escassas para a maioria das Cactaceae, principalmente com relação à biologia reprodutiva, sendo conhecidos apenas dados referentes cerca de 10% das espécies ocorrentes (ZAPPI *et al.*, 2011). Vários estudos indicam que a principal forma de reprodução nesta família é decorrente da polinização cruzada, com muitas espécies apresentando autoincompatibilidade (AI), o que as torna extremamente dependente de polinizadores, forma esta, que contribui para aumentar a diversidade genética entre populações através do fluxo gênico (ROSS, 1981; LEANDRO, 2013). O sistema reprodutivo pode apresentar variações dentro de um gradiente de autoincompatibilidade total ou compatibilidade parcial ao longo da distribuição da espécie, podendo ser uma característica populacional, influenciado por fatores locais em que estão expostos (LEVIN, 1996; MANDUJANO *et al.*, 2010).

O gênero *Parodia* Speg., possui centro de diversidade entre Argentina, Paraguai, Uruguai e Bolívia. No Brasil apresenta distribuição restrita à região Sul com 48 espécies, sendo 18 endêmicas, encontradas nos estados Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (ZAPPI; TAYLOR, 2020).

O Rio Grande do Sul apresenta a maior diversidade deste gênero, com 30 espécies, riqueza associada principalmente aos Pampas e outras áreas propícias para desenvolvimento de cactáceas como ambientes rochosos. Em Santa Catarina ocorrem cinco espécies, *Parodia alacriportana* Backeb. & Voll, *P. erinacea* (Haw.) N. P. Taylor, *P. haselbergii* (Haage ex Rümpler) Brandt, *P. haselbergii* subsp. *Graessneri* (K. Schum.) Hofacker & P. J. Braun, *P. leninghausii* (K. Schum.) F. H. Brandt. *P. ottonis* (Lehm.) N. P. Taylor e para o Paraná são citadas apenas 3, *P. carambeiensis* Buining & Brederoo, *P. erinacea* (Haw.) N. P. Taylor e *P.*

*ottonis* (Lehm.) N. P. Taylor (ZAPPI *et al.*, 2011; ZAPPI; TAYLOR, 2020; PITTELLA *et al.*, 2020).

*Parodia carambeiensis*, popularmente conhecida como cacto-bola, é considerada a única espécie de Cactaceae endêmica do estado do Paraná, com distribuição exclusiva nos Campos Gerais (SOLLER *et al.*, 2014). Suas populações são encontradas em áreas de afloramento rochoso, normalmente associadas com outras espécies de plantas típicas da região, como as pertencentes aos gêneros *Calea* L. (Asteraceae), *Andropogon* L. (Poaceae), *Dyckia* Schult. & Schult.f. (Bromeliaceae) e musgos.

Trata-se de uma espécie que vem sofrendo influências antrópicas, tais como o avanço da pecuária na região, turismo, incêndios florestais e proximidade de seus habitats com rodovias. Estas ações impactam negativamente a densidade desta espécie, isolando populações e reduzindo da sua variabilidade genética (GARCIA *et al.*, *no prelo*).

A maioria dos estudos desenvolvidos sobre a biologia reprodutiva de Cactaceae concentram-se em espécies que ocorrem nas regiões Sudeste e Nordeste. Até o momento para região Sul são conhecidos apenas estudos para o estado de Santa Catarina, no entanto para o Rio Grande do Sul e Paraná são escassos. Dentre os sistemas reprodutivos conhecidos, ainda pouco se sabe a respeito de *Parodia*. Sabe-se que a alogamia está presente em *Cipocereus* Ritter. (REGO *et al.*, 2012; MARTINS *et al.*, 2020); *Cleistocactus baumannii* (Lem.) Lem. Ferreira *et al.* (2020); *Discocactus pseudoinsignis* N. P. Taylor & Zappi e *Discocactus placentifformis* (Lehm.) Silveira (2015); *Harrisia Balansae* (K. Schum.) N. P. Taylor & Zappi Ferreira *et al.* (2018) em diversas espécies de *Pilocereus* Lem. Lucena (2007); *Praecereus saxicola* (Morong) N. P. Taylor Ferreira *et al.* (2018) e em *Uebelmannia pectinifera* subsp. *Pectinifera* Buining (SOUZA *et al.*, 2021). Sendo a compatibilidade registradas em *Echinopsis rhodotricha* K. Schum. e *Praecereus saxicola* (Morong) N. P. Taylor. e a compatibilidade moderada ocorrendo em *Opuntia monacantha* (Willd.) Haw. Lenzi (2008). Já em *Melocactus* este sistema variou, em *M. glaucences* Buining & Brederoo classificada como auto incompatível, enquanto que, *M. paucispinus* Heimen & R. J. Paul, auto compatível. (COLAÇO *et al.*, 2006).

Considerando a falta de trabalhos científicos e a grande lacuna sobre aspectos da biologia reprodutiva de cactáceas no Brasil, associados à vulnerabilidade da espécie e da região em que ocorre, este estudo documentou a biologia reprodutiva de *P. carambeiensis*. Buscou-se descrever o mecanismo e as estratégias reprodutivas, bem como, seus principais polinizadores a fim de contribuir para planos de conservação e manejo da espécie, ampliando o conhecimento sobre a família nos Campos Gerais do Paraná.

### 3.2 Material e Métodos

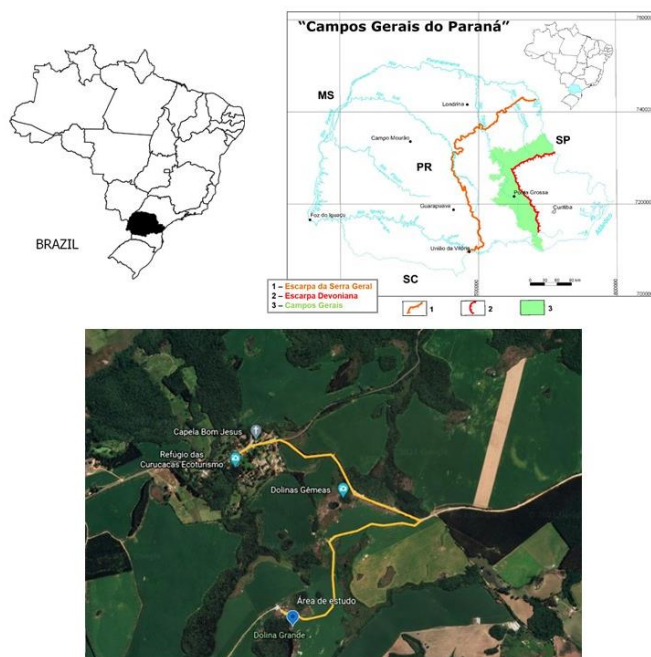
### 3.3 Área de Estudo

O Parque Nacional dos Campos Gerais -PARNA dos Campos Gerais (Figura 6), foi criado em 2006, abrange os municípios de Tibagi, Castro, Piraí do Sul e Ponta Grossa, localizando-se no estado do Paraná (GUIMARÃES *et al.*, 2010; ICMBio, 2020).

Com área de aproximadamente de 21.298,91 hectares, esta unidade de conservação é composta predominantemente por campos com capões de floresta de *Araucaria angustifolia* (Hook. & Arn.) Steud. associadas à fragmentos de afloramentos rochosos, apresentando em seus arredores muitas espécies ameaçadas e raras tanto da flora quanto da fauna, principalmente em destaque *P. carambeiensis* que configura como endêmica da região (MORO *et al.*, 2014; ICMBio, 2020).

O estudo de campo foi conduzido em uma unidade denominada Furna Grande, localizada no Passo do Pupo, distrito de Itaiacoca, município de Ponta Grossa, PR (25°09'22''S 49°57'57''W). O acesso a essa área ocorre de forma controlada para turistas, sendo mais acessível para pesquisas através de uma unidade denominada “Refúgio das Curucacas”. A autorização, bem como o desenvolvimento do trabalho de campo no PARNA dos Campos Gerais foram concedidos pelo Sistema de autorização e informação em biodiversidade (SISBIO) n°. 72647.

**Figura 6** – Mapa do Parque Nacional dos Campos Gerais, PR, Brasil.



Fonte: Melo *et al.* 2007 & Google Earth.



### 3.4 Fenologia reprodutiva

A fenologia foi avaliada em 10 indivíduos, marcados em campo, sendo realizados monitoramento mensais ao longo dos anos 2019-2020 e com maior frequência entre os meses de setembro e outubro, período de floração da espécie. Foram registradas as seguintes fenoses: flores abertas e presença de frutos maduros.

O padrão fenológico foi analisado com base nas classificações de Newstrom *et al.* (1994), sendo a frequência de ocorrência com base no ciclo de floração, **continua** floração com breves e esporádicas paradas; **subanual** floração em mais de um ciclo; **anual** apenas um ciclo por ano; **supra anual** um ciclo em mais de um ano e duração. Dentro da categoria anual, uma subclassificação comum nas plantas tropicais: **anual breve**: chamado “big bang” por Gentry (1974), com duração de quatro semanas, no máximo; **anual intermediário**: chamado cornucópia por Gentry (1974) e sazonal por Frankie *et al.* (1974), com duração de dois a três meses; e **anual estendido**: com duração acima de três meses. Para calcular a sincronia entre indivíduos foram considerados os conceitos de Bencke & Morellato (2002), sendo assincronia (até 20% dos indivíduos floridos); sincronia baixa 21% a 60% e sincronia alta acima de 60% dos indivíduos floridos.

Posteriormente, os dados foram correlacionados de acordo com variáveis meteorológicas, fornecidos pelo Instituto Meteorológico do Paraná (SIMEPAR), correspondente às médias de temperatura e pluviosidade mensais pelo período de desenvolvimento do estudo.

### 3.5 Biologia Floral

Para os estudos de biologia floral foram coletadas 10 plantas ainda em estado vegetativo, no ano de 2019, cada uma correspondente a subpopulações diferentes, distantes pelo menos um metro entre si. Estes exemplares foram replantados e mantidos em casa de vegetação do Departamento de Biologia (DEBIO/UEPG), para o acompanhamento das diferentes fases que ocorrem desde estado vegetativo até frutificação.

Esses indivíduos foram observados diariamente, sendo que, durante o estágio vegetativo, a avaliação se deu uma vez ao dia e no período reprodutivo de duas a três vezes. Foram registrados: indícios e alterações para estágio reprodutivo, número de dias para iniciar o desenvolvimento dos botões florais, número de flores por indivíduo; cor, tamanho e disposição

das peças florais; emissão de odor e horário; sequência e duração da antese; número de frutos e sementes.

### 3.6 Sistema reprodutivo

Os experimentos de biologia reprodutiva, foram conduzidos em campo por dois anos consecutivos (2019-2020), durante os meses de setembro e outubro, período de floração na espécie.

As avaliações do sistema reprodutivo foram baseadas em estudos de Ferreira *et al.* (2018) sendo utilizadas 100 plantas, com 25 repetições para cada tratamento, definidos de quatro formas diferentes: **(1) Controle:** flores disponíveis aos visitantes florais sob condições naturais; **(2) Polinização cruzada:** flores emasculadas e polinizadas com pólen de plantas distintas, sendo as doadoras de pólen marcadas e ensacadas previamente; **(3) Autopolinização espontânea:** flores que permaneceram isoladas, sem nenhuma manipulação até total senescência; **(4) Autopolinização manual:** flores mantidas ensacadas e polinizadas manualmente com pincel e pólen da própria flor.

As polinizações foram realizadas em campo entre as 9:00h e 10:00h e entre as 12:00 e 14:00h, sendo estas, marcadas com fio de lã colorido e ensacadas com sacos de *voile* desde a fase de pré-antese (Figura 7 a) para melhor controle dos testes e exclusão de visitantes florais e, após a abertura total (Figura 7 b), estas foram polinizadas com auxílio pincel (Figura 7 c-d).

**Figura 7** - Tratamentos de biologia reprodutiva. A. Isolamento das flores desde pré-antese; B. Antese flores isoladas com saco de *voile*; C-D. Polinizações com auxílio de pincel.



Fonte: A autora.

Os números de frutos e sementes foram comparados entre os tratamentos através do teste de Kruskal-Wallis, alternativa não paramétrica, visto que os dados não atenderam aos pressupostos de normalidade e homocedasticidade das variâncias requeridos pela análise de variância (ANOVA). Foi realizado o Teste de Dunn, para a diferenciação das médias *a posteriori* com a correção de Holm (DINNO, 2015). Os valores observados de frutos e sementes foram previamente transformados usando a transformação  $\log_{10} + 1$ . Para avaliar o efeito do clima (temperatura e precipitação acumulada) sobre o evento de floração realizou-se uma análise de regressão linear considerando-se as variáveis climáticas como preditoras, sendo a soma de dias reprodutivos (antese a frutos) e o número de flores abertas por mês as variáveis resposta. Também foi realizada uma análise de regressão logística considerando-se o efeito da temperatura média mensal sobre a presença/ausência de flores em cada mês. Para as análises

foram utilizados os pacotes *ggstatsplot*, *ggplot2*, e realizadas no *software R* (R Core Team, 2020).

A frutificação foi monitorada e os frutos coletados quando maduros. Para determinar a efetividade dos testes foi realizado o “índice de autoincompatibilidade” (SII) Ramirez e Brito (1990), estimada pela divisão do número de sementes de flores autopolinizadas pelo número de sementes resultantes da polinização cruzada. De acordo com os testes de SII as espécies podem ser categorizadas como “auto-compatíveis” (valores de 0,30 e 1,00) ou “incompatíveis” (valores inferiores a 0,30).

### 3.7 Visitantes Florais

Os visitantes florais foram observados e coletados através de visitas mensais em setembro e outubro, período de floração da espécie, sendo observados entre as 9:00 e 17:00 h e em 28 dias não consecutivos, em dois anos consecutivos. Para a observação *in loco* dos visitantes nas flores em antese, realizou-se a permanência de 30 min em cada subpopulação.

Foram realizadas coletas de alguns visitantes florais, sendo que os besouros foram coletados com auxílio de pinças e as abelhas com frascos sob a superfície externa da flor, contendo acetato de etila. Posteriormente foram encaminhados para identificação e depositados na coleção de Entomologia Pe. Jesus Santiago Moure (DZUP), Departamento de Zoologia (UFPR), e alguns exemplares serão depositados na Coleção de Artrópodes dos Campos Gerais do Paraná (UEPG).

Durante as sessões de observação foram analisados aspectos referentes ao tempo de permanência e comportamento durante a visita, bem como danos causados na flor. Estas características foram necessárias para categorizar os visitantes com base nos conceitos propostos por Freitas (2018), sendo considerados **legítimos** os que adentravam a câmara floral e entravam em contato com as estruturas reprodutivas, sem causar danos as flores e **ilegítimos** buscam flores somente para obtenção de recursos, pilhavam o pólen sem entrar em contato com as estruturas reprodutivas femininas.

Foram feitas fotos dos visitantes florais em microscópio estereoscópio LEICA no M-48, e a identificação dos exemplares coletados foram baseados para Coleoptera Casari & Ide (2012) e Hymenoptera Melo *et al.* (2012).

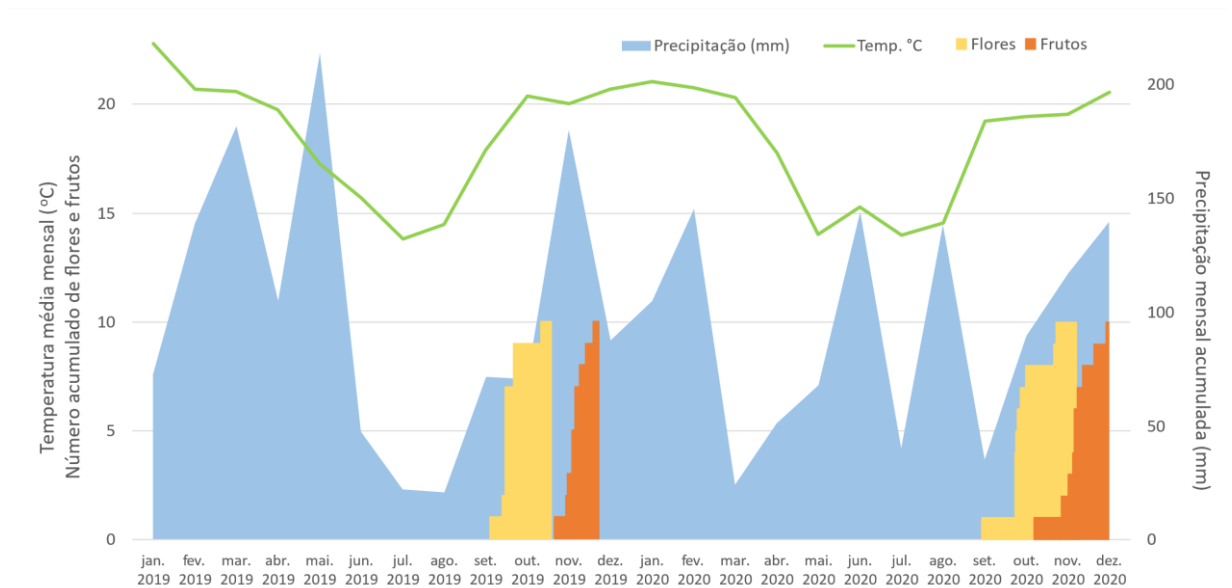
### 3.8 Resultados

#### 3.9 Fenologia reprodutiva

A floração em *P. carambeiensis* ocorre entre setembro e outubro e em poucos indivíduos, estendendo-se até novembro. Os frutos se formam a partir de novembro e, com menores taxas, em dezembro, com a maturação completa em torno de 40 dias, até estarem disponíveis para dispersão. De acordo com estes dados, a frequência da floração foi classificada como anual (Newstrom *et al.* 1994), ou seja, com apenas um ciclo principal por ano. Dentro desta categoria, com base na duração, esta espécie apresenta uma floração sazonal variando de dois a três meses (Figura 8).

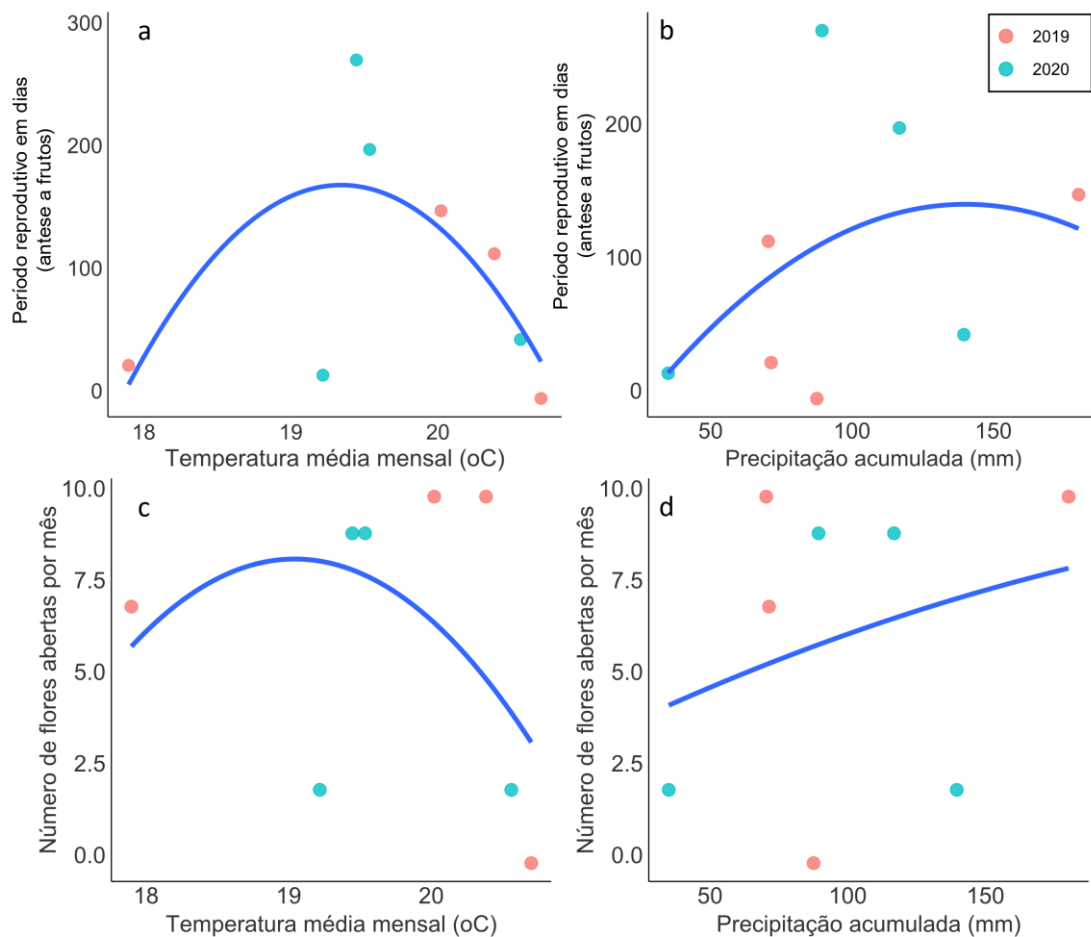
Durante este período o percentual de indivíduos em floração variou de 30 a 70% para ambos os anos, com picos de atividades entre setembro e outubro. A frutificação variou entre os anos, em 2019 ocorreu formação de 100% dos frutos, já no ano de 2020 variou de 30 à 70%, apresentando maior pico em novembro. Estes eventos caracterizaram uma sincronia alta durante as fases reprodutivas, ou seja, ocorrendo em >60% de indivíduos em fenofase concomitante. Nota-se que o período de floração diferiu pouco entre os anos, sendo que em 2019 apresentou o maior número de flores abertas no final de setembro (7) e início outubro (3), ano com meses prévios mais secos, sucessivamente em 2020 essa floração foi mais tardia ocorrendo predominantemente em outubro (7) e apenas alguns exemplares em novembro. Este ano apresentou registros de dois picos de pluviosidade que antecederam a fase reprodutiva, já a frutificação sucessivamente ocorreu nos meses com registros de alta pluviosidade (Figura 8).

**Figura 8** - Relação entre temperatura média mensal e pluviosidade, fenologia de floração e frutificação de *P. carambeiensis* cactos monitorados de setembro a dezembro de 2019/2020, Furna grande, Ponta Grossa, PR, Brasil.



Considerando a influência dos fatores abióticos sobre a fenologia, observamos que a temperatura média mensal e a precipitação acumulada tiveram influência na floração de *P. carambeiensis*. O período reprodutivo, representada desde a antese até a formação de frutos, foi influenciada pelas variáveis temperatura ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,43$ , Fig. 4a) e pluviosidade ( $p < 0,001$ ;  $R^2 = 0,15$ , Figura 9 b). Já o número de flores abertas por mês foi influenciado somente pela temperatura ( $p = 0,034$ ;  $R^2 = 0,13$ , Figura 9 c), sendo que a pluviosidade não teve efeito sobre essa variável ( $p = 0,689$ ;  $R^2 = 0,06$ , Figura 9 d). Com base nestes resultados pode-se perceber que o número de flores abertas esteve positivamente correlacionado com a temperatura, sendo o intervalo de 19°C a 20°C a mais propícia para a floração. Em contrapartida, valores superiores ou inferiores de temperatura reduzem a expressão desta fenose, sendo que para pluviosidade, embora o efeito observado tenha sido menos intenso em comparação à temperatura, notamos que a presença de flores ocorreu em torno de meses com registro de cerca de 100 mm de chuva (Figura 9).

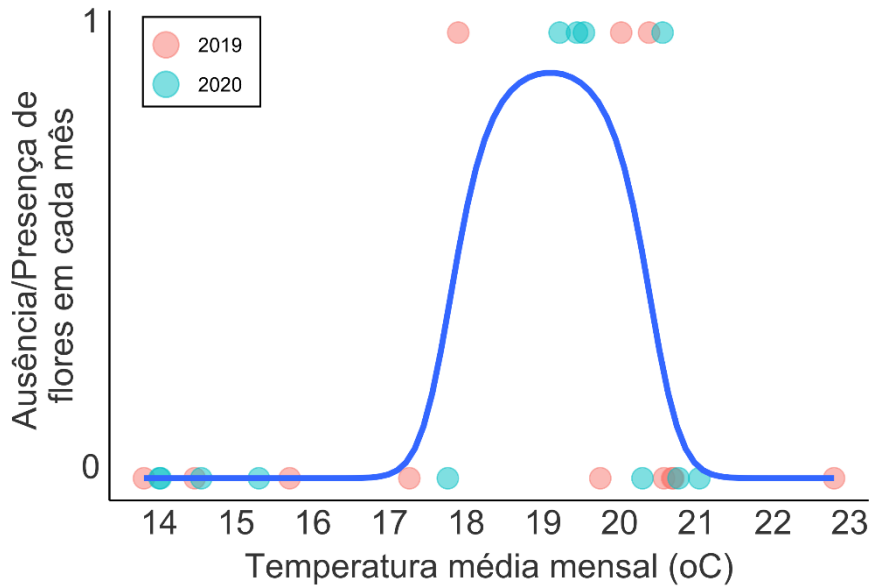
**Figura 9** - Correlação da fenologia de floração de *P. carambeiensis*. a-b. Período reprodutivo por mês (antese-fruto) com a temperatura média mensal e pluviosidade acumulada; c-d. Número de flores abertas por mês (temperatura/pluviosidade), cactos monitorados de setembro a dezembro de 2019/2020, Furna grande, Ponta Grossa, PR, Brasil.



Similarmente, ao avaliar a ocorrência de flores ao longo dos 24 meses de estudo pode-se constatar que a floração praticamente não ocorreu nos meses com temperatura média abaixo de 17°C e acima de 21°C (Figura 10). Dessa forma, fica evidente que a ocorrência da floração ficou restrita aos meses com temperatura média de 18 °C a 21°C sendo concentrada ainda entre 19 °C e 20 °C, reforçando o fato de que a floração está significativamente ligada a fatores climáticos, principalmente a temperatura média mensal ( $p=0.0442$ ;  $R^2=0,50$ ) (Figura 10).



**Figura 10** - Correlação de acordo com a ausência e presença de flores de *P. carambeiensis* com a temperatura média mensal, no período de 2019/2020.



#### 4. Biologia Floral

*Parodia carambeiensis* é uma planta de pequeno porte, com até 10 cm de comprimento e 12 cm de diâmetro, encontrada em campo, formando subpopulações de tamanho variável, mas raramente solitárias.

Apresenta caule globoso com base cônica de coloração esverdeada e suculento, segmentado em média de 10-17 costelas, agudas, bem delimitadas e levemente profundas, sendo encontradas 4 aréolas por costela, tuberculadas e distantes entre si por cerca de 1 cm, dispersas no corpo da planta.

Os espinhos localizados na região central, podem variar de retos e pontiagudos, com base lanosa branca. Já os espinhos radiais são estendidos, retos e levemente deflexos, ambos com coloração variando de castanho à acinzentados, cobrindo densamente o caule.

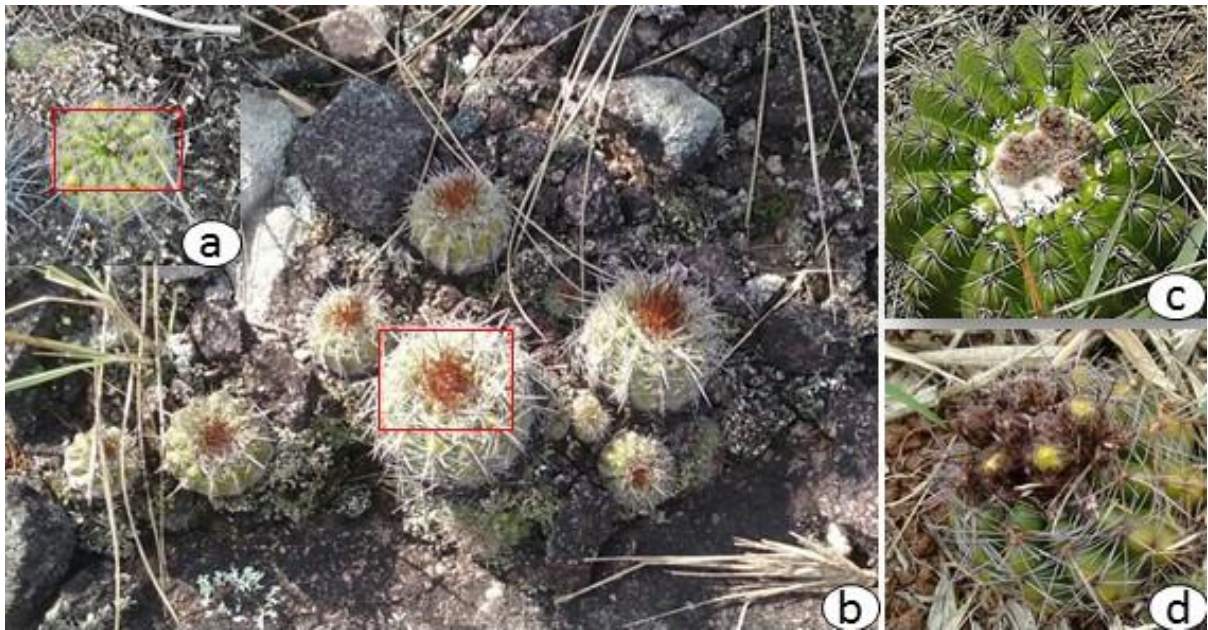
Durante a transição do estágio vegetativo para o reprodutivo ocorrem algumas modificações na região central da planta, iniciado pela alteração na coloração das aréolas floríferas que passam de acinzentados (Figura 11 a), para tons mais arroxeados (Figura 11 b), seguido pela presença de tricomas lanuginosos (lanugem) que ocorrem aproximadamente entre 2 a 4 semanas antes do período reprodutivo (Figura 11 c).

Os botões florais formam-se após o aparecimento da lanugem e se desenvolvem no ápice da planta (Figura 11 d) com aspecto piloso de coloração amarronzada, encontrados



variando de 3 a 8, sequencialmente, após cerca de 10 dias da emissão do botão, desenvolve-se as flores, partindo das aréolas centrais.

**Figura 11** - Modificações que ocorrem na planta na transição estágio vegetativo para o reprodutivo, -a. Região central apical acinzentada; b. Alteração da coloração dos espinhos para arroxeadado; c. Lanugem região central; d. Botões florais.



Fonte: A autora.

As flores apresentam antese diurna, florescendo cerca de 1 a 3 dias consecutivos, iniciando a antese às 09h00 com fechamento completo às 18h00, conforme incidência solar. Na pré-antese nota-se que os estames ficam encurvados abaixo do estigma, nesta fase os lobos estigmáticos permanecem unidos, à medida que a flor se abre, os estames se elevam à porção mediana do perigônio e o estigma se eleva acima das anteras, ocorrendo a abertura dos lobos estigmáticos.

Apresenta uma flor por aréola, relativamente grande, 4 cm de comprimento e 5 cm diâmetro, vistosa, bissexuada, funiliforme, actinomorfa, monoclamídea, com ca. 26 tépalas em média, dialitépalas, estreito-elípticas, segmentos internos e externos do perianto amarelo-vibrantes (Figura 12 a).

O androceu é polistêmone, dialistêmone e heterodínamos; filetes na cor creme, atingindo a metade do tubo floral e emergindo em diferentes alturas, sendo os anteriores, mais baixos com cerca de 1 cm de comprimento e com 2 cm aqueles mais próximos às tépalas; anteras bitecas, basifixas, rimosas; grãos-de-pólen esféricos, tricolpados, com exina ornamentada (Figura 12 b). Gineceu com ovário ínfero, pluricarpelar e plurióvulado (Figura 12 c); estigma lobado, 6-12 lobos, fortemente rosáceo e com estilete na cor creme.

Os frutos ca. 1 cm comprimento, carnosos quando imaturos, tornando-se secos quando maduros, globosos, parede fina, recobertos por lã branca e cerdas amarronzadas derivadas do pericarpelo, polispérmicos e com restos florais persistentes.

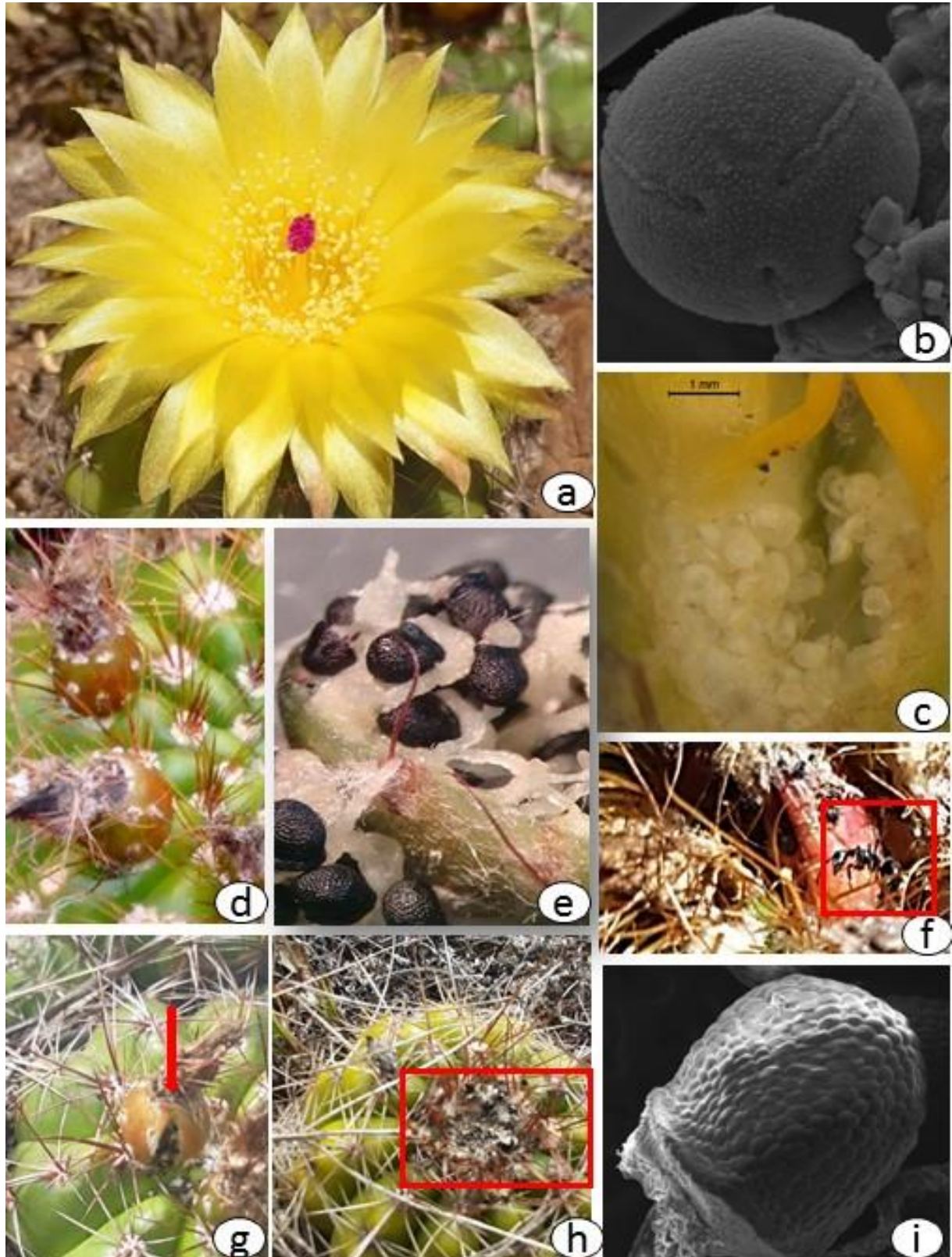
O amadurecimento do ovário inicia em torno de 10 dias e, após 28 a 30 dias, observa-se a presença de frutos, estes ainda imaturos, possuem coloração esverdeada, após cerca dos 40 dias tornam-se vináceos (Figura 12 d). Durante esta fase, os frutos possuem aspecto carnosos e presença de funículos (Figura 12 e) atraindo muitas formigas (Figura 12 f).

Em estágio mais avançado de maturação, quando o fruto atinge em torno de 45-50 dias, torna-se seco e abre-se lateralmente, apresentando uma fissura longitudinal (Figura 12 g). Logo em seguida, todo o pericarpo se rompe, ficando suas sementes aderidas ao ápice da planta mãe (Figura 12 h).

As sementes são pequenas obovadas e curtamente cilíndricas, base alargada, pretas, testa totalmente ornamentada de aspecto verrucoso e estriada (Figura 12 i).

Os detalhes do hábito e da morfologia floral e do fruto estão melhor representadas em uma prancha ilustrada de *P. carambeiensis* (Figura 13 a-e).

**Figura 12** – Detalhes das estruturas reprodutivas de *P. carambeiensis*, -a. flor completamente aberta; b. Grão de pólen tricolpado ao MEV; c. Ovário plurióvulado; d. Frutos maduros; e. Fruto aberto detalhes funículo; f. Presença formigas fruto; g. Fissura longitudinal do fruto; h. Sementes na região apical; i. Detalhes semente obovada com superfície ornamentada verrucosa ao MEV.



Fonte: A autora.



**Figura 13** – *Parodia carambeiensis* -a. Hábito de vida da planta com caule globoso e base cônica; b. Detalhes das costelas bem delimitadas e espinhos deflexos; c. Flor em antese; d. Corte longitudinal da flor, mostrando o androceu polistêmone, estigma excerto e ovário ínfero; e. Fruto obovóide.

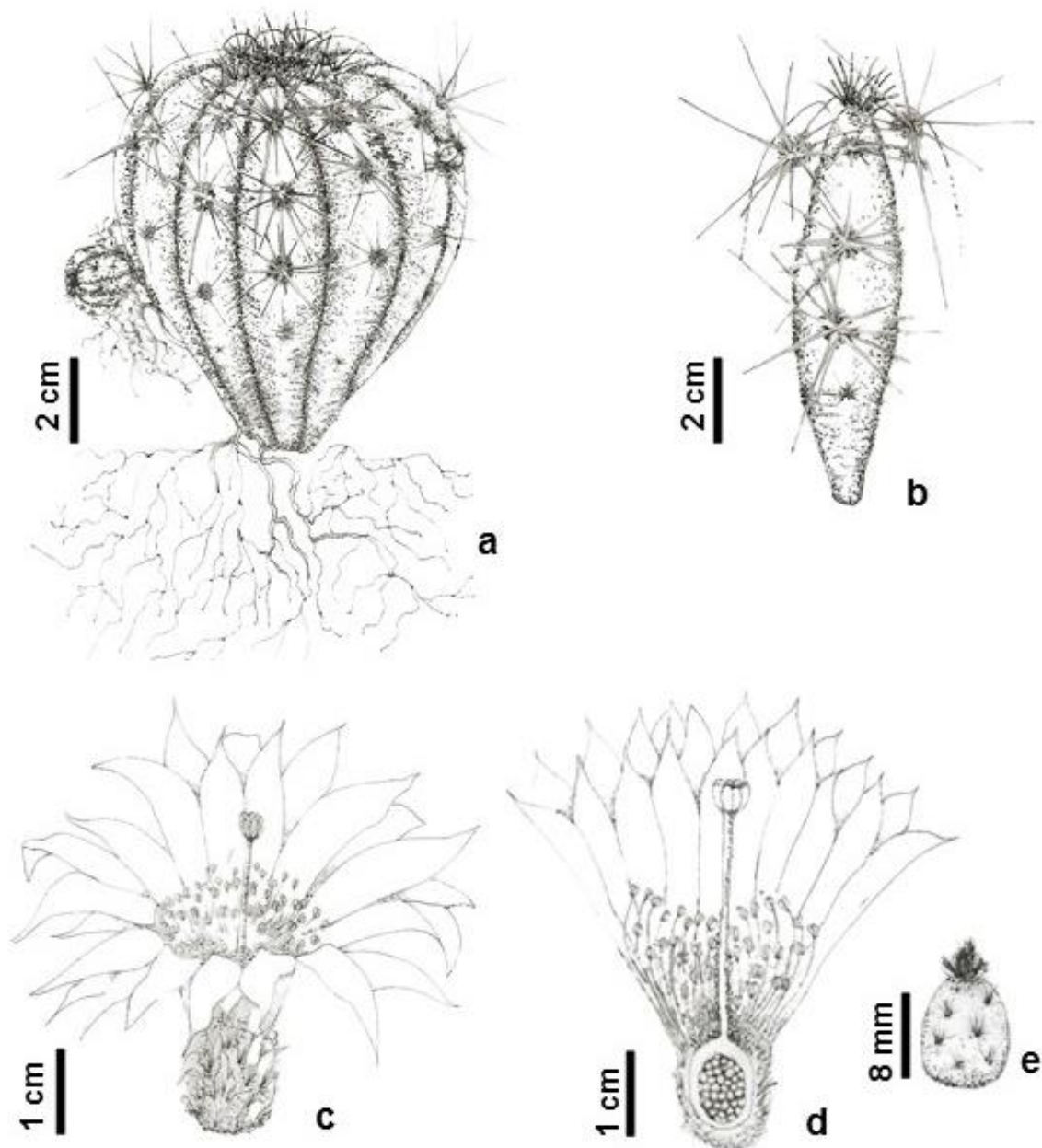


Ilustração: COSTA, M. E

#### 4.1 Sistema reprodutivo

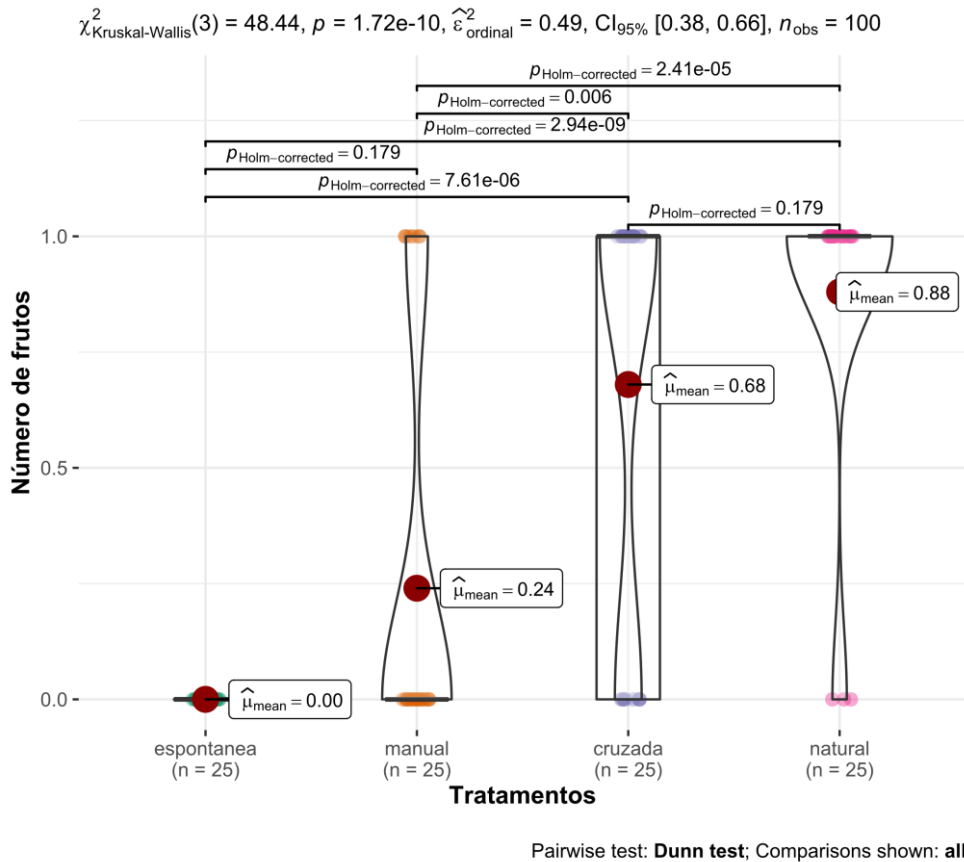
Observou-se que dentre as variáveis avaliadas, os tratamentos resultantes da polinização cruzada e natural não apresentaram diferença entre si em relação ao número de frutos e sementes gerados, no entanto, estes foram significativamente diferentes e superiores quando comparados com os tratamentos de autopolinização espontânea e manual (Tabela 1).

TABELA 1 – Testes reprodutivos realizados nos anos de 2019 e 2020 em populações de *Parodia carambeiensis*, localizadas no Município de Ponta Grossa, PR. Valores de médias seguidas por letras distintas<sup>(a-b)</sup> indicam diferença significativa ( $p < 0,05$ ) de acordo com *pairwise-Dunn test*. EP= Erro padrão, DP= Desvio padrão.

Tratamentos N=25 Flores	Frutos				Sementes			
	Total	Média	EP	DP	Total	Média	EP	DP
Polinização Cruzada	17	0,68 <sup>a</sup>	0,09	0,47	889	35,56 <sup>a</sup>	6,29	31,46
Polinização Natural	22	0,88 <sup>a</sup>	0,7	0,33	1.089	43,56 <sup>a</sup>	5,8	29,05
Autopolinização Manual	6	0,24 <sup>b</sup>	0,09	0,43	86	3,44 <sup>b</sup>	1,35	6,74
Autopolinização Espontânea	0	0 <sup>b</sup>	0,0	0,0	0	0 <sup>b</sup>	0	0

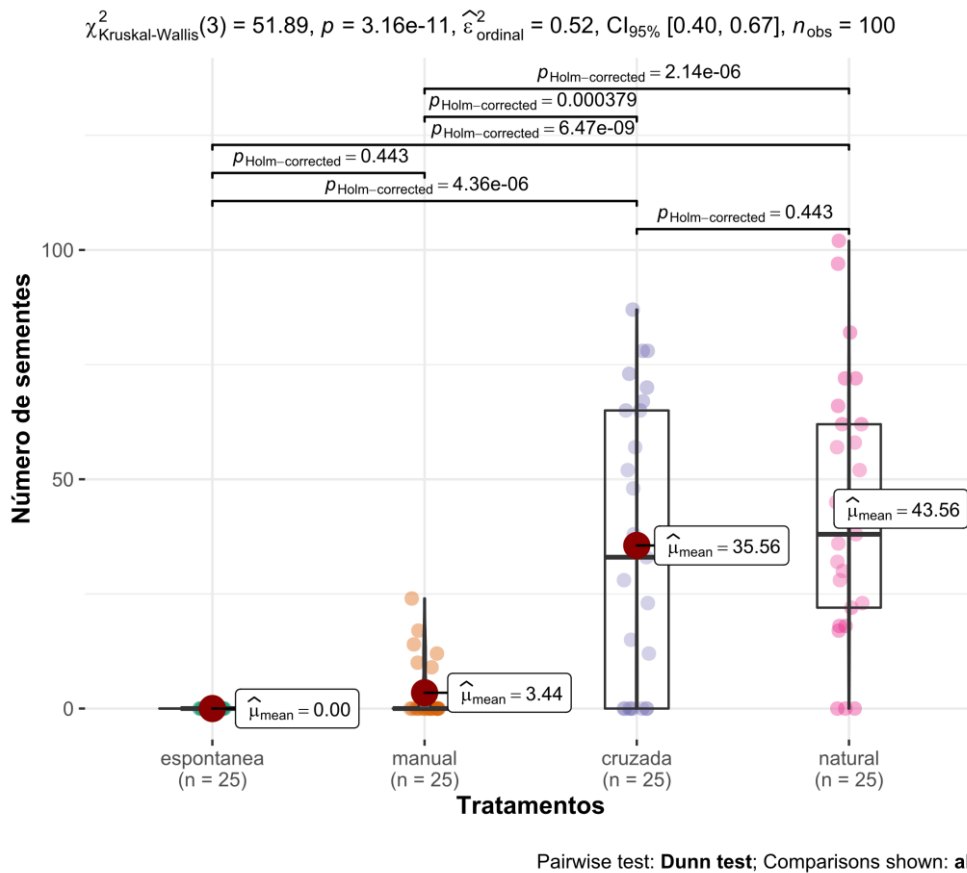
Mais especificamente, observa-se que houve diferença com relação aos tratamentos, sendo que a polinização natural e a cruzada resultaram em um maior número de frutos (Kruskal-Wallis  $X^2 = 48.44$ ,  $df = 3$ ,  $p\text{-value} < 0.001$ ) e sementes (Kruskal-Wallis  $X^2 = 51.89$ ,  $df = 3$ ,  $p\text{-value} = p < 0.001$ ) em comparação aos tratamentos de autopolinização manual e autopolinização espontânea. Considerando a média de frutos produzidos em cada tratamento, não houve diferença entre a polinização natural (22 frutos, média de  $0,88 \pm 0,33$  por planta) e polinização cruzada (17 frutos, média de  $0,68 \pm 0,47$  por planta) ( $p = 0,443$ ), sendo ambas superiores ao tratamento de autopolinização manual que gerou 6 frutos (média de  $0,24 \pm 0,43$  frutos por planta) e da autopolinização espontânea, na qual não ocorreu formação de frutos e consecutivamente nem de sementes *Holm-corrected pairwise test*: Cruzada-Espontânea  $p < 0,001$ ; Cruzada-Manual  $p < 0,006$ ; Natural-espontânea  $p < 0,001$ ; Natural-Manual  $p < 0,001$ ; Espontânea-Manual  $p = 0,174$  (Figura 14).

**Figura 14** – Variação do número de frutos para os tratamentos de autopolinização espontânea, autopolinização manual, polinização cruzada e polinização natural (*Box-plot*) em *P. carambeiensis*.



Considerando o número de sementes produzidas, os valores observados seguem a mesma tendência observada para os frutos, sendo que novamente não houve diferença entre os tratamentos de polinização cruzada e polinização natural ( $p=0,443$ ) (respectivamente 889 sementes, média de  $35,56 \pm 6,29$  por fruto; e 1089 sementes, média de  $43,56 \pm 5,8$  por fruto); entretanto, ambos produziram mais sementes do que os tratamentos submetidos à autopolinização manual e autopolinização espontânea (respectivamente 86 sementes, média  $3,44 \pm 1,34$  por fruto; e 0 sementes) *Holm-corrected pairwise test*: Cruzada-Espontânea  $p < 0,001$ ; Cruzada-Manual  $p < 0,001$ ; Natural-Espontânea  $p < 0,001$ ; Natural-Manual  $p < 0,001$ ; Espontânea-Manual  $p = 0,443$  (Figura 15).

**Figura 15** – Variação do número de sementes para os tratamentos de autopolinização espontânea, autopolinização manual, polinização cruzada e polinização natural (*Box-plot*).



Alguns frutos não chegaram a se desenvolver ou foram predados antes da coleta, tais como os provenientes da polinização cruzada sendo 4 predados e 2 abortados (não atingiram a frutificação) e para a natural 3 predados, porém estes dados não foram considerados na análise.

O valor encontrado do índice de SII = 0,096, indica que a espécie pode ser considerada preferencialmente, auto-incompatível, pois a reprodução que se demonstrou mais efetiva foi decorrente da polinização cruzada e natural, reforçando a necessidade de um agente biológico para transferência do grão de pólen entre os indivíduos.

#### 4.2 Visitantes Florais

As visitas florais, ocorreram no período diurno, sendo observados desde a pré antese, mas na maioria das vezes, ocorreram quando a flor já estava completamente aberta e com suas estruturas reprodutivas acessíveis.

Durante o período avaliado foram registrados os seguintes visitantes florais: exemplares da ordem Hymenoptera representada pelas abelhas e formigas, além de Coleoptera,

besouros para cada visitante foram observados comportamentos distintos sobre a flor (Tabela 2).

TABELA 2 – Visitantes florais de *P. carambeiensis*, em uma área dentro do PARNA dos Campos Gerais, Furna Grande, PR, Ponta Grossa (L - Legítimo; I - Ilegítimo; PE- Polinizador efetivo; PS- Polinizador secundário).  
Visitantes florais de *P. carambeiensis*, em uma área dentro do PARNA dos Campos Gerais, Furna Grande, PR, Ponta Grossa (L - Legítimo; I - Ilegítimo; PE- Polinizador efetivo; PS- Polinizador secundário).

<b>Família</b>	<b>Gênero</b>	<b>Início visitas</b>	<b>Predomínio</b>	<b>Tipo de visita</b>
Apidae	<i>Ceratina</i>	10h00	11h00/15h00	L (PE)
Formicidae	-----	08h00	09h00/10h00	I
Melyridae	<i>Astylini</i>	08h00	10h00/16h00	L (PS)

A visita das abelhas do gênero *Ceratina* foi mais frequente pela manhã e principalmente entre 11h00 até 15h00 e as visitas não ultrapassavam 5 minutos. Estes insetos realizaram visitas legítimas em *P. carambeiensis*, ficando um curto período sobrevoando sobre a flor e pousando no estigma, onde realizam o primeiro contato (Figura 16 a).

Em seguida, mergulham sobre o tubo floral, adentrando com todo corpo, vasculhando e dilacerando as tépalas internas, estames e as anteras com suas pernas dianteiras e mandíbulas (Figura 16 b-c). Permaneceram cerca de 3 a 4 min forrageando (Figura 16 d), e saindo em sequência em busca de outras flores carregando grãos de pólen principalmente na região ventral da cabeça tórax e pernas (Figura 16 e-f).

Foi constatada a presença de formigas (Figura 16 g), que percorriam diversas partes florais, principalmente tépalas e as superfícies externas das flores, provavelmente em busca de recursos extraflorais, sendo observado que algumas se alimentavam de partes florais. Não foram observadas sobre o estigma, sendo classificadas como visitantes ilegítimas (PI), visto que, embora não atuem como polinizadoras efetivas, estas podem auxiliar na dispersão dessa espécie, uma vez que sua presença foi notada em uma maior representatividade durante a frutificação.

Outro grupo de animais observados forrageando sobre as flores foram os besouros *Astylini*, sendo os primeiros visitantes a chegar quando a mesma ainda se encontrava em pré-antese permanecendo até o total fechamento (Figura 16 h). Estes insetos foram comumente observados e dificilmente se deslocaram de uma flor para outra, suas visitas eram coletivas (n



= 8), ou seja, eram observados inúmeros sobre uma mesma flor (Figura 16 i-j). Eles percorriam diversas partes florais, como filete, estilete e anteras. Como estes insetos também foram observados na estrutura reprodutiva (estigma), foram classificados como polinizadores secundários. Posteriormente, se deslocavam na cavidade interna do tubo floral, permanecendo por algum tempo. Os grãos de pólen ficaram aderidos em várias partes principalmente na região ventral da cabeça, junto às peças bucais (Figura 16 k-l).

**Figura 16** – a-l. Visitantes florais encontrados em *P. carambeiensis*, na Furna Grande, Ponta Grossa, PR- Abelha do gênero *Ceratina*. a. Primeiro contato sob a flor no estigma; b-c. Forrageamento; d. Saída da flor; e-f. Áreas de deposição de grãos de pólen; g. Formigas nas tépalas. Besouros do gênero *Astylini*. h. Presença de besouros desde a pré-antese; i-j. Inúmeros sob a mesma flor; k-l. Áreas de deposição de grãos de pólen.



Fonte a autora.

### 4.3 Discussão

#### 4.4 Fenologia reprodutiva

Os dados acerca dos padrões fenológicos de *Parodia carambeiensis* indicam um padrão de floração anual, sazonal e elevada sincronia entre os indivíduos. A floração sincrônica, também foi registrada em outros gêneros desta família, por exemplo em: *Rhipsalis baccifera* (J. M. Muell.) Stearn Guaraldo (2009) *Discocactus pseudoinsignis* N. P. Taylor & Zappi e *D. placentiformis* (Lehm.) K. Schum. (SILVEIRA, 2015).

A sincronia durante a floração é uma importante estratégia de polinização, uma vez que, quanto maior o número de flores abertas maior a disponibilidade de parceiros reprodutivos. Tal sincronia aumenta a atração de polinizadores aumentando o fluxo de pólen e o sucesso da polinização (OTARÓLA; ROCCA, 2014).

O período reprodutivo foi influenciado pela temperatura e precipitação. A ação de ambas variáveis sobre a fenologia também foi encontrada em *Harrisia portoricensis* Britton, onde a floração e frutificação apresentaram uma correlação positiva (ROJAS-SANDOVAL; MELÉNDEZ-ACKERMAN, 2011).

No estudo notamos que em 2019 ambas as fases reprodutivas estão correlacionadas por meses prévios mais secos seguido de chuvosos. Tal influência destas variáveis foi similarmente registrada em *Harrisia adscendens* (Gürke) Britton & Rose, *Cereus jamacaru* DC, *Pilocereus catincola* (Guerke) Werderm. e *P. chrysoatele* (Vaupel) Werderm, (ROCHA *et al.*, 2007) e em *Discocactus pseudoinsignis*, *D. placentiformis* (Silveira 2015). Trata-se de uma estratégia reprodutiva para que seus frutos sejam dispersos durante a estação chuvosa, auxiliando posteriormente na germinação de sementes (ALENCAR *et al.*, 1979; LIMA, 2007).

O número de flores abertas em cada mês foi influenciada positivamente pela temperatura média, favorável quando em torno de 19°C. De maneira similar, *Cereus hildmannianus* K. Schum. espécie nativa da região Sul, também apresentou forte correlação com a temperatura, favorecendo tanto na fase de botão quanto na antese (BAGATINI; KLABUNDE, 2020). Similarmente esta variável apresentou forte correlação com diversas espécies do Chaco Brasileiro, onde a temperatura explicou cerca de 83% das variações na produção de flores e 78% de frutos (GOMES; ARAÚJO, 2018).

Vale ressaltar que embora a precipitação contribua posteriormente para dispersão, alguns estudos relatam que esta influência pode exercer efeito negativo na floração desta família. Com base nesta afirmação, notamos uma floração mais tardia no ano de 2020,

possivelmente foi influenciada pelos picos de precipitação que antecedem o estágio reprodutivo desta espécie (RUIZ *et al.*, 2000; QUIRINO, 2006; LEAL *et al.*, 2006).

#### 4.5 Sistema reprodutivo

*Parodia carambeiensis* apresenta sistema reprodutivo do tipo alogâmico, sendo que, no experimento realizado, a maior parte dos frutos foi formado pela polinização cruzada manual (68%) e natural (88%), e pequena porcentagem na autopolinização manual (24%). Embora os dados apontem alogamia como sistema reprodutivo predominante, há indicativos de ocorrência de autofertilização eventual nesta espécie, mesmo que mediada por um agente biológico, visto que a autopolinização manual resultou na formação de frutos e sementes, apesar de em proporção significativamente inferior aos demais testes.

Esses resultados são similares aos encontrados para *Harrisia portorincensis*, cactácea ameaçada e endêmica de Porto Rico, onde constataram maior formação de frutos provenientes da polinização cruzada e baixas proporções na autopolinização manual, ressaltando a necessidade de um agente externo para transporte do pólen e formação de frutos. (SANDOVAL; ACKERMAN, 2011).

Stevens (2018) também destaca que existem inúmeros sistemas reprodutivos em Cactaceae, sendo alogamia o predominante. Este promove novas combinações do material genético, levando a um aumento da variabilidade genética, com exceção o gênero *Frailea* Britton & Rose, em que ocorre cleistogamia e as flores não se abrem propiciando a autofertilização (NYBOM, 2004; VELÁZQUEZ *et al.*, 2016). Apesar da alogamia ter se mostrado mais efetiva na formação de frutos e sementes, esta forma de reprodução pode estar ocorrendo entre indivíduos aparentados devido à elevada fragmentação de habitats e isolamento das populações. Como resultado, pode haver menor fluxo gênico entre populações distintas, diminuindo a diversidade genética das mesmas por aumentar a taxa de endocruzamentos, sendo um fator importante para declínio das densidades populacionais.

Nesse sentido, GARCIA *et al.*, (*no prelo*) apresentam a distribuição de *P. carambeiensis* no Paraná, ressaltando que as maiores populações se encontram fora de UCs, estando mais susceptíveis às ações antrópicas. Embora existam registros desta espécie em áreas próximas do local de estudo, a maioria destes fragmentos apresenta baixas densidades populacionais, reflexo da degradação contínua do habitat em que estão localizadas (GARCIA *et al. no prelo*). Foi observado que a população estudada se encontra a pelo menos, 900 metros

de outros fragmentos, cuja presença de *P. carambeiensis* foi registrada, caracterizando um grau de isolamento alto.

Considerando aspectos moleculares de *P. carambeiensis* em quatro pontos de ocorrência, foi verificado que existem haplótipos compartilhados entre estas populações, no entanto estas áreas estão reprodutivamente isoladas atualmente (RICHARDT *et al.*, 2016). Há um indicativo de que no passado havia fluxo gênico entre essas populações, mas que hoje estão desconectadas devido fragmentação de paisagens (RICHARDT *et al.*, 2016).

Em concordância com nossos estudos, García *et al.* (2016), pesquisando ações da fragmentação de habitats em *Mammillaria pectinifera* F.A.C.Weber (Cactaceae), constatou que as ações antrópicas tais como: coletas ilegais, desmatamentos excessivos e conversão dos habitats naturais, diminuem a capacidade de dispersão desta espécie, afetando o fluxo gênico e aumentando o risco de extinção, uma vez que 45% de suas populações encontram-se fora de unidades de proteção.

#### 4.6 Visitantes florais

A grande diversidade de flores encontradas em cactáceas aumenta a atração de diversos polinizadores, tais características resultam em inúmeras síndromes florais, sendo essenciais na reprodução desta família (MANDUJANO *et al.*, 2010; SCHLUMBERGER, 2012; MARTINS; FREITAS, 2018). A maioria das flores depende de animais para a polinização, desta forma, os atrativos florais são importantes para sinalizar recursos e atrair visitantes florais (VARASSIN; NETO, 2014). Dentre os atributos florais presentes em *P. carambeiensis*, destacam-se flores grandes e actinomorfas, extremamente visíveis e atraentes, antese diurna, tépalas amarelas e brilhantes. Tais características florais encontradas nesta planta correspondem a síndrome da melitofilia (polinização por abelhas) sendo assim, em concordância com as síndromes florais, as abelhas foram inúmeras vezes avistadas sobre a flor.

Estes insetos passavam boa parte do seu tempo vasculhando as partes florais com suas pernas. Tal comportamento observado é denominado de “raspagem” sendo comum para o grupo, e pode ser realizado pelas pernas dianteiras, médias e posteriores, além das mandíbulas. Nas observações de campo as abelhas utilizavam principalmente as pernas dianteiras e mandíbulas, comportamento similarmente registrados durante a polinização de *Melocactus glaucescens* e *M. paucispinusas* (COLAÇO *et al.*, 2006; PORTMAN *et al.*, 2019).

De acordo com Santos *et al.* (2014) estes movimentos executados pelas abelhas fazem com que o pólen saia da antera e fique depositado na região abdominal, no entanto para que

seja efetivada a polinização é necessário que estes insetos cheguem à estrutura feminina de outras plantas, o que frequentemente ocorre durante a floração. Tal comportamento também é reportado para abelhas nas flores de *Rhipsalis neves-armondii* K. Schum, que são atraídas pelo estigma, utilizado como estrutura de pouso e em seguida buscam as anteras (MARTINS; FREITAS, 2018).

As abelhas *Ceratina* realizaram visitas legítimas sendo, portanto, consideradas polinizadoras efetivas de *P. carambeiensis*, baseado no fato de que as síndromes florais presentes na flor favorecem este tipo de polinização, aliado ao comportamento de forrageamento destes insetos em busca de néctar e conseqüentemente ao seu deslocamento para outras flores. Fortalecendo os resultados apresentados, Cavalcante *et al.* (2013) e Stevens (2018) relatam que abelhas parecem exercer um papel fundamental na polinização das cactáceas de modo geral.

Existem poucos estudos relacionados aos visitantes florais nesta família, principalmente referente ao gênero *Parodia*, sendo que os escassos trabalhos indicaram que a polinização é realizada por abelhas sendo 35 espécies já registradas sobre as flores Schlindwein e Wittmann (1997). Embora nosso estudo aponte a visita exclusiva de *Ceratina* sp. outros já foram relatados a presença de *Dialictus*, e visitas eventuais dos gêneros *Ancyloscelis*, *Augochloropsis*, *Callonynchium*, *Megachile* e *Psaenythia* em flores de *P. carambeiensis* (Gonçavez & Melo 2005). Tal diferença no número de Hymenoptera observado pode estar relacionado com métodos observacionais distintos, época do ano, tempo de observação, além da redução dos remanescentes de campos nativos e intensificação da degradação ambiental nas últimas décadas na região dos Campos Gerais, estado do Paraná, principalmente em áreas de proteção ambiental como a (APA) da escarpa Devoniana (PONTES *et al.*, 2018).

Recentemente, Torres (2019) em estudo com *Parodia ottonis* (Lehm.) N. P. Taylor, espécie de grande semelhança morfológica com *P. carambeiensis*, registrou visitas de diferentes espécies de abelhas, incluindo *Apis mellifera* Linnaeus, *Megachile* sp. (*Megachilidae*), *Plebeia* aff. *droryana* e *Trigona spinipes*, sendo estes resultados importantes para demonstrar a grande variedade de visitantes florais que podem ocorrer associado ao gênero *Parodia*, apesar de diferirem daqueles encontrados para a espécie em estudo.

Outro grupo encontrado em *P. carambeiensis* foram as formigas, observadas tanto na floração e na frutificação. Estes insetos foram classificados como visitantes ilegítimos, pois percorriam diversas partes florais, além de consumi-las, não sendo observados nas estruturas reprodutivas. Essa classificação diverge dos encontrados para algumas espécies do gênero *Pilocereus*, sendo classificadas como polinizadoras acidentais (LUCENA, 2007; PEREIRA,

2021). De acordo com Novoa *et al.* (2005), algumas formigas podem atuar como polinizadoras de cactáceas, além de realizarem uma interação benéfica na proteção dos cactos contra insetos fitófagos.

A maior abundância de formigas foi notada durante a frutificação, pois algumas pareciam se alimentar de substâncias nutritivas no fruto carnoso, como também relatado em Carneiro *et al.* (2016), *Melocactus* Link & Otto, por Fonseca (2004) e *Uebelmannia buiningii* Donald., Teixeira *et al.* (2018). De acordo com Carneiro *et al.* (2016), estes insetos são importantes na dispersão das cactáceas. Em *P. carambeiensis* provavelmente as formigas são atraídas pelo fruto suculento e funículo, posteriormente podem atuar também na dispersão das sementes da espécie de estudo.

Os besouros *Astylini* (Melyridae) representam outro táxon encontrado nas flores de *P. carambeiensis*, sendo os primeiros visitantes a chegarem na flor e os mais abundantes. Foram observados em frequente movimentação nas diversas partes florais, principalmente nas cavidades internas do tubo floral. Estes insetos geralmente buscam as flores com pétalas carnosas de cor pálida branca/creme, com odor suave ou forte e em geral bissexuadas, utilizam estas plantas como refúgios de inimigos naturais, local para cópula e oviposição, sendo a corola e estames os principais recursos utilizados (RECH *et al.*, 2014; VIEIRA; FONSECA, 2014).

Não há indícios de que exemplares da família Melyridae possam atuar como polinizadores em outras cactáceas, no entanto, em consonância com outros trabalhos de *Opuntia monacantha* Lenzi (2008) e *Pilocereus*, Pereira *et al.* (2021), nos quais foram registrados comportamento similar aos observados sobre as flores de *P. carambeiensis*, estes foram classificados como polinizadores secundários, pois ao coletar pólen se deslocavam para diversas partes florais, no entanto, não foram avistados se deslocando para outras flores. Embora este grupo não atue ativamente na polinização cruzada, este pode exercer efeito positivo na autofertilização.

Dada a importância que os agentes polinizadores, principalmente abelhas, representam para a reprodução desta espécie, são prioritárias as ações que foquem na conservação não só do cacto, mas também de seus polinizadores. Barbola *et al.* (2014) relata que as abelhas representam os principais insetos polinizadores e estima que existam centenas de espécies abelhas nativas nos Campos Gerais. A presença destes invertebrados garante a continuidade dos sistemas de polinização de plantas silvestres e cultiváveis, sendo relevantes na manutenção da biodiversidade regional, além de sua importância na produção de mel, própolis e cera na região, principalmente por *Apis mellifera*, espécie exótica.

Esses dados ressaltam a importância da preservação de subpopulações encontradas nesta unidade e podem contribuir nas decisões de estratégias de ação a serem adotadas principalmente nos planos de manejo das unidades de conservação. A perda de vegetação nativa, fragmentação e queimadas podem elevar níveis de endogamia, devido a diminuição do tamanho populacional e isolamento das populações.

Embora tenham sido registradas populações de *P. carambeiensis* nas áreas próximas ao fragmento amostrado, estas não estão conectadas e abrigam baixas densidades. Tais fatores dificultam a manutenção das visitas de polinizadores e fluxo de pólen, bem como a dispersão de sementes em longas distâncias, sendo extremamente necessária a criação de corredores ecológicos para manter conectadas estas populações e consecutivamente ao longo dos anos, aumentando a variabilidade desta espécie (JUMP; PENUELAS, 2006).

Algumas das ações para a conservação desta família são baseadas em projetos de restauração e estimativas da variabilidade genética de plantas ameaçadas, propagação de espécies por meio de métodos artificiais, criação de viveiros e identificação de áreas prioritárias na conservação, além do aprimoramento e fortalecimento das políticas públicas relacionadas às cactáceas, ações de gestão nas unidades e divulgação de informações dos cactos (AQUINO *et al.*, 2011).

Algumas medidas desenvolvidas para o manejo e conservação da espécie podem se dar através de placas de sinalização em trilhas informando que é uma espécie ameaçada e que a permanência desta, beneficia outras espécies pela disponibilidade de recursos, a fim de tentar minimizar coletas ilegais por turistas. Alertas sobre queimadas e maior fiscalização sobre o avanço agropecuário em unidades de proteção, pois inúmeras áreas, principalmente as que englobam o PARNA dos Campos Gerais estão muito próximas das áreas agricultáveis que podem prejudicar os sistemas de polinização.

Considerando as ações para o manejo e conservação de seus polinizadores, é urgente um maior controle e fiscalização do uso de agrotóxicos no interior e na zona de amortecimento das UCs, bem como estratégias que amenizem as pressões e ameaças dentro destas unidades e nas propriedades rurais próximas às áreas de ocorrência de *P. carambeiensis*.

#### 4.7 Considerações finais

Os eventos fenológicos indicaram que *P. carambeiensis*, apresenta uma floração anual com suas flores abrindo de forma sincrônica, sendo as fases reprodutivas ocorrendo com meses prévios mais secos seguido de chuvosos. Apresenta sistema reprodutivo do tipo alogâmico e sua principal forma de reprodução é decorrente da polinização cruzada, além de uma pequena porcentagem de frutos provenientes da autofertilização.

No entanto este sistema pode estar sob forte ameaça uma vez que o isolamento das populações, associado a fragmentação de paisagem devido ações antrópicas, podem estar dificultando o fluxo gênico, consecutivamente podendo propiciar o cruzamento entre indivíduos aparentados.

Pois atualmente o mau uso da terra aliado a rápida expansão da agricultura, e degradação de *habitat*, o uso indiscriminado de agrotóxicos e a inserção de espécies invasoras, representam ameaças contínuas desencadeando o declínio das populações de cactáceas no Brasil, impactando negativamente na ocorrência de *P. carambeiensis* bem como de seus polinizadores, afetando as comunidades existentes.

Com base nestes resultados ressalta-se a importância da manutenção dos ecossistemas naturais e a conservação da fauna e flora dos Campos Gerais visando a preservação desta espécie e de seus polinizadores. Medidas protetivas são necessárias tais como a minimização de impactos turísticos, coletas ilegais e melhor gestão das leis ambientais desencadeados pelas ações antrópicas, preservação dos sítios naturais com pequenos fragmentos dispersos, possibilitando conexão entre estas áreas, aumentando o fluxo gênico e conseqüentemente levando a preservação e aumento da biodiversidade local.



## REFERÊNCIAS

- ALENCAR, J. C.; ALMEIDA, R. A.; FERNADES, N. P. Fenologia de espécies florestais em floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia Central. **Acta amazônica**, v. 9, n. 1, p. 163-198, 1979.
- ALMEIDA, M. E. F. de.; CORRÊA, A. D. Utilização de cactáceas do gênero *Pereskia* na alimentação humana em um município de Minas Gerais. **Revista rural**, Santa Maria v. 42, n. 4, p. 751-756, 2012.
- ANDERSON, E. F. **The cactus Family**. 1 ed. Oregon: Pictorial Works, 2001.
- AONA, L.Y.S.; MACHADO, M.; PANSARIN, E. R.; CASTRO, C. C. de.; ZAPPI, D. C.; AMARAL, M.C. E. do. Pollination biology of three Brazilian species of *Micranthocereus* Backeb. (Cereeae, Cactoideae) endemic to the “campos rupestres”. **Bradleya**, v. 2, p. 39-52, 2006.
- APG IV. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 2016. Disponível em: <https://academic.oup.com/botlinnean>. Acesso em: 08 Set 2020.
- AQUINO, J. G. A.; RESENDE, S. V.; BELLINTANI, M. C.; COELHO, P. J. A. de.; CORREIA, D.; MARCHI, M. N. G.; CRUZ, M. B.; NAHOUM, P. I. V. de.; OLIVEIRA, M.; MENEZES, T.; MEIADO, M. V. conservação *Ex situ*. In: SILVA, S. R.; ZAPPI, D.; TAYLOR, N.; MACHADO, M. (eds.) **Plano de ação nacional para a conservação das cactáceas**. Brasília: ICMBio, 2011. p. 29-31.
- BAGATINI, K. P.; KLABUNDE, D. Fenologia reprodutiva de *Cereus Hildmnanus* K. Schum. **Unoesc e ciência**, v. 10, p. 145-154, 2020.
- BARBOLA, I. F. de.; NASCIMENTO, E. A. do.; MILLÉO, J. A fauna de insetos dos Campos Gerais. In: MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: UEPG, 2014. p. 143-150.
- BATISTA, F. R. C. da.; ALMEIDA, E. M. de.; ALVES, L. I. F.; SILVA, P. K. da.; NEVES, J.A. de.; FREITAS, J. G. **Cactário Guimarães Duque: Espécies da coleção Botânica do INSA**. Campina Grande: INSA, 2018.
- BEHLING, H.; PIERUSCHKA, V. J.; SCHULER, L.; PILLAR, V. P. de.; Dinâmica dos campos no Sul do Brasil durante o quaternário tardio. In: PILLAR, V. P. de., MULLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S. de. JAQUES, A. V. A. **Campos Sulinos**. Brasília: 2009. p. 13-25.
- BENCKE, C. S. C.; MORELLATO, P. C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Revista Brasil Botânica**. v. 25, n. 3, p. 269-275, 2002.
- BFG. The Brazil Flora Group Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**, v. 66, n. 4, p. 1085-1113, 2015.

BFG. Brazilian Flora 2020: Innovation and collaboration to meet Target 1 of the Global Strategy for Plant Conservation (GSPC). **Rodriguésia**, v. 69, n. 4, p. 1513-1527, 2018.

BUSTAMANTE, E.; BÚRQUEZ, A. Effects of plant size and weather on the flowering phenology of the organ pipe cactus (*Stenocereus thurberi*). **Annals of Botany**, v.102, n. 6, p. 1019-1030, 2008.

CARNEIRO, A. M.; SINGER, R. F.; RAMOS, R. A.; NILSON, A. D. **Cactos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fundação Zoobotânica, do Rio Grande do Sul, 2016.

CASARI, A. S. I. de. S. Coleoptera. *In*: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B. de.; CASARI, A. S.; CONSTANTINO, R. **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos, 2012. p.453-535.

CAVALCANTE, A.; TELES, M.; MACHADO, M. **Cactos do semiárido do Brasil: guia ilustrado**. Campina Grande: INSA, 2013.

CHOMENKO, L.; BENCKE, G. A. **Nosso Pampa desconhecido**. Porto Alegre: Fundação zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2016.

COLAÇO, M. A. S.; FONSECA, R. B. S.; LAMBERT, S. M.; COSTA, C. B. N.; MACHADO, C. G.; BORBA, E. L. Biologia reprodutiva de *Melocactus glaucescens* Buining & Brederoo e *M. paucispinus* G. Heimen & R. Paul (Cactaceae), na Chapada Diamantina, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 2, p. 239-249, 2006.

COSTA, P. M. de. A.; SOUZA, V. C. de.; COSTA, V. S. da.; BARROS, E. S.; OLIVEIRA, I. S. da. S. Fenofases reprodutivas em uma população de mandacaru (*Cereus jamacaru*) e facheiro (*Pilosocereus pachycladus* subsp. *pernambucensis*) (Cactaceae). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 30536-30545, 2020.

DINNO, A. Nonparametric pairwise multiple comparisons in independent groups using Dunn's test. **The Stata Journal**, v.15, p. 292-300, 2015.

FERREIRA, B. H. S.; GOMES, A. C.; SOUZA, C.S.; FABRI, J. R.; SIGRIST, M. R. Pollination and reproductive system of synchronopatric species of Cactaceae (Cactoideae) subject to interspecific flow of pollen: an example of ecological adaptation in the Brazilian Chaco. **Plant Biology**, v. 20, p.101-112, 2018.

FERREIRA, B. H. S.; GOMES, A. C.; SOUZA, C.S.; FABRI, J. R.; SIGRIST, M. R. Flowering and pollination ecology of *Cleistocactus baumannii* (Cactaceae) in the Brazilian Chaco: pollinator dependence and floral larceny. **Acta Botanica Brasilica**, v. 34, p. 167-176, 2020.

FONSECA, R. B. S.; FUNCH, S.; BORBA, E. L. Dispersão de sementes de *Melocactus glaucescens* e *M. paucispinus* (Cactaceae), no Município de Morro do Chapéu, Chapada Diamantina – BA. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, p. 481-492, 2012.

FRANKI, G. W.; BAKER, H. G.; OPLER, P. A. Comparative phenological studies of trees in tropical wet and dry forests in the lowlands of Costa Rica. **Journal of Ecology**, v. 62, n. 3, p. 881-919, 1974.

FREITAS, L. Artigo de Opinião / Point of View Paper Precisamos falar sobre o uso impróprio de recursos florais. **Rodriguésia**, v. 69, n. 4, p. 2223-2228, 2018.

GARCÍA, R. M.; ARIZAGA, S.; REYES, P. C.; RAMÍREZ, J. M. P.; OYAMA, K. Landscape genetics reveals inbreeding 1 and genetic bottlenecks in the extremely rare short-globose cacti *Mammillaria pectinifera* (Cactaceae) as a result of habitat fragmentation. **Plant Diversity**, v.39, n. 1, p. 13-19, 2016.

GENTRY, A. H. Flowering phenology and diversity in tropical Bignoniaceae. **Biotropica**, v. 6, n. 1, p. 64-68, 1974.

GIULIETTI, A. M.; MENEZES, N. L.; PIRANI, J. R.; MEGURO, M.; WANDERLEY, M. G. L. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: Caracterização e Lista das Espécies. **Boletim de Botânica**, v. 9, p. 1-151, 1987.

GOETTSCHE, B. *et al.* High proportion of cactus species threatened with extinction. **Nature plants**, v.15142, n. 5, p. 1-7, 2015.

GOMES, V. G. N.; ARAUJO, A. C. Cacti species from the Brazilian chaco: floral and fruit traits. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 2, p. 1-8, 2015.

GOMES, V. G. N.; ARAUJO, A. C. Reproductive phenology of cacti species in the Brazilian Chaco, Mato Grosso do Sul. **Journal of Arid Environments**. xxx (xxxx) xxx-xxx, 2018.

GONÇAVEZ, R. B.; MELO, G. A. R. A comunidade de abelhas (Hymenoptera, Apidae s.l) em uma área restrita de campo natural do Parque Estadual de Vila Velha, Paraná: diversidade, fenologia e fontes florais de alimento. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 49, n. 4, p. 557-571, 2005.

GRANT, V.; GRANT, K. A.; HURD, P. D. Pollination of *Opuntia lindheimeri* and related species. Plant Systematics and Evolution. In: Grant V, Grant, K. A, Hurd, P. D. Pollination of *Opuntia lindheimeri* and related species. **Plant Systematics and Evolution**, v.132, p. 313-320, 1979. Disponível em: [https://digitalcommons.usu.edu/bee\\_lab\\_gr/18/](https://digitalcommons.usu.edu/bee_lab_gr/18/). Acesso em: mar. 2021.

GUARALDO, A. C. **Fenologia reprodutiva, distribuição espacial e frugivoria em *Rhipsalis* (Cactaceae)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Biologia vegetal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita filho”, São Paulo, 2009.

GUIMARÃES, G. B.; MELO, M. S. de.; PIEKARZ, G. F.; MOREIRA, J. C.; LICCARDO, A.; MOCHIUTTI, N. F. Geoparque dos Campos Gerais (PR). In: SCHOBENHAUS, C.; SILVA, C. R. **Geoparques propostos do Brasil**. Rio de Janeiro: CPRM, 2010, p. 617-646.

HARLEV, E.; NEVO, E.; SOLOWEY, E.; BISHAYEE, A. Cacer preventive and curative attributes of plants of the Cactaceae family: A review. **Planta Med**, v.79, n. 9, p. 713-722, 2013.

HARLEY, R. M. Introduction. In: Stannard, B. L. (Ed.). **Flora of the Pico das Almas, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil**. Royal Botanic Gardens, Kew, 1995. p. 1-42.

HUGHES, C. E.; PENNINGTON, R. T.; ANTONELLI, A. Neotropical plant evolution: assembling the big picture. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 171, n.1, p. 1–18, 2013.

HUNT, D.; TAYLOR, N. P.; CHARLES, C. **The new cactus lexicon**. DH Books, 2006.

ICMBio (2020) **Parque Nacional dos Campos Gerais**. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica/unidades-de-conservacao-mata-atlantica/2207-parna-dos-campos-gerais>>. Acesso em: 19 jan. 2021.

JUMP, A. S.; PENUELAS, J. Genetic effects of chronic habitat fragmentation in a wind-pollinated tree. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 21. p. 8096-8100, 2006.

LEAL, F. C.; LOPES, A. V.; MCHADO, I. C. Polinização por beija-flores em uma área de caatinga no Município de Floresta, Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Revista brasileira de botânica**, v. 29, n. 3, p. 379-389, 2006.

LEANDRO, C. M. **Biologia reprodutiva de duas espécies de Cactaceae, pertencentes ao gênero *Cipocereus* no Parque Estadual do Rio Preto, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Biomas Tropicais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2013.

LENZI, M. **Biologia reprodutiva de *Opuntia monacantha* (Willd.) Haw. (Cactaceae) nas restingas da ilha do mel de Santa Catarina, Sul do Brasil**. Tese (Doutorado em recursos genéticos vegetais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

LEVIN, D. A. The evolutionary significance of pseudo-self-fertility. **The American Naturalist** v.148, n. 2, p. 321-332, 1996.

LIMA, A. L. A. **Padrões fenológicos de espécies lenhosas e cactáceas em uma área do semi-árido do Nordeste do Brasil**. 2007. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Pernambuco, 2007.

LOPES, L. T. **Fenologia, biologia reprodutiva, germinação e desenvolvimento inicial de *Cipocereus minensis* subsp. *Leiocarpus* N. Taylor & Zappi (Cactaceae) no planalto de Diamantina- MG**. 2012. Dissertação (Mestrado em produção vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Minas Gerais, 2012.

LUCENA, E. A. R. M. de. **Fenologia, biologia da polinização e da reprodução de *Pilocereus Byles e Rowley* (Cactaceae) no Nordeste do Brasil**. 2007. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

LUCENA, C. M.; COSTA, G. M.; SOUZA, R. F.; CARVALHO, T. K.N.; MARREIROS, N. A.; ALVES, C. A. B. Conhecimento local sobre cactáceas em comunidades rurais na mesorregião do sertão da Paraíba (Nordeste, Brasil). **Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 282-288, 2012.

MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solo e vegetação do Estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 2, 1948. p. 102-200.

- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 4.ed. Ponta Grossa: UEPG, 2012.
- MANDUJANO, M. C.; MARTÍNEZ, F. A.; GOLUBOV, J.; EZCURRA, E. Spatial distribution of three globose cactus in relation to different nurse-plant canopies and bare areas. **The Southwestern Naturalist**, v. 47, n.2, p. 162-168, 2002.
- MANDUJANO, M. C.; CARRILLO-ANGELS, I. G.; MARTINEZ-PERALTA, C.; GOLUBOV, J. Reproductive biology of Cactaceae. *In*: Ramawat KG (ed.). **Desert plants – biology and biotechnology**. Springer, 2010, p. 197-230.
- MARTINS, C.; FREITAS, L. Functional specialization and phenotypic generalization in the pollination system of an epiphytic cactus. **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, n. 3, p. 359-366, 2018.
- MARTINS, C.; OLIVEIRA, R.; AGUIAR, L. M. S.; ANTONINI, Y. Pollination biology of the endangered columnar cactus *Cipocereus crassisepalus*: a case of close relationship between plant and pollinator. **Acta Botanica Brasilica**, v. 34, n. 1, p. 177-184, 2020.
- MAUSETH, J. D. Structure function relationships in highly modify ed shoots of Cactaceae. **Annals of Botany**, v. 98, n. 5, p. 901-926, 2006.
- MELO, G. A. R.; AGUIAR, A. P.; BARRETT B. R. G. Hymenoptera. *In*: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B. de.; CASARI, A. S.; CONSTANTINO. **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia**. Ribeirão Preto: Holos, 2012, p.554-612.
- MELO, M. S. de. MORO, R. S. GUIMARÃES, G, B. **Patrimônio Natural dos Campos Gerais**. 1 ed. Ponta Grossa, PR: UEPG, 2014.
- MORELLATO, L. P. C.; LEITÃO-FILHO, H. F. Padrões de frutificação e dispersão na Serra do Japi. *In*: Morellato L. P. (Org) **História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no sudeste do Brasil**. Campinas: UNICAMP/FAPESP, 1992, p. 112-140.
- MORO, R. S.; CARMO, M. R. B. do. A vegetação campestre dos Campos Gerais *In*: MELO, M. S. de. MORO, R. S. GUIMARÃES, G, B. **Patrimônio Natural dos Campos Gerais**. 1 ed. Ponta Grossa: UEPG, 2014. p. 93-99.
- NASSAR, J. M.; RAMÍREZ, N.; LAMPO, M.; GONZÁLEZ, J. A.; CASADO, R.; NAVA, F. Reproductive biology and mating system estimates of two Andean Melocacti, *Melocactus schatzlii* and *M. andinus* (Cactaceae). **Annals of Botany**, v. 99, n. 1, p. 29-38, 2007.
- NEWSTROM, L. E.; FRANKIE, G. W.; BAKER, H. G. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. **Biotropica**, v. 26, n. 2, p. 141-159, 1994.
- NOVOA, S.; CERONI, A.; ARELLANO, C. Contribución al conocimiento de la fenología del cactus *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseifolia* (Werdermann & Backeberg) Ostolaza (Cactaceae) en el valle do rio Chíllon, Lima, Perú. **Ecología aplicada**, v. 4, n. 2, p. 35-40, 2005.

NYBOM, H. Comparison of different nuclear DNA markers for estimating intraspecific genetic diversity in plants. **Molecular Ecology**, v. 13, n.5, p.1143-1155, 2004.

OTARÓLA, M. F.; ROCCA, M. A. Flores no tempo: a floração como uma fase da fenologia reprodutiva. In: RECH, A. R.; AGOSTINI, K.; OLIVEIRA. **Biologia da polinização**. Rio de Janeiro: Projeto cultural, 2014, p. 113-126.

ORTEGA, B. P.; GODÍNEZ, Á. H. Global diversity and conservation priorities in the Cactaceae. **Biodiversity and Conservation**, v.15, p. 817-827, 2006.

OVERBECK, G. E., S. C. MULLER, *et al.* Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. Perspectives in Plant Ecology. **Evolution and Systematics**, v 9, n. 2, p. 101-116, 2007.

OVERBECK, G. E.; MULLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. P. de.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I. I.; BOTH, R.; FORNECK, E. D. Os Campos Sulinos um Bioma negligenciado. In: PILLAR, V. D.; MULLER, S. C, CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. **Campos sulinos conservação e uso sustentável da biodiversidade**. 2.ed. Brasília: MMA, 2009. p. 26-41.

PEREIRA, J. L. **Estrutura demográfica e fenologia reprodutiva de *Cereus hildmannianus* K. Schum. (Cactaceae), em uma restinga arbustiva do município de Jaguaruna, Santa Catarina**. 2009. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Jaguaruna, 2009.

PEREIRA, M. R. S.; SILVA, T. G.; RAMOS, G. J. A.; CORREIA, C. C. Visitantes florais em duas espécies do gênero *Pilosocereus* (Cactaceae Juss.) em área de Caatinga. **Diversitas journal**, v. 6, p. 584-600, 2021.

PITTELA, R. S.; SANTOS, T. B.; FARIAS, H. R. New record and expansion of the geographic distribution of *Parodia mueller-melchersii* (Frič ex Backeb.) N. P. Taylor (Cactaceae) in the southern region of Rio Grande do Sul, Brazil. **Iheringia**, v. 75, 2020.

PONTES, H. S.; MASSUQUETO, L. L.; GUIMARÃES, G. B.; ROCHA, C. H. O projeto de lei de redução da APA da Escarpa Devoniana: ameaças à proteção dos campos nativos e cavernas dos Campos Gerais do Paraná, Brasil. **Terr@Plural**, v. 12, n. 2, p. 211-237, 2018.

PORTMAN, Z. M.; ORR, M. C.; GRISWOLD, T. review and updated classification of pollen gathering behavior in bees (Hymenoptera, Apoidea). **Journal of Hymenoptera Research**, v. 71, p. 171-208, 2019.

QUIRINO, Z. G. M. **Fenologia, síndromes de polinização e dispersão de recursos florais de uma comunidade de caatinga no cariri paraibano**. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade federal de Pernambuco, 2006.

RAMIREZ, N.; BRITO, Y. Reproductive of a tropical palm swamp community in the Venezuelan llanos. **American Journal of Botany**, v. 77, n. 10, p.1260-1271, 1990.

R CORE TEAM R: A language and environment for statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria., 2020.** Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 14 mar. 2021.

RECH, A. R.; AGOSTINI, K.; OLIVEIRA, P. E.; MACHADO, I. C. *et al.* **Biologia da polinização.** 1 ed. Rio de Janeiro: Projeto cultural, 2014.

REGO, J. O.; FRANCESCHINELLI, E. V.; ZAPPI, D. C. Reproductive biology of a highly endemic species: *Cipocereus laniflorus* (Werderm) Ritter (Cactaceae). **Acta botânica brasilica**, v. 26, p. 243-250, 2012.

RICHARDT, F. S.; TARDIVO, R. C.; MATIELLO, R. R. ***Parodia carambeiensis*: aspectos morfológicos, moleculares e status de conservação.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016.

ROCHA, E. A.; MACHADO, I. C.; ZAPPI, D. C. Floral biology of *Pilosocereus tuberculatus* (Werderm.) Byles & Rowley: a bat pollinated cactus endemic from the “Caatinga” in northeastern Brazil. **Bradleya**, v.25. p. 125-128, 2007.

ROJAS-ARÉCHIGA, M.; VÁZQUEZ-YANES, C. Cactus seed germination: a review. **Journal of Arid Environments**, v. 44, p. 85-104, 2000.

ROJAS-SANDOVAL, J.; MELÉNDEZ-ACKERMAN, E. Reproductive phenology of the Caribbean cactus *Harrisia portoricensis*: rainfall and temperature associations. **Botany**, v. 89, n. 12, p. 861–871, 2011.

ROSS, R. Chromosome counts, cytology, and reproduction in the Cactaceae. **American Journal of Botany**, v. 68, p. 463-470, 1981.

RUIZ, A.; SANTOS, M.; CAVELLIER, J. Estúdio fenológico de cactáceas em el enclave seco de la Taboca, Colômbia. **Biotropica**, v. 32, n.3, p. 397-407, 2020.

SANDOVAL, J. R.; ACKERMAN, E. M. Reproductive phenology of the Caribbean cactus *Harrisia portoricensis*: rainfall and temperature associations. **Botany**, v. 89, n. 12, p. 861-71, 2011.

SANTOS, I. A.; AIZEN, M.; SILVA, C. I. Conservação dos polinizadores. *In*: RECH, A. R.; AGOSTINI, K.; OLIVEIRA, P. E.; MACHADO, I. C. **Biologia da polinização.** Rio de Janeiro: Projeto cultural, 2014, p. 493-515.

SCHEINVAR, L. **Cactáceas.** Itajaí, Santa Catarina: REITZ, 1985.

SCHLINDWEIN, C.; WITTMANN D. Stamen movement in flowers of *Opuntia* favour oligolectic pollination. **Plant Systematics and Evolution**, v. 204, p.179-193, 1997.

SCHLUMPBERGER, B. O. A survey on pollination modes in cacti and a potential key innovation. *In*: PATINY, S. (ed.) **Evolution of plant pollinator relationships.** Ed. Cambridge, 2012, p. 301-319.

SEMA. Conhecendo o Bioma Mata Atlântica. **Revista Atlântica**. v. 1, p 1-20, 2018.

SILVA, V. A. Diversidade de uso das cactáceas no nordeste do Brasil: uma revisão. **Gaia Science**, v. 9, n. 2, p. 137-154, 2015.

SILVEIRA, R. A. **Ecologia de *Discocactus pseudoinsignis* e *Discocactus placentiformis* simpátricos e endêmicos da Serra do Espinhaço, MG, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

SOARES, B. F. E.; CRUZ, S. M.; ALMEIDA, S. P. A.; SOUZA, A. de. Levantamento etnobotânico da família cactaceae do estado do Sergipe. **Revista Fitos**, v.12, n.1, p.41-53, 2018.

SOLLER, A.; SOFFIATTI, P.; CALVENTE, A.; GOLDENBERG, R. Cactaceae no Estado do Paraná, Brasil. **Rodriguésia**, v. 65, n. 1, p. 201-219, 2014.

SOS MATA ATLÂNTICA. Relatório anual, 29 p, 2019.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG IV**. 4. ed. Nova Odessa/ SP: Instituto plantarum, 2019.

SOUZA, M. P.; VEROLA, C. F.; SILVA, S. R.; ZAPPI, D. C.; SOUZA, E. H.; MORAES, E. M.; TAYLOR, N. P.; AONA, Y. S. Pollen-feeding bees in *Uebelmannia pectinifera* subsp. *pectinifera* reproductive biology of an endemic cactus from the *campo rupestre* of eastern Brazil. **Nordic Journal of Botany**, v. 39, 2021.

STEVENS, P. F. Angiosperm Phylogeny Website. Version 14. **University of Missouri**, St. Louis, MO. 2018. Disponível em: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>. Acesso em: 20 Ago. 2021.

TAYLOR, N. P.; ZAPPI, D. C. **Cacti of Eastern Brazil**. Rio de Janeiro: Royal Botanic Gardens, Kew, 2004.

TEIXEIRA, V. D.; VEROLA, C. F.; COSTA, I. R. da.; ZAPPI, D.C.; COSTA, G. M. da.; SILVA, S. R.; COSTA, M. A. P. C.; AONA, L. Y. S. Investigating the floral and reproductive biology of the endangered microendemic cactus *Uebelmannia buiningii* Donald (Minas Gerais, Brazil) **Folia Geobotanica**, v. 53, p. 227-239, 2018.

TORRES, V. S. Abelhas e cactáceas na região de Águas Claras, Município de Viamão-RS. **Bioscience**, v. 8, n.1, p. 112-121, 2019.

VARASSIN, I. G.; NETO, L. P. A. Atrativos. In: RECH, A. R.; AGOSTINI, K.; OLIVEIRA, P. E.; MACHADO, I. C. **Biologia da polinização**. Rio de Janeiro: Projeto cultural, 2014, p. 153-167.

VELÁZQUEZ, C. A.; CARRASCO, R. S.; VÁSQUEZ, S. S. Biología reproductiva de la subfamilia Cactoideae (Cactaceae). **Cactáceas y Suculentas Mexicanas**, v. 61, p. 100-127, 2016.



VIEIRA, M. F.; FONSECA, R. S. **Biologia reprodutiva em Angiospermas**. Viçosa: UFV, 2014.

ZAPPI, D. C.; SILVA, S. R.; TAYLOR, N. P.; MACHADO, M. **Plano de ação Nacional para conservação de Cactáceas**. 1 ed. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2011.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N. P. Flora das Cangás da Serra dos Carajás, Pará, Brasil: Cactaceae. **Rodriguésia**, v. 68, n. 3 (Especial), p. 925-929, 2017.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N. *Cactaceae in Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB70>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ZILLER, S. R.; GALVÃO, F. A degradação da estepe gramíneo-lenhosa no Paraná por contaminação biológica de *Pinus elliottii* e *P. taeda*. **Floresta**, v. 32, n. 1, p. 41-47, 2002.