



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE BIOCÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL

JOSEFA RODRIGUES CARNEIRO

**SOB AS LUZES DA CIDADE: EFEITO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NA  
POLINIZAÇÃO POR MORCEGOS EM *CRATEVA TAPIA* L. (CAPPARACEAE)**

Recife-PE

2022

JOSEFA RODRIGUES CARNEIRO

**SOB AS LUZES DA CIDADE: EFEITO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NA  
POLINIZAÇÃO POR MORCEGOS EM *CRATEVA TAPIA* L. (CAPPARACEAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Biociências da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Biologia Vegetal

**Área de concentração:** Ecologia e Conservação  
**Linha de pesquisa:** Ecologia de Populações e Comunidades

Orientadora: Dra. Isabel Cristina Sobreira Machado

Coorientador: Dr. Arthur Domingos de Melo

Recife-PE

2022

Catálogo na Fonte:  
Bibliotecária Natália Nascimento, CRB4/1743

Carneiro, Josefa Rodrigues.

Sob as luzes da cidade: efeito da iluminação artificial na polinização por morcegos em *Crateva Tapia* L. (Capparaceae). / Josefa Rodrigues Carneiro. – 2022.

85 f. : il., fig.; tab.

Orientadora: Isabel Cristina Sobreira Machado.

Coorientador: Arthur Domingos de Melo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia vegetal, 2022.

Inclui referências.

1. Ecologia urbana. 2. Poligomonocia. 3. Quiropterofilia. 4. Recurso floral. I. Machado, Isabel Cristina Sobreira. (orient.). II. Melo, Arthur Domingos de. (Coorient.). III. Título.

587

CDD (22.ed.)

UFPE/CB – 2023-099

JOSEFA RODRIGUES CARNEIRO

**SOB AS LUZES DA CIDADE: EFEITO DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NA  
POLINIZAÇÃO POR MORCEGOS EM *CRATEVA TAPIA* L. (CAPPARACEAE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Biociências da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Biologia Vegetal.

Aprovada: 30/08/2022

**BANCA EXAMINADORA**

.....  
Dra: Isabel Cristina Sobreira Machado (orientadora) - UFPE

.....  
Dra: Annelise Frazão Nunes (1º titular) – USP

.....  
Dr: Natan Messias de Almeida (2º titular) -UNEAL

.....  
Dra: Jarcilene Silva Almeida (Suplente interna) - UFPE

.....  
Dra: Tarcila Correia de Lima Nadia (Suplente externa) – CAV/UFPE

### **Dedico**

Aos meus pais, Luiz e Severina, por sempre acreditarem em mim, e por todo esforço para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos meus amigos que ajudaram, direta ou indiretamente, para que este trabalho fosse realizado.

Aos pesquisadores brasileiros (as), que mesmo com pouco investimento e apoio, realizam ótimas pesquisas.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho, e para a minha formação acadêmica!

A Deus, o qual nos momentos difíceis foi minha fonte de força e sabedoria.

À minha orientadora, Isabel Machado pela oportunidade, e por me acolher no seu grupo de pesquisa, pela paciência, ensinamentos e dedicação na condução deste trabalho. Por ser um exemplo e inspiração para mulheres pesquisadoras.

Ao meu coorientador (Cori-amigo) Arthur Domingos-Melo por toda ajuda e apoio em campo. Pela paciência, dedicação e incentivo para que este trabalho fosse realizado. Agradeço pelos conselhos e por compartilhar momentos de alegria. Por ser um exemplo de pesquisador.

Ao meu amigo Nando, pela amizade, por toda ajuda durante todo o meu mestrado, em campo e no laboratório. Obrigada por compartilhar seus conhecimentos sobre os bats. E por compartilhar momentos de alegria durante as noites de campo e no laboratório. Agradeço por me acolher, pelo carinho e atenção.

Aos meus amigos, Carol (Kerooon) e Sandro pela amizade, por toda ajuda em campo, por todo incentivo. Obrigada, por carregar a escada (kkk), por compartilhar momentos de alegria durante as noites de campo e no laboratório.

Aos professores do Programa por todo os ensinamentos compartilhados durante as disciplinas.

Aos meus colegas do laboratório de Biologia Floral e Reprodutiva, Charlane, Karine Isadora, Vitória, Cristina, Taty, Luciana, Jeniffer, Liedson, Bella, Dayanne, Nando, Bruna, Sandro e Carol, por compartilhar momentos de alegria e conhecimento nas reuniões semanais.

Aos meus colegas de turma de mestrado por toda ajuda nas disciplinas, em especial a Letícia, Rafaella, Daianne e Yeison.

A minha professora querida Zelma Quirino, por toda ajuda, conselhos e incentivo durante toda minha vida acadêmica. A senhora foi muito importante para que eu chegasse até este momento.

Agradeço a minha família em especial aos meus pais, Luís Carneiro e Severina Rodrigues, por me apoiar e incentivar, e principalmente por acreditar em mim, mesmo nos momentos que duvidei da minha própria capacidade.

A família de Jasmiel Carneiro por toda ajuda e incentivo durante toda a minha formação acadêmica.

A minha família de Recife, Geogiany, dona Geoavana, Geociano e seu Fernando (In Memoriam) por me acolher e pelo carinho. Obrigada por me deixar fazer parte da família de vocês.

Aos meus amigos Maria Alinny e Fabrício Ferreira por todo incentivo e carinho durante minha vida acadêmica.

A Leticia Andrade por toda ajuda durante todo o meu mestrado, pelo incentivo, carinho e amizade.

Agradeço a todos os amigos que fiz em Recife, em especial a Agnes, Wanessa, Vinicius e Adrian (In Memoriam) agradeço por todo carinho e incentivo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco.

“O sonho é que leva a gente para a frente. Se a gente for seguir a razão, fica aquietado, acomodado.” Ariano Suassuna.

## RESUMO

Compreender a biologia reprodutiva das angiospermas é determinante para garantir sua conservação, inclusive em áreas urbanas que proporcionam condições favoráveis para ocorrência de interações planta-animal. O aumento da iluminação artificial nos centros urbanos pode afetar os polinizadores noturnos, mas desconhece-se como esse efeito incide sobre morcegos polinizadores. Aqui investigamos o sistema de polinização de *Crateva tapia* (Capparaceae) em área urbana e testamos como a luz artificial e a área da copa das árvores afetam a frequência dos visitantes florais. No primeiro capítulo, descrevemos a biologia floral de *C. tapia* e sua polinização por morcegos, investigando aspectos da fenologia, sequência de antese, morfologia, sistema sexual, sistema reprodutivo, sinalização (voláteis e refletância espectral das estruturas florais), frequência e comportamento de visitantes. No segundo capítulo, testamos o efeito da iluminação artificial e área da copa das árvores nessa interação, através do monitoramento da frequência de visitas em indivíduos sob diferentes condições de iluminação. *Crateva tapia* apresenta um único ciclo reprodutivo anual. Suas flores são poligomonóicas, emitem majoritariamente (E)- $\beta$ -Ocimene e Álcool benzílico como compostos voláteis e apresentam pico de reflectância na faixa do verde-amarelo. Registramos polinização por duas espécies de morcegos, *Glossophaga soricina* e *Phyllostomus discolor*. Os valores da quantidade de iluminação variaram mais dentro de um mesmo indivíduo do que entre a população. A visitação por morcegos em *C. tapia* não foi afetada pela iluminação, mas a área da copa aumenta positivamente sua frequência. Nossos resultados reforçam a importância de preservar grandes árvores nas cidades como fontes de alimento para morcegos nectarívoros, mesmo em ambientes com bastante luz.

Palavras-chave: Ecologia urbana; Poligomonoiccia; Quiropterofilia, Recurso floral

## ABSTRACT

Understanding the reproductive biology of Angiosperms is crucial to ensure their conservation, even in urban areas that provide favorable conditions for the occurrence of plant-animal interactions. The increase of artificial lighting in urban centers can affect nocturnal pollinators. However, it is uncertain how pollinating bats are responding to these changes. We investigate the pollination system of *Crateva tapia* in an urban area and test how artificial light and tree canopy area affect the frequency of floral visitors. In the first chapter, we describe its floral biology and pollination, investigating aspects of phenology, anthesis sequence, floral morphology, sexual and reproductive system, signaling (volatiles and spectral reflectance of floral structures), frequency and visitor behavior. In the second chapter, we tested the effect of artificial lighting on this interaction by monitoring the frequency of visits in individuals under different lighting conditions. *Crateva tapia* is polygomoecious and has a single annual reproductive cycle. Its flowers emit mostly (E)- $\beta$ -Ocimene and Benzyl Alcohol as volatile compounds and show a reflectance peak in the green-yellow range. We recorded pollination by the bats *Glossophaga soricina* and *Phyllostomus discolor*. The values of the amount of illumination varied more within the same individual than among the population. Visitation by bats in *C. tapia* was not affected by lighting, but the canopy area positively increases its frequency. Our results reinforce the importance of preserving large trees acting in cities as food sources for nectarivorous bats, even in bright environments.

Keywords: Urban ecology; Poligomoecy; Chiropterophily; Floral resource.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

- Figura 1** Mapa de localização do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco. Os pontos em verdes no mapa representam os indivíduos de *Crateva tapia*. 40
- Figura 2** Fenologia da população (=12) de *Crateva tapia* no *campus* da Universidade Federal de Pernambuco. A – Índice de Intensidade de Fournier. B- Índice de sincronia da população. C- Data média da fenofase de floração. D- Data média da fenofase de frutos imaturos. E- Data média da fenofase de frutos maduros 45
- Figura 3** (A) Inflorescência de *Crateva tapia*. (B) desenvolvimento das flores de *Crateva tapia*. (C) Flor hermafrodita (AD= androceu, GN= gineceu, PG=pétala grande e PP= pétala pequena). (D)- Flor estaminada (AD= androceu, GNF= gineceu não funcional, PG=pétala grande e PP= pétala pequena). (E) Flor pistilada (GN= gineceu, PG=pétala grande e PP= pétala pequena). (F) PCA dos verticilos reprodutivos e vegetativos da população. G- Proporção dos três morfos (hermafroditas, estaminadas e pistiladas) da população de *Crateva tapia* do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco 47
- Figura 4** Espectro de cores refletidas das estruturas florais (pétala, botão e filete) e de folhas de indivíduos de *Crateva tapia* do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco-Recife 51
- Figura 5** Características do néctar das flores (n= 27) de indivíduos (n= 3) de *Crateva tapia* do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco. (A e B) Volume, (C e D) concentração de açúcar e (E e F) produção de açúcar. 52
- Figura 6** Distribuição do total de visitas nos entre 18h e 22h quatro horários de observação às flores de *Crateva tapia* da população do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco 53
- Figura 7** A) *Glossophaga soricina* visitando flores de *Crateva tapia* e B) *Phyllostomus discolor* visitando flores de *Crateva tapia* no *campus* Recife da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil 54

## LISTA DE TABELAS

### CAPITULO 1

- Tabela 1** Análise circular das fenofases de floração, frutos imaturos e maduros da população de *Crateva tapia* do *Campus* da Universidade Federal de Pernambuco-Recife de setembro de 2020 a agosto de 2021. 46
- Tabela 2** Resultados da PC1 e PC2 dos verticilos reprodutivos e vegetativos n=10 da população de *Crateva tapia* do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco. Medidas realizadas em centímetros 47
- Tabela 3** Medidas dos verticilos reprodutivos e vegetativos da população de *Crateva tapia* do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco. Medidas realizadas em centímetros. 49
- Tabela 4** Quantidades relativas médias de compostos primários (> 1%) nas amostras de headspace de flores (N=5) de *Crateva tapia* (Capparaceae). Os voláteis são listados de acordo com a classe de substância (sensu Knudsen et al. 2006) e índice de retenção linear (LRI), calculado a partir dos tempos de retenção (TR) em relação aos de uma série de alcanos separados em uma coluna capilar DB-5 não polar. 50
- Tabela 5** Sistema reprodutivo da população (n=3) de *Crateva tapia* do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco 54

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

- Figura 1** Localização do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco em Recife – PE- Brasil, com os indivíduos estudados de *Crateva tapia* plotados em verde e os postes de iluminação artificial em amarelo 71
- Figura 2** A) Indivíduo de *Crateva tapia* (Capparaceae) no *campus* da Universidade Federal de Pernambuco com copa cujo os lados estão sob diferentes condições de luz; (B) Esquema ilustrando como foram mensuradas a área da copa (preenchimento amarelo), divisão entre os lados da copa (linha preta tracejada) e locais de onde foram obtidas as medidas de iluminação (estrelas); (C) inflorescências de *Crateva tapia* são distribuídas uniforme sobre a copa 72
- Figura 3** (A) Variação da iluminação dentro e entre os indivíduos de *Crateva tapia* no *campus* da Universidade Federal de Pernambuco. (B) Visita de morcego nectarívoro especializado a uma inflorescência. (C) Gráficos de dispersão da taxa de visitas dos morcegos em relação a iluminação e (D) área da copa dos indivíduos. 76

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

- Tabela 1** Dados de iluminação, área da copa e taxa de visitas por noite, obtidos dos indivíduos de *Crateva tapia* (Capparaceae) estudados no campus da Universidade Federal de Pernambuco em Recife – PE- Brasil. 77

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>16</b>
<b>3 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>28</b>
<b>4 MANUSCRITO 1: .....</b>	<b>35</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	38
4.1.1 Material e métodos .....	39
4.1.1.1 Resultados.....	44
4.1.1.1.1 Discussão.....	55
4.1.1.1.1.1 <i>Referências</i> .....	58
<b>5 MANUSCRITO 2:.....</b>	<b>66</b>
5.1 INTRODUÇÃO.....	69
5.1.1 Material e métodos.....	71
5.1.1.1 Resultados.....	74
5.1.1.1.1 Discussão.....	77
5.1.1.1.1.1 <i>Conclusão</i> .....	79
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>80</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As infraestruturas verdes como parques, avenidas, ruas e vias proporcionam condições para que ocorram processos ecológicos como interação planta-animal (Llodrà-Llabrés & Cariñanos 2022), destacando-se a polinização que é essencial para a conservação e manutenção da biodiversidade local (Maroja et al., 2018). As espécies vegetais inseridas nesses ambientes oferecem condições e recursos florais para diferentes polinizadores (Nascimento et al., 2020), entre os quais os polinizadores noturnos como esfingídeos e morcegos (Paul, 2021; Albuquerque-Lima et al., 2022). Contudo, o processo de urbanização, associado à iluminação artificial tem impacto no declínio dos polinizadores (Wenzel et al., 2020).

Os morcegos são animais noturnos que estão presentes em ambientes urbanos (Nunes et al., 2017), portanto, estão sujeitos à iluminação artificial, diante da qual podem reagir de diferentes formas (positivas, negativas) (Stone et al., 2015). Os morcegos polinizadores são eficientes vetores de pólen, que se deslocam a longas distâncias (Fleming et al., 2009). Em ecossistemas urbanos, seria esperado que esse comportamento garantisse o sucesso reprodutivo de espécies vegetais por propiciar a manutenção do fluxo gênico (Mantovani et al., 2003). No entanto, o estudo de Diniz et al., (2019a) demonstrou que os morcegos promovem o fluxo polínico de forma muito limitada em área urbana. Portanto, compreender quais as estratégias apresentadas pelas espécies quiropterófilas (polinizadas por morcegos) para aumentar a atração desses animais, bem como o comportamento apresentado pelos morcegos durante suas visitas às flores e sua interação é importante para verificar até que ponto o processo de urbanização pode interferir na eficiência da polinização (Gómez-Baggethun et al., 2013).

Neste contexto, uma vez que os morcegos têm grande importância na polinização noturna (Fleming et al., 2009; Ollerton et al., 2011), essa dissertação objetiva estudar uma espécie quiropterófila amplamente usada na arborização urbana, visando entender alguns impactos da urbanização sobre esse sistema. No primeiro capítulo investigamos o sistema de polinização de *Crateva tapia* (Capparaceae) em área urbana. Foi nosso objetivo entender sua fenologia, biologia floral e reprodutiva, bem como descrever sua interação com morcegos polinizadores. No segundo capítulo, o objetivo foi investigar se a cobertura vegetal (aqui acessada como área da copa) e a iluminação artificial afetam a frequência de visitas às flores de *C. tapia*.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **Polinização por morcegos**

Aproximadamente 94% das espécies vegetais de comunidades localizadas nos trópicos são polinizadas por animais (Ollerton et al., 2011). Esses agentes são essenciais para propiciar a transferência dos grãos de pólen (gametófitos masculinos) para o estigma da mesma flor ou para flores de outros indivíduos coespecíficos. Essa interação é importante pois garante a reprodução das plantas, a manutenção da biodiversidade e o funcionamento dos ecossistemas (Jordano et al., 2003).

As abelhas são as principais representantes dos invertebrados que atuam como agentes polinizadores (Bawa et al., 1985). Para o grupo dos vertebrados, as aves polinizam 5% da flora, e, entre os mamíferos, os morcegos se destacam como polinizadores de cerca de 4% das angiospermas (Bawa et al., 1985), estando relacionados a aproximadamente 528 espécies distribuídas em 67 famílias de Angiospermas (Ratto et al., 2018).

Os morcegos pertencem a ordem Chiroptera com mais de 1300 espécies, sendo a segunda maior ordem da classe dos mamíferos com cerca de 20% das espécies. Apresentam diversas formas de alimentação que envolvem desde insetívoros e frugívoros até nectarívoros especializados (Taylor & Tuttle, 2019). Os morcegos nectarívoros especializados ocorrem em duas famílias: Pteropodidae, com distribuição na África, Ásia e leste da Austrália, e Phyllostomidae (morcegos com nariz de folha), com distribuição nas Américas (Fleming et al., 2009; Taylor & Tuttle, 2019). Dentre esses últimos destacam-se as subfamílias Glossophaginae e Lonchophyllinae que são especializados para alimentação de néctar apresentando características como a capacidade de voo pairado, várias adaptações morfológicas como rosto alongado e fino (facilitando sua inserção no interior de flores) e língua longa com papilas retráteis ou sulcos laterais e denteção reduzida (que possibilitam complexos mecanismos para consumo do néctar) (Fleming et al., 2009). Eles são considerados vetores bióticos de polinização com capacidade de transportar grandes cargas de pólen e com deslocamento amplo, o que facilita a distribuição do pólen a longas distâncias (Endress, 1994; Fleming et al., 2009).

As flores que se enquadram na síndrome de polinização por morcegos (quiropterofilia) possuem morfologia e atributos que estão relacionados a atração dos

morcegos e encaixe morfológico aos mesmos, como flores de cores claras, antese noturna ou crepuscular, emissão de odor forte e geralmente desagradável, além de uma grande quantidade de néctar com baixa concentração de açúcares (Faegri & Pijl, 1979; Fleming et al., 2009; Amorim et al., 2013). Em espécies quiropterófilas, de forma geral, as flores são geralmente livres ou distanciadas da folhagem e com fácil acesso (Tschapka & Dressler, 2002). A acessibilidade e a exposição floral são importantes para a ocorrência de interações nesse sistema de polinização (Diniz et al., 2019b). Por exemplo, Muchhala (2003) observou que as flores de *Burmeistera cyclostigmata* Donn.Sm. (Campanulaceae) não eram acessíveis, e, desta forma, isso afetou negativamente as visitas dos morcegos e, conseqüentemente, a deposição polínica.

As espécies quiropterófilas ocorrem tanto nos Neotrópicos como nos Paleotrópicos (Fleming et al., 2009), apresentando com maior frequência o hábito arbóreo, mas também ocorrendo em espécies arbustivas, trepadeiras e herbáceas (Machado et al., 1998; Diniz et al. 2019). Esse sistema de polinização é registrado e estudado em diferentes famílias botânicas, níveis taxonômicos e ambientes (Heithaus et al., 1974; Locatelli et al., 1997; Sazima & Sazima, 1978; Sazima et al., 1999; Tschapka & Dressler, 2002; Fleming & Muchhala, 2008; Fleming 2009; Queiroz et al., 2016; Domingos-Melo et al., 2020; 2021; Mena et al., 2022; Dzul-Cauich & Munguía-Rosas 2022).

### **Polinização em áreas urbanas e polinização por morcegos em ecossistemas urbanos**

As áreas verdes urbanas são espaços abertos (como parques, praças, vias públicas) que estão inseridos nas cidades, apresentando uma cobertura vegetal composta por árvores, arbustos e herbáceas (Conama, 2006). Esses ambientes são habitats favoráveis ao estabelecimento da vegetação e, por consequência, da fauna presente nos ecossistemas urbanos (Maroja et al., 2020).

Além de contribuir com a cobertura vegetal, as áreas verdes disponibilizam condições e recursos para que ocorram os processos ecológicos de interação planta-animal, como a polinização (Mendonça & Anjos, 2005). A polinização em áreas urbanas tem sido investigada com distintos agentes polinizadores como as abelhas (Bates et al., 2011; Aleixo et al., 2014), aves (Previatto et al., 2013; Silva, 2018; Silva et al., 2020) e morcegos (Martins & Gribel, 2007; Diniz et al., 2019a; Albuquerque-Lima et al., 2022). Estudar a polinização em ambiente urbano é importante para verificar e entender quais

condições afetam diretamente as interações ocorrentes entre plantas e polinizadores locais (Harrison & Winfree, 2015).

Além dos registros em áreas naturais a quiropterofilia tem sido reportada também em ambientes urbanos (Gribel *et al.*, 1999; Machado *et al.*, 2006; Pedrozo *et al.*, 2018; Chaiyarat, 2019; Albuquerque-Lima *et al.*, 2022). A flora em área urbana é formada em sua maioria por espécies introduzidas (Gaertner *et al.*, 2017), o que pode resultar em uma menor diversidade de espécies nativas. Aproximadamente 12% das espécies arbóreas de algumas áreas urbanas de Recife são polinizadas por morcegos (Oliveira *et al.*, 2020). Com isso, as espécies quiropterófilas como *Crescentia cujete* L. são consideradas fonte de recursos para os morcegos urbanos, ofertando néctar ao longo do ano (Albuquerque-Lima *et al.*, 2022).

Apesar dos morcegos serem eficientes vetores de pólen (Endress, 1994), foi observado que, em área urbana, eles promovem o fluxo polínico em baixa intensidade e curtas distância (Diniz *et al.*, 2019a). Até o momento, as causas específicas dessa diferença no comportamento dos morcegos permanecem desconhecidas. É possível que isso seja devido a respostas às mudanças ambientais promovidas pela urbanização, dentre as quais podemos sugerir a presença de luz artificial (Stone *et al.*, 2015).

### **Iluminação artificial x Efeito no comportamento de morcegos**

Os estudos realizados em áreas urbanas têm evidenciado que o crescimento desordenado da urbanização, associado ao aumento da iluminação artificial à noite (daqui pra frente: ALAN) (Straka *et al.*, 2019, Jung & Threlfall, 2016), podem ter efeitos no funcionamento do ecossistema e nas interações planta-animal (Sanders & Gaston, 2017). A iluminação artificial na interação planta-animal provoca diferentes respostas nos sistemas de polinização noturnos, as quais podem ser positivas (Macgregor *et al.*, 2019) ou negativas (Macgregor *et al.*, 2017; Van-Langevelde *et al.*, 2017). Macgregor *et al.*, (2019) testaram se a presença da iluminação artificial durante a noite inteira (FN) ou parte da noite (PN), ou no controle (sem iluminação), poderia afetar o sucesso reprodutivo e a qualidade da polinização em *Silene latifolia* (Mill.) EHL Krause (Caryophyllaceae), uma espécie polinizada por mariposa. Ao contrário do que era esperado, as flores sob iluminação FN obtiveram maior sucesso reprodutivo do que as flores sob iluminação PN ou em condições de controle.

As respostas dos polinizadores noturnos à iluminação artificial também podem ser negativas, como demonstrado no trabalho de Knop et al. (2017), no qual a iluminação causou uma redução na frequência de visitas de 62% da comunidade de polinizadores noturnos nas plantas que estavam próximas à iluminação artificial, quando comparado às áreas escuras. Foi observado também que a espécie *Cirsium oleraceum* (L.) Scop (Asteraceae) apresentou uma redução de 13% na frutificação dos indivíduos sob iluminação.

A iluminação artificial pode afetar não apenas as interações noturnas, mas também a interação planta-animal diurna. Foi relatado que 19% das espécies apresentaram uma redução no número de interações (Giavi et al., 2021). No entanto, o efeito da iluminação é específico em cada planta, sugerindo que causas indiretas podem levar a diferentes alterações, como por exemplo, mudanças nas características dos traços florais. Entretanto são necessários mais estudos para confirmar essas alterações (Giavi et al., 2021).

Os morcegos são animais noturnos também encontrados em ambientes urbanos (Nunes et al., 2017). Desta forma, a exposição direta a iluminação artificial pode levar os morcegos a diferentes respostas. Porém, tais respostas são espécie-específicas (Stone et al., 2015), pois ocorrem de forma particular para cada táxon, variando de acordo com o seu forrageamento e suas estratégias (Jones & Rydell, 1994). Essas respostas podem ser influenciadas também pelas características espectrais da luz produzida no local (Rowse et al., 2016) e a intensidade luminosa (Rowse et al., 2018). Algumas espécies de morcegos possuem fotorreceptores sensíveis a ultravioleta (UV), podendo usar esse atributo em seu próprio benefício, orientando-se visualmente e detectando flores caso estas sejam refletoras de UV (Muller et al., 2009). Por sua vez, no trabalho realizado por Domingos-Melo et al. (2021) em área de Caatinga, em espécies quiropterófilas como *Ceiba glaziovii* (Kuntze) K. Schum foi observado que a reflectância de UV é um atributo incomum.

A morfologia e as adaptações do voo de cada espécie podem também influenciar nas respostas dos morcegos à iluminação (Stone et al., 2015). Espécies que apresentam asas mais longas, voo mais rápido e um sistema de ecolocalização de longo alcance, como *Eptesicus nilssoni* (Keyserling & Blasius, 1839), *Nyctalus noctula* (Schreber, 1774) e *Vespertilio murinus* Linnaeus, 1758, podem apresentar maior adaptação e tolerância à iluminação (Rydell, 1991; 1992). Já as espécies que exibem um voo mais lento como às

do gênero *Myotis* são intolerantes à luz devido a exposição aos predadores e consequente aumento do risco de predação (Rydell, 1992; Jones & Rydell, 1994).

Alguns estudos mostram que algumas espécies de morcegos insetívoros mantêm uma relação de tolerância à iluminação artificial (Rydell 1991; 1992; Azam et al., 2018). Entretanto, essa relação pode variar a partir das características espectrais das lâmpadas. Lewanzik & Voigt (2017) observaram que a mudança das lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão (MV) para *Light Emitting Diode* (LED) provocou uma redução de 45% no período de atividade da espécie *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774). Essa redução da atividade pode estar relacionada à atração dos insetos a lâmpadas de MV, tendo em vista que esse tipo de lâmpada emite onda no comprimento ultravioleta (Elvidge et al., 2010). Por sua vez, a mudança no tipo de lâmpada não afetou o período de atividade de espécies como *P. nathusii* (Keyserling & Blasius, 1839), *P. pygmaeus* (Leach, 1825). Para as espécies do gênero *Myotis*, a mudança das lâmpadas de MV para LED teve um efeito positivo, aumentando o período de atividade dos morcegos próximos às fontes de luz (Lewanzik & Voigt 2017). Essa relação também pode ser influenciada pela cor da luz, como observado por Spoelstra et al. (2017), que demonstraram que as espécies dos gêneros *Plecotus* e *Myotis* evitavam as luzes brancas e verdes, mas apresentavam uma mesma abundância na luz vermelha e no escuro.

Até o momento as respostas à ALAN são negativas para espécies de morcegos frugívoros, afetando diretamente a dispersão de sementes como demonstrado por (Lewanzik & Voight (2014); Baker, Solari & Hoffmann (2002) em estudo conduzido com a espécie *Carollia sowelli* tanto em cativeiro como em habitat natural. Em ambos experimentos os morcegos coletaram mais frutos de *Piper sancti-felices* Trel (Piperaceae) em áreas escuras, em comparação às iluminadas.

Até o momento, foi realizado apenas um estudo que demonstra a relação da iluminação artificial com os morcegos nectarívoros, por Dzul-Cauich & Munguía-Rosas (2022), qual a iluminação apresentou um efeito negativo na frequência de visitas dos morcegos *Artibeus jamaicensis* Leach, 1821 e *A. lituratus* (Olfers, 1818) em flores de *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. Contudo, esse efeito no número de visitas, não afetou negativamente o sucesso reprodutivo da espécie vegetal.

Na tabela 1 estão listados os estudos que mostram a relação dos morcegos com a ALAN, evidenciando que, em sua grande maioria, foram realizados com espécies

insetívoras e frugívoras na Europa, Oceania e América do Norte, em países como, Inglaterra, Alemanha e França.

A família que apresentou maior número de estudos que mostram a relação da ALAN com os morcegos foi Vespertilionidae. Essa é a maior família dos quirópteros com 485 espécies (Taylo & Tuttlar, 2019). A espécie *Pipistrellus pipistrellus* foi a mais estudada, a qual pode ser adaptada e tolerante a iluminação artificial (Lewanzik & Voigt 2017). Ao longo do tempo os estudos que demonstram a relação da ALAN com os morcegos vêm crescendo, embora a maioria dos trabalhos tenham sido desenvolvidos na Europa com espécies insetívoras (Russo et al., 2019; Rowse et al., 2018). Apesar da importância dos morcegos nectaríferos na polinização e na manutenção da biodiversidade (Fleming et al., 2009), na polinização de espécies de importância econômica (Ollerton et al., 2011) e para as espécies de áreas verdes e fragmentos urbanos (Harrison & Winfree, 2015) ainda são poucos os estudos envolvendo esse grupo de morcegos.

Tabela 1: estudos que mostram a relação da iluminação artificial com os morcegos.

Família/espécie	Características espectrais das lâmpadas	Continente/País	Guilda	Efeito da iluminação (Tolerantes a luz/Não tolerantes)	Referência
<b>Vespertilionidae</b> <i>Eptesicus nilssonii</i> (Keyserling & Blasius, 1839) /		Europa/ Suécia	Insetívoro	Tolerante	Rydel, 1991
<b>Molossidae</b> <i>Austronomus australis</i> (J.E. Gray, 1838) <i>Ozimops planiceps</i> (Peters, 1866) <i>Ozimops ridei</i> (Felten, 1964) <b>Vespertilionidae</b> <i>Chalinolobus gouldii</i> (J.E. Gray, 1841) <i>Chalinolobus morio</i> (Gray, 1841) <i>Scotorepens balstoni</i> (Thomas, 1906)	Light Emitting Diode- LED Branca	Oceania/ Austrália	Insetívoro	Não tolerante/ negativa Apenas uma espécie demonstrou relação positiva ( <i>A. australis</i> )	Bhardwaj et al., 2020

<i>Vespadelus darlingtoni</i> (Allen, 1933) <i>Vespadelus regulus</i> (Thomas, 1906) <i>Vespadelus vulturnus</i> (Thomas, 1914)						
<b>Phyllostomidae</b> <i>Carollia sowelli</i> Baker, Solari & Hoffmann, 2002 /	Sódio de alta pressão	América do Norte/Costa Rica	Frugívoro	Não tolerante/negativa	Lewanzik & Voigt, 2014	
<b>Vespertilionidae</b> <i>Pipistrellus pipistrellus</i> (Schreber, 1774) <i>Pipistrellus Kuhlii</i> (Kuhl, 1817) <i>Pipistrellus pygmaeus</i> (Leach, 1825). <i>Pipistrellus nathusii</i> (Keyserling & Blasius, 1839). <i>Hypsugo savii</i> (Bonaparte, 1837). <i>Eptesicus serotinus</i> (Schreber, 1774). <i>Nyctalus leisleri</i> (Kuhl, 1817). <i>Myotis daubentonii</i> (Kuhl, 1817) <i>Myotis emarginatus</i> (E.Geoffroy, 1806) <i>Myotis nattereri</i> (Kuhl, 1817)	high-pressure sodium (HPS) e LED	Europa/França	Insetívoro	Negativa e positiva	Pauwels et al., 2021	
<b>Rhinolophidae</b> <i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein, 1800) <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> . (Schreber, 1774)						

<b>Miniopteridae</b> <i>Miniopterus schreibersii</i> (Natterer, 1819) <b>Molossidae</b> <i>Tadarida teniotis</i> (Rafinesque, 1814)						
<b>Vespertilionidae</b> <i>Pipistrellus pipistrellus</i> <i>Eptesicus serotinus</i> <i>Nyctalus leisleri</i> (Kuhl, 1817) <i>Pipistrellus nathusii</i> <i>Nyctalus noctula</i> . (Schreber, 1774) <i>Myotis</i> sp <i>Nyctalus</i> sp	High-pressure sodium (HPS)	Europa/França	Insetívoro	Negativa e positiva	Azam et al.,2018	
<b>Vespertilionidae</b> <i>Pipistrellus pipistrellus</i> , <i>P. nathusii</i> , <i>P. pygmaeus</i> <i>Nyctalus noctula</i> <i>Eptesicus</i> spp. <i>Vespertilio murinus</i> <i>Nyctalus</i> spp <i>Myotis</i> sp	High UV (Mercury vapor) e LED	Europa/Alemanha	Insetívoro	Negativa e positiva	Straka et al.,2019	
<b>Emballonuridae</b> <i>Diclidurus albus</i> Wied-Neuwied, 1820 <b>Vespertilionidae</b>	(Vapor de mercúrio) e LED	América do Norte/Costa Rica	Insetívoro	Positiva e negativa	Frank et al.,2018	



<i>C. morio</i>							
<b>Rhinolophidae</b> <i>Rhinolophus megaphyllus</i> ,							
<b>Miniopteridae</b> <i>Miniopterus australis</i> (Tomes, 1858) <i>Miniopterus schreibersii</i> oceanensis							
<b>Molossidae</b> <i>Mormopterus ridei</i>							
<b>Rhinolophidae</b> <i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein, 1800)	high-pressure sodium (HPS)	Europa/Inglaterra	Insetívoro			Negativa	Stone et al.,2009
<b>Vespertilionidae</b> <i>P. pipistrellus</i> <i>P. nathusii</i> <i>P. pygmaeus</i> <i>Barbastella barbastellus</i> (Schreber, 1774) <i>Vespertilio murinus</i> Linnaeus, 1758 <i>Nyctalus/Eptesicus/Vespertilio</i> SSP <i>Myotis</i> ssp	vapor de mercúrio (MV) LED	Europa/Alemanha	Insetívoro			Positiva e negativa	Lewanzik & Voigt 2017
<b>Phyllostomidae</b> <i>Artibeus lituratus</i> (Olfers, 1818) <i>Artibeus jamaicensis</i> Leach, 1821	Sódio de Baixa Pressão (LPS) e Sódio em Alta Pressão (HPS)	América do Sul/Venezuela	Frugívoro			Negativa	Hoyos-Diaz et al.,2018
<b>Vespertilionidae</b> <i>P. kuhlii</i>		Ásia/Israel	Insetívoro			Negativa	Polak et al.,2011

<i>Eptesicus bottae</i> (Peters, 1869)							
<b>Vespertilionidae</b> <i>Pipistrellus pipistrellus</i> <i>Myotis</i> ssp	LED		Europa/Inglaterra	Insetívoro	Positiva/negativa	Rowse et al.,2018	
<b>Vespertilionidae</b> <i>Pipistrellus pipistrellus</i> <i>Pipistrellus kuhlii</i> <i>Pipistrellus pygmaeus</i> <i>Myotis daubentoniid</i> (Kuhl, 1817) <i>Myotis</i> ssp <i>Hypsugo savii</i> (Bonaparte, 1837) <i>Barbastella barbastellus</i> . (Schreber, 1774)	LED		Europa/Itália	Insetívoro	Negativa/positiva	Russo et al.,2019	
<b>Molossidae</b> <i>Tadarida teniotis</i> (Rafinesque, 1814)							
<b>Rhinolophidae</b> <i>Rhinolophus hipposideros</i>							
<i>Artibeus jamaicensis</i> e <i>A. lituratus</i>	LED		América do Norte/ México	Nectarívoro	negativa	Dzul-Cauich & Munguía-Rosas 2022	

## Referências

- Albuquerque-Lima, S., Diniz, U. M. & Machado, I. C. (2022). A nectar oasis for urban Glossophaginae bats: Temporal resource dynamics of the chiropterophilous *Crescentia cujete* (Bignoniaceae). *Urban Forestry & Urban Greening*. 67, 127412.
- Aleixo, K. P., de Faria, L. B., Groppo, M., do Nascimento Castro, M. M., & da Silva, C.I. (2014). Spatiotemporal distribution of floral resources in a Brazilian city: Implications for the maintenance of pollinators, especially bees. *Urban Forestry & Urban Greening*. 13(4), 689-696.
- Amorim, F. W., Galetto, L. & Sazima, M. (2013). Beyond the pollination syndrome: nectar ecology and the role of diurnal and nocturnal pollinators in the reproductive success of *Inga sessilis* (Fabaceae). *Plant Biology*. 15(2), 317-327.
- Azam, C., Le Viol, I., Bas, Y., Zissis, G., Vernet, A., Julien, J. F. & Kerbiriou, C. (2018). Evidence for distance and illuminance thresholds in the effects of artificial lighting on bat activity. *Landscape and Urban Planning*. 175, 123-135.
- Bates, A. J., Sadler, J. P., Fairbrass, A. J., Falk, S. J., Hale, J. D., & Matthews, T. J. (2011). Changing bee and hoverfly pollinator assemblages along an urban-rural gradient. *PloS one*. 6(8), e23459.
- Bawa, K. S., Bullock, S. H., Perry, D. R., Coville, R. E., & Grayum, M. H. (1985). Reproductive biology of tropical lowland rain forest trees. II. Pollination systems. *American Journal of Botany*. 72(3), 346-356.
- Bhardwaj, M., Soanes, K., Lahoz-Monfort, J. J., Lumsden, L. F., & Van Der Ree, R. (2020). Artificial lighting reduces the effectiveness of wildlife-crossing structures for insectivorous bats. *Journal of Environmental Management*. 262, 110313.
- Blake, D., Hutson, A. M., Racey, P. A., Rydell, J., & Speakman, J. R. (1994). Use of lamplit roads by foraging bats in southern England. *Journal of Zoology*. 234(3), 453-462.
- Chaiyarat, R., Boonma, W., & Koedrith, P. (2020). The role of pteropodid bats in pollination of durian (*Durio zibethinus*) in managed orchards in suburban habitat of Thailand. *Urban Ecosystems*. 23(1), 97-106.

Conama. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Art. 8º, § 1º, da Resolução n. 369**. 28 de março de 2006.

Diniz, U. M., Lima, S. A. & Machado, I. (2019a). Short-distance pollen dispersal by bats in an urban setting: monitoring the movement of a vertebrate pollinator through fluorescent dyes. *Urban Ecosystems*. 22(2), 281-291.

Diniz, U. M., Domingos-Melo, A. & Machado, I. C. (2019b). Flowers up! The effect of floral height along the shoot axis on the fitness of bat-pollinated species. *Annals of Botany*. 124(5), 809-818.

Domingos-Melo, A., Diniz, U. M., Chalegre, S. L. & Machado, I. C. (2021). “Sweet Rain” from Bat-Pollinated Flowers: How Does Sugar Concentration Modulate Nectar Retention? *International Journal of Plant Sciences*. 182(1), 71-77.

Domingos-Melo, A., Garcia de Brito, V. L., Sersic, A. N., Cocucci, A. A., Lunau, K. & Machado, I. C. (2021). Shining bright in the dusk: How do bat-pollinated flowers reflect light? *Ecology*. 0(0) e03416

Domingos-Melo, A., Milet-Pinheiro, P., Navarro, D. M. D. A. F., Lopes, A. V., & Machado, I. C. (2020). It's raining fragrant nectar in the Caatinga: evidence of nectar olfactory signaling in bat-pollinated flowers. *The Bulletin of the Ecological Society of America*, 101(1). e01640.

Dzul-Cauich, H. F., & Munguía-Rosas, M. A. (2022). Negative effects of light pollution on pollinator visits are outweighed by positive effects on the reproductive success of a bat-pollinated tree. *The Science of Nature*. 109(1), 1-11.

Endress, P. K. 1994. Diversity and evolutionary biology of tropical flowers. Cambridge, Cambridge University Press.

Elvidge, C. D., Keith, D. M., Tuttle, B. T. & Baugh, K. E. (2010). Spectral identification of lighting type and character. *Sensors*. 10(4), 3961-3988.

Faegri K. & L. van der Pijl. 1979. The principles of pollination ecology. London: Pergamon Press. 479p.

Fleming, T. H. & Muchhala, N. (2008). Nectar-feeding bird and bat niches in two worlds: pantropical comparisons of vertebrate pollination systems. *Journal of Biogeography*. 35(5), 764-780.

- Fleming, T. H., Geiselman, C. & Kress, W. J. (2009). The evolution of bat pollination: a phylogenetic perspective. *Annals of Botany*. 104(6), 1017-1043.
- Frank, T. M., Gabbert, W. C., Chaves-Campos, J. & LaVal, R. K. (2019). Impact of artificial lights on foraging of insectivorous bats in a Costa Rican cloud forest. *Journal of Tropical Ecology*. 35(1), 8-17.
- Gaertner, M., Wilson, J. R., Cadotte, M. W., MacIvor, J. S., Zenni, R. D., & Richardson, D. M. (2017). Non-native species in urban environments: patterns, processes, impacts and challenges. *Biological Invasions*. 19(12), 3461-3469.
- Giavi, S., Fontaine, C. & Knop, E. (2021). Impact of artificial light at night on diurnal plant-pollinator interactions. *Nature Communications*. 12(1), 1-5.
- Gribel, R., Gibbs, P. E. & Queiróz, A. L. (1999). Flowering phenology and pollination biology of *Ceiba pentandra* (Bombacaceae) in Central Amazonia. *Journal of Tropical Ecology*. 15(3), 247-263.
- Gómez-Baggethun, E., Gren, Å., Barton, D. N., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'farrell, P., ... & Kremer, P. (2013). Urban ecosystem services. In *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities* (pp. 175-251). Springer. Dordrecht.
- Haddock, J. K., Threlfall, C. G., Law, B. & Hochuli, D. F. (2019). Responses of insectivorous bats and nocturnal insects to local changes in street light technology. *Austral Ecology*. 44(6), 1052-1064.
- Harrison, T. & Winfree, R. (2015). Urban drivers of plant-pollinator interactions. *Functional Ecology*. 29(7), 879-888.
- Heithaus, E. R., Opler, P. A., & Baker, H. G. (1974). Bat activity and pollination of *Bauhinia pauletia*: plant-pollinator coevolution. *Ecology*. 55(2), 412-419.
- Hoyos-Díaz, J. M., Villalba-Alemán, E., Ramoni-Perazzi, P. & Muñoz-Romo, M. (2018). Impact of artificial lighting on capture success in two species of frugivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) in an urban locality from the Venezuelan Andes. *Mastozoología Neotropical*. 25(2), 473-478.

- Jones, G. & Rydell, J. (1994). Foraging strategy and predation risk as factors influencing emergence time in echolocating bats. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*. 346(1318), 445-455.
- Jordano, P., Bascompte, J. & Olesen, J. M. (2003). Invariant properties in coevolutionary networks of plant–animal interactions. *Ecology Letters*. 6(1), 69-81.
- Jung, K. & Threlfall, C. G. (2016). Urbanisation and its effects on bats—a global meta-analysis. In *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world* (pp. 13-33). Springer.
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M. & Fontaine, C. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*. 548(7666), 206-209.
- Lewanzik, D. & Voigt, C. C. (2014). Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk. *Journal of Applied Ecology*. 51(2), 388-394.
- Lewanzik, D. & Voigt, C. C. (2017). Transition from conventional to light-emitting diode street lighting changes activity of urban bats. *Journal of Applied Ecology*. 54(1), 264-271.
- Locatelli, E., Machado, I. C. & Medeiros, P. (1997). Floral biology and bat pollination in *Pilosocereus catingicola* (Cactaceae) in northeastern Brazil. *Bradleya*. 1997(15), 28-34.
- Llodra-Llabrés, J. & Cariñanos, P. (2022). Enhancing pollination ecosystem service in urban green areas: An opportunity for the conservation of pollinators. *Urban Forestry & Urban Greening*. 74, 127621.
- Macgregor, C. J., Evans, D. M., Fox, R. & Pocock, M. J. (2017). The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global Change Biology*. 23(2), 697-707.
- Macgregor, C. J., Pocock, M. J., Fox, R. & Evans, D. M. (2019). Effects of street lighting technologies on the success and quality of pollination in a nocturnally pollinated plant. *Ecosphere*. 10(1), e02550.
- Machado, I. C. S., Sazima, I. & Sazima, M. (1998). Bat pollination of the terrestrial herb *Irlbachia alata* (Gentianaceae) in northeastern Brazil. *Plant Systematics and Evolution*. 209(3), 231-237.
- Machado, I. C., Lopes, A. V., Leite, A.V. & Brito Neves, C. (2006). *Cleome spinosa* (Capparaceae): Polygamodioecy and pollination by bats in urban and Caatinga areas, northeastern Brazil. *Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie*. 69-82.
- Mantovani, M., Ruschel, A. R., Reis, M. S. D., Puchalski, Â. & Nodari, R. O. (2003). Fenologia reprodutiva de espécies arbóreas em uma formação secundária da floresta atlântica. *Revista Árvore*. 27, 451-458.

- Maroja, T. E., da Silva, M. A. C., de Andrade, L. K. F., & Quirino, Z. G. M. (2018). Dados preliminares de síndromes de polinização e dispersão da flora herbácea em praças do bairro Tambiá da cidade de João Pessoa, Paraíba. *Revista Brasileira de Meio Ambiente*. 4(1).
- Martins, R. L. & Gribel, R. (2007). Polinização de *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers. (Caryocaraceae) uma árvore emergente da Amazônia Central. *Revista Brasil. Botânica*. 30(1), 35-43.
- Mendonça, L. B., & Anjos, L. D. (2005). Beija-flores (Aves, Trochilidae) e seus recursos florais em uma área urbana do Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 22, 51-59.
- Muchhala, N. (2003). Exploring the boundary between pollination syndromes: bats and hummingbirds as pollinators of *Burmeistera cyclostigmata* and *B. tenuiflora* (Campanulaceae). *Oecologia*. 134(3), 373-380.
- Müller, B., Glösmann, M., Peichl, L., Knop, G. C., Hagemann, C. & Ammermüller, J. (2009). Bat eyes have ultraviolet-sensitive cone photoreceptors. *PLoS One*. 4(7), e6390.
- Nunes, H., Rocha, F. L., & Cordeiro-Estrela, P. (2017). Bats in urban areas of Brazil: roosts, food resources and parasites in disturbed environments. *Urban Ecosystem*. 20: 953–969
- Oliveira, M. T., Silva, J. L., Cruz-Neto, O., Borges, L. A., Girao, L. C., Tabarelli, M. & Lopes, A. V. (2020). Urban green areas retain just a small fraction of tree reproductive diversity of the Atlantic forest. *Urban Forestry & Urban Greening*. 54, 126779.
- Ollerton, J., Winfree, R. & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*. 120(3), 321-326.
- Paul, M. (2021). Impact of urbanization on moth (Insecta: Lepidoptera: Heterocera) diversity across different urban landscapes of Delhi, India. *Acta Ecologica Sinica*. 41(3), 204-209.
- Pauwels, J., Le Viol, I., Bas, Y., Valet, N. & Kerbiriou, C. (2021). Adapting street lighting to limit light pollution's impacts on bats. *Global Ecology and Conservation*. 28, e01648.
- Pedrozo, A. R., Gomes, L. A. & Uieda, W. (2018). Feeding behavior and activity period of three Neotropical bat species (Chiroptera: Phyllostomidae) on *Musa paradisiaca* inflorescences (Zingiberales: Musaceae). *Iheringia. Série Zoologia*. 108: e2018022
- Polak, T., Korine, C., Yair, S. & Holderied, M. W. (2011). Differential effects of artificial lighting on flight and foraging behaviour of two sympatric bat species in a desert. *Journal of Zoology*. 285(1), 21-27.
- Previatto, D. M., Mizobe, R. S. & Posso, S. R. (2013). Birds as potential pollinators of the *Spathodea nilotica* (Bignoniaceae) in the urban environment. *Brazilian Journal of Biology*. 73, 737-741.
- Queiroz, J. A., Quirino, Z. G. M., Lopes, A. V. & Machado, I. C. (2016). Vertebrate mixed pollination system in *Encholirium spectabile*: a bromeliad pollinated by bats,

opossum and hummingbirds in a tropical dry forest. *Journal of Arid Environments*. 125, 21-30.

Ratto, F., Simmons, B. I., Spake, R., Zamora-Gutierrez, V., MacDonald, M. A., Merriman, J. C., ... & Dicks, L. V. (2018). Global importance of vertebrate pollinators for plant reproductive success: a meta-analysis. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 16(2), 82-90.

Rowse, E. G., Harris, S., & Jones, G. (2016). The switch from low-pressure sodium to light emitting diodes does not affect bat activity at street lights. *PLoS One*. 11(3), e0150884.

Rowse, E. G., Harris, S. & Jones, G. (2018). Effects of dimming light-emitting diode street lights on light-opportunistic and light-averse bats in suburban habitats. *Royal Society Open Science*. 5(6), 180205.

Russo, D., Cosentino, F., Festa, F., De Benedetta, F., Pejic, B., Cerretti, P. & Ancillotto, L. (2019). Artificial illumination near rivers may alter bat-insect trophic interactions. *Environmental Pollution*. 252, 1671-1677.

Rydell, J. (1991). Seasonal use of illuminated areas by foraging northern bats *Eptesicus nilssoni*. *Ecography*, 14(3), 203-207.

Rydell, J. (1992). Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. *Functional Ecology*. 744-750.

Sanders, D. & Gaston, K. J. (2018). How ecological communities respond to artificial light at night. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*. 329(8-9), 394-400.

Sazima, M. & Sazima, I. (1978). Bat pollination of the passion flower, *Passiflora mucronata*, in southeastern Brazil. *Biotropica*. 100-109.

Sazima, M., Buzato, S. & Sazima, I. (1999). Bat-pollinated flower assemblages and bat visitors at two Atlantic forest sites in Brazil. *Annals of Botany*. 83(6), 705-712.

Silva, É. E. D. M., Paixão, V. H. F., Torquato, J. L., Lunardi, D. G. & de Oliveira Lunardi, V. (2020). Fruiting phenology and consumption of zoochoric fruits by wild vertebrates in a seasonally dry tropical forest in the Brazilian Caatinga. *Acta Oecologica*. 105, 103553.

Silva, P. A. (2018). Bird-flower interactions in an urban area: *Ceiba pubiflora* provides nectar and promotes biodiversity in the city. *Urban Forestry & Urban Greening*, 36, 42-49.

Spoelstra, K., van Grunsven, R. H., Ramakers, J. J., Ferguson, K. B., Raap, T., Donners, M., ... & Visser, M. E. (2017). Response of bats to light with different spectra: light-shy and agile bat presence is affected by white and green, but not red light. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 284(1855), 20170075.

Stone, E. L., Harris, S. & Jones, G. (2015). Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions. *Mammalian Biology*. 80(3), 213-219.

Stone, E. L., Jones, G. & Harris, S. (2009). Street lighting disturbs commuting bats. *Current Biology*. 19(13), 1123-1127.

Straka, T. M. Wolf, M., Gras, P., Buchholz, S. & Voigt, C. C. (2019). Tree cover mediates the effect of artificial light on urban bats. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 91.

Taylor, M. Tuttle, M. D. (2019). *Bats: an illustrated guide to all species*. Ivy Press. First published in Pag 403.

Tschapka, M. & Dressler, S. (2002). Chiropterophily: On bat-flowers and flower-bats. *Curtis's Botanical Magazine*. 19(2), 114-125.

Van Langevelde, F., Van Grunsven, R. H., Veenendaal, E. M. & Fijen, T. P. (2017). Artificial night lighting inhibits feeding in moths. *Biology Letters*. 13(3), 20160874.

Wenzel, A., Grass, I., Belavadi, V. V. & Tschardtke, T. (2020). How urbanization is driving pollinator diversity and pollination – A systematic review. *Biological Conservation*. 241, 108321.

**4 -Capítulo 1:** Fenologia e biologia reprodutiva de *Crateva tapia* (Capparaceae): uma espécie nativa usada na arborização e sua importância como recurso para morcegos urbanos

A ser submetido ao periódico- Plant Species Biology

1 **Fenologia e biologia reprodutiva de *Crateva tapia* (Capparaceae): uma espécie nativa**  
2 **usada na arborização e sua importância como recurso para morcegos urbanos**

3 Josefa Rodrigues Carneiro <sup>1</sup>, Sinzinando Albuquerque-Lima <sup>1</sup>, Paulo Milet-Pinheiro <sup>3</sup>  
4 Daniela Maria do Amaral Ferraz Navarro <sup>2</sup>, Arthur Domingos-Melo <sup>3</sup>, Isabel Cristina  
5 Machado <sup>1</sup>

6  
7 1-Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal - Universidade Federal de  
8 Pernambuco, Avenida Professor Moraes Rego, 1235. Cidade Universitária-Recife.  
9 50670-901

10 2 -Departamento de Química Fundamental, Universidade Federal de Pernambuco, Recife,  
11 Pernambuco 50670-901

12 3- Laboratório de Ecologia, Universidade de Pernambuco (Campus Petrolina), 56328-  
13 900 Petrolina, Brasil

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35 **Resumo**

36 Áreas urbanas proporcionam condições favoráveis para que ocorram processos  
37 ecológicos de interação planta-animal, como a polinização. Nos últimos anos houve um  
38 maior interesse na conservação dos polinizadores e em estudos de polinização nos  
39 ecossistemas urbanos. Nesse contexto, objetivamos investigar a fenologia e biologia  
40 reprodutiva de *Crateva tapia*, incluindo a caracterização da morfologia e dos atrativos  
41 florais envolvidos na interação com morcegos nectaríferos urbanos. Realizamos  
42 acompanhamento fenológico em uma população de 12 indivíduos localizados na  
43 Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Descrevemos a biologia floral da espécie,  
44 coletamos voláteis e medimos refletância espectral das estruturas florais. Registramos a  
45 frequência e o comportamento dos visitantes. *Crateva tapia* apresenta um único ciclo  
46 reprodutivo anual com muitas flores por noite. A população estudada é poligomoica,  
47 possuindo três tipos de flores: hermafroditas, estaminadas e pistiladas. Os principais  
48 voláteis florais encontrados foram *E*)- $\beta$ -Ocimene, Álcool benzílico, (E)-Cariofileno, e  
49 Benzaldeído. As flores emitem pouca refletância no comprimento ultravioleta UV,  
50 apresentando maiores refletâncias na faixa de comprimento de onda verde-amarelo.  
51 Registramos dois morcegos visitantes pertencentes à família Phyllostomidae. Foram  
52 observados um total de ca. 3000 visitas, das quais 97.21% por *Glossophaga soricina*,  
53 cujas visitas duravam menos de um segundo e o morcego pairava durante a tomada de  
54 néctar das flores. O outro morcego, *Phyllostomus discolor* apresentou 2.78% do total das  
55 visitas, com comportamento diferente do primeiro visitante agarrando-se à flor e  
56 inserindo a cabeça nas inflorescências contactando as estruturas reprodutivas. *Crateva*  
57 *tapia* é de grande importância no meio urbano, tendo em vista que é uma fonte de alimento  
58 para morcegos nectarívoros.

59 **Palavras chaves:** antese noturna, ecologia urbana, quiropterofilia, trimonoica, voláteis  
60 florais

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

## 72 4.1 Introdução

73 A reprodução é um dos momentos mais determinantes na história de vida das  
74 espécies vegetais. Com isso compreender a biologia reprodutiva é importante para  
75 garantir a conservação das mesmas (Li et al., 2018). Tal conhecimento também tem  
76 importante aplicação no uso de espécies nativas para a arborização urbana, uma vez que  
77 infraestruturas verdes como parques, praças e vias públicas são habitats favoráveis ao  
78 estabelecimento da vegetação (Llodrà-Llabrés & Cariñanos, 2022). Nestas áreas há  
79 condições que favorecem também a manutenção da fauna presente nas cidades (Henning  
80 & Ghazoul, 2012), e tendo em vista que 78% a 94% das angiospermas são polinizadas  
81 por animais (Ollerton et al., 2011), possibilitando a ocorrência de processos ecológicos  
82 como interações planta-animal (Maroja et al., 2020).

83 A vegetação urbana atua como um fator importante na conservação dos  
84 polinizadores (Nascimento et al., 2020), como abelhas (Mach & Potter, 2018),  
85 esfingídeos (Wonderlin, et al., 2019) e morcegos (Albuquerque et al., 2022; Dzul-Cauich  
86 & Munguia-Rosas, 2022). Assim, estudar a polinização em contexto urbano contribui  
87 para um maior entendimento da dinâmica desse processo ecológico para a conservação  
88 da biodiversidade nesses ambientes antropizados (Baldock et al., 2019).

89 Diante do cenário descrito acima, nos últimos anos houve um maior interesse na  
90 conservação dos polinizadores e em estudos de polinização nos ecossistemas urbanos  
91 (Maruyama et al., 2019; Oliveira et al., 2019; Nascimento et al., 2020; Albuquerque-Lima  
92 et al., 2022). Contudo, devido à dificuldade de realizar observações em espécies com  
93 floração noturna, a interação com morcegos nectaríferos ainda é pouco estudada. Desta  
94 forma, pesquisas que foquem na compreensão de detalhes sobre como ocorre a  
95 polinização por morcegos em áreas urbanas são fundamentais, ainda mais tendo em vista  
96 a importância desses vertebrados para a reprodução sexuada de espécies nativas  
97 (Domingos-Melo et al., 2021) e de importância econômica (Ollerton et al., 2011).

98 Tal necessidade é ainda maior em espécies pertencentes a grupos com escassez  
99 de informações sobre biologia floral e ecologia da polinização. Este é o caso da família  
100 Capparaceae, cujos estudos em sua maioria restringem-se a listagem e distribuição de  
101 espécies e sua sistemática (Neto et al., 2014; Gómez & Escalante, 2018). Capparaceae  
102 apresenta espécies com sistema sexual androginomonoico ou seja, flores masculinas e  
103 hermafroditas em uma mesma planta, (Primo & Machado, 2009), flores e inflorescências

104 em pincel (Bianchi & Gibbs 2000, Kumar & Aluri, 2021) e com o registro de diferentes  
105 sistemas de polinização, dentre os quais destacam-se melitofilia, esfingofilia e  
106 quiropterofilia (Dafni, et al., 1987; Carvalho, 2002; Soosairaj, et al., 2014). Nesse cenário,  
107 temos o exemplo da espécie *Crateva tapia* L. que é indicada e amplamente utilizada para  
108 arborização em áreas urbanas, nos locais de onde é nativa (Lacerda et al., 2011).

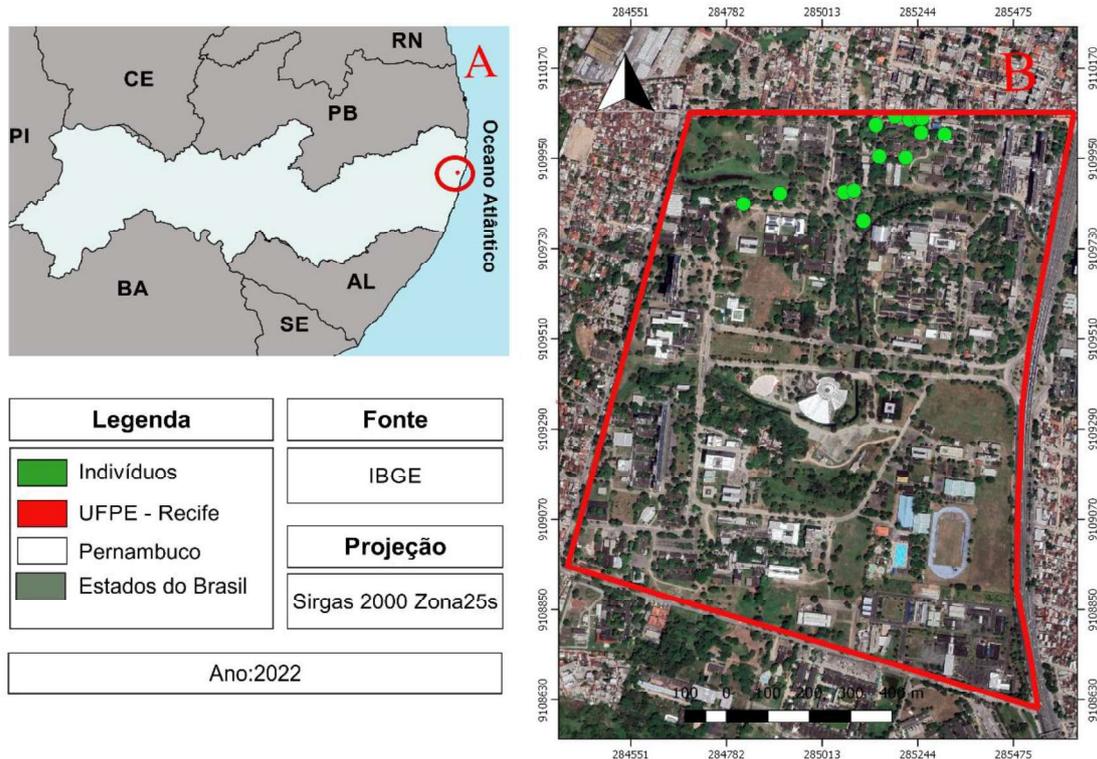
109 Assim, objetivamos investigar a fenologia e biologia reprodutiva de *Crateva*  
110 *tapia*, incluindo a caracterização da morfologia e dos atrativos florais envolvidos na  
111 interação com morcegos nectaríferos urbanos. Destacando a importância da espécie como  
112 recurso para a fauna quiropterófila presente em área urbanizada.

#### 113 **4.1.1 Material e métodos**

##### 114 **Área de estudo**

115 Realizamos o estudo no *campus* Recife da Universidade Federal de Pernambuco  
116 (UFPE) (8°03'06" S, 34°57'02" W), no estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. O  
117 clima da região é classificado como Tropical Litorâneo do Nordeste Oriental (Mendonça  
118 & Dani-Oliveira, 2017), apresenta temperaturas que variam entre 23°C e 34°C (Ferreira,  
119 2016), A estação chuvosa em Recife ocorre entre os meses de março a agosto, e a estação  
120 seca vai de setembro a fevereiro. Com precipitação média anual de 2292,9 mm  
121 (Wanderley et al., 2018).

122 O referido *campus* possui cerca de 1.615.849,89 m<sup>2</sup>, com uma área construída  
123 de 384.539m<sup>2</sup> (Plano Diretor, 2015) e fica próximo a fragmentos remanescentes de Mata  
124 Atlântica (Fig 1). Dispõe de áreas verdes que são espaços para recreação e atividades  
125 físicas, tanto para os alunos como para a população ao entorno. Além disso, nessas áreas  
126 verdes é possível encontrar diversas espécies quiropterófilas como *Crescentia cujete* L.,  
127 *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, *Hymenaea courbaril* L., *Tarenaya longicarpa* Soares Neto  
128 & Roalson e *Agave palmeri* Engelm, que são importantes fontes de recursos para a  
129 quiropterofauna da universidade (Albuquerque-Lima et al., 2022).



130

131 **Figura 1:** Mapa de localização do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco.132 Os pontos em verdes no mapa representam os 12 indivíduos de *Crateva tapia*.133 **Espécie estudada**

134 *Crateva tapia* L. (Capparaceae), conhecida popularmente como trapiá e cabaceira,  
 135 apresenta uma distribuição neotropical (Neto et al., 2014; Gómez et al., 2020), sendo  
 136 nativa no Brasil, ocorrendo em todas as regiões, exceto no Sul do país, sendo encontrada  
 137 nos domínios fitogeográficos da Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (Flora do  
 138 Brasil, 2020). *Crateva tapia* é uma árvore de 5 a 12 m de altura, suas flores são brancas  
 139 (Lorenzi, 2002). Os frutos são carnosos, de cor amarela quando maduros, de tamanho  
 140 médio (Lacerda et al., 2011). Por apresentar uma copa densa e com floração de grande  
 141 embelezamento é indicada para áreas verdes urbanas e também para mata ciliar (Lacerda  
 142 et al., 2011). Além disso, *C. tapia* possui características medicinais e econômicas pelo  
 143 uso da madeira sendo usada na construção civil, em forros, caixotaria e confecção de  
 144 canoas (Santos-Moura, et al., 2014). Grande parte dos estudos com a espécie é  
 145 relacionado à germinação (Galindo, et al., 2012) e ao seu uso medicinal como  
 146 antioxidante, e anti-inflamatório (Sharma, et al., 2013). Diferentes estudos têm indicado  
 147 a espécie como polinizada por morcegos, porém sem fornecer detalhes de sua biologia da  
 148 polinização (Heithaus et al., 1975; Diniz et al., 2019b; Domingos-Melo et al. 2021).

## 149 **Fenologia**

150 As fenofases reprodutivas (floração, fruto verde e fruto maduro) foram  
151 monitoradas quinzenalmente entre setembro de 2020 a março de 2022 em um conjunto  
152 de 12 indivíduos selecionados a partir da sua disponibilidade e acesso ao longo do  
153 *campus*. Para quantificar as fenofases de floração e frutificação seguimos o método semi-  
154 quantitativo de cinco categorias (0 a 4) com intervalos de 25% de Fournier (1974). Esse  
155 método permite estimar a porcentagem de intensidade da fenofase em cada indivíduo. O  
156 padrão de floração da população foi determinado a partir das classificações de Newstrom  
157 et al. (1994) e Gentry (1974). Para verificar a sincronia da população utilizou-se o índice  
158 proposto por Augspurger (1983). Utilizamos a correlação de Spearman para verificar  
159 influência da temperatura, precipitação e fotoperíodo. Os dados de temperatura foram  
160 obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). E os dados de precipitação  
161 foram obtidos da Agência Pernambucana de Água e Clima (APAC). Para visualizar a  
162 frequência de ocorrência de cada fenofase ao longo do ano foram realizados histogramas  
163 circulares. Também determinamos a partir da análises estatísticas circulares informações  
164 como o comprimento e significância do vetor  $r$  (que indica a presença ou ausência de  
165 sazonalidade) e o ângulo médio ( $\mu$ ) que indica a data média do evento (Morellato et al.,  
166 2010). Os histogramas circulares foram realizados no programa Oriana versão 4.02.

## 167 **Biologia floral: sequência de antese, morfologia e sistema sexual**

168 Marcamos inflorescências e botões acessíveis para o acompanhamento da  
169 sequência de antese no qual observamos o horário da distensão das estruturas  
170 reprodutivas. Registramos o horário das deiscências das anteras. Para realização da  
171 morfometria, inflorescências ( $n=28$  inflorescências/7 indivíduos) de *C. tapia* foram  
172 fixadas em álcool 70% e levadas para o laboratório para posterior análises. A morfometria  
173 foi feita a partir de fotografias com escala, a partir das quais as estruturas foram  
174 mensuradas com o auxílio do programa ImageJ. As medidas foram realizadas  
175 separadamente para flores hermafroditas, pistiladas e estaminadas, tendo sido  
176 consideradas as seguintes estruturas florais: comprimento do ginóforo, comprimento dos  
177 estames (como os estames variaram em altura foram mensurados o comprimento máximo  
178 e o comprimento mínimo de cada flor), comprimento e largura das pétalas (como  
179 identificamos dois pares de pétalas com tamanhos diferentes as medidas foram realizadas  
180 separadamente para cada par), comprimento e largura da sépala, e área do nectário.  
181 Realizamos uma análise de componente principal (PCA) para verificar se os três morfo

182 florais (hermafroditas, pistiladas e estaminadas) apresentavam agrupamentos. Também  
183 realizamos uma análise de variância multivariada (MANOVA) para analisar os conjuntos  
184 dos dados. Todas as análises foram realizadas no software R v3.4.4 (R Core Team 2017).

185 O número de inflorescências por indivíduo foi estimado a partir de fotografias  
186 realizadas das copas dos indivíduos em pico de floração (N=7). Por sua vez, o número de  
187 flores por inflorescência foi determinado a partir de contagem direta das flores, botões,  
188 frutos e cicatrizes de emissão floral em 10 inflorescências tomadas ao acaso provenientes  
189 destes 7 indivíduos (adaptado de Domingos-Melo et al., 2019). Para determinação da  
190 proporção de flores com cada expressão sexual, foram quantificados todas os botões  
191 florais com as estruturas sexuais já totalmente desenvolvidas ou flores que estavam com  
192 as estruturas reprodutivas distendidas presentes nestas mesmas inflorescências.

### 193 **Sinalização floral: odor e cor**

194 Em relação a sinalização, foram determinadas a composição dos compostos  
195 orgânicos voláteis (COVs) emitidos pelas flores e a refletância espectral de suas  
196 estruturas. Para a coleta de voláteis florais foi utilizado o método de headspace dinâmico  
197 (Raguso & Pellmyr, 1998) em inflorescências de cinco indivíduos (uma inflorescência  
198 por indivíduo). As inflorescências foram coletadas e isoladas com sacos de polietileno,  
199 em seguida foi extraído o ar durante 30 minutos por uma bomba de sucção (ASF Thomas,  
200 Inc., Alemanha), mantendo o fluxo de 2 ml durante a extração. Para identificar possíveis  
201 contaminantes das amostras, também foram realizadas coletas controle. Estas envolveram  
202 controles vegetativos (C.V), para os quais repetimos o procedimento, porém utilizando  
203 folhas em vez de inflorescências; e controles do ambiente (C.A) onde repetimos o  
204 procedimento, porém com o saco vazio.

205 A fim de mensurar a refletância espectral medimos as estruturas florais (pétala,  
206 filetes e botão) e folhas de *C. tapia* utilizando um espectrofotômetro (Jaz, Ocean Optics).  
207 O aparelho foi calibrado para o comprimento de onda entre 300nm a 700nm com uma  
208 reflexão WS-1 Standards Ocean Optics como branco e a ausência de luz como preto  
209 (Domingos-Melo et al. 2021). Obtivemos as medidas a partir de 15 flores (cinco  
210 indivíduos, três flores cada). Coletamos a refletâncias com sonda da superfície das  
211 estruturas a partir de ângulo de 45° para evitar reflexão especular (Chittka e Kevan 2005).

212

### 213 **Dinâmica de retirada de néctar**

214 Foram medidos o volume ( $\mu\text{l}$ ) e a concentração de açúcar do néctar com auxílio  
215 de microsseringas (50  $\mu\text{l}$  - HAMILTON) e refratômetro de bolso (ATAGO 0-50%),  
216 respectivamente. As flores (N=27 flores/ 9 inflorescências/ 3 indivíduos) foram  
217 previamente ensacadas em pré-antese para evitar o consumo por parte de visitantes  
218 florais. As medições foram tomadas no início da antese, iniciando às 18h, repetindo-se o  
219 procedimento a cada duas horas, até às 02h da manhã, totalizando cinco extrações por  
220 flor. Para analisar o volume total de néctar por flor, foi realizada a soma dos valores de  
221 todos os horários (Tschapka & Helversen 2007).

## 222 **Visitantes florais e seu comportamento**

223 As observações focais das visitas dos morcegos às flores foram realizadas das  
224 18h00 às 22h00 por 30 noites, nos meses de novembro e dezembro de 2020, bem como  
225 em fevereiro, outubro e novembro e 2021, totalizando 100 horas de observação. Durante  
226 as sessões no campo registrou-se a frequência e o comportamento de visitas dos morcegos  
227 nas flores a fim de classificar os visitantes em: 1) polinizador, quando contactavam as  
228 estruturas reprodutivas da flor (antera e estigma) durante a visita, e 2) pilhador - quando  
229 acessavam o recurso floral ilegitimamente, não contactando os órgãos reprodutivos. A  
230 partir do comportamento da visita determinamos a possibilidade de os morcegos em  
231 questão serem nectarívoros especializados das subfamílias Lonchophyllinae ou  
232 Glossophaginae – visitas rápidas e voo pairado; ou morcegos oportunistas presentes em  
233 outras subfamílias de Phyllostomidae – visitas duradouras com pouso na flor (Boero et  
234 al., 2022). Para auxiliar na análise do comportamento foram tomadas fotografias dos  
235 visitantes florais, utilizando-se uma câmera Canon Rebel T6 (Tóquio, Japão), acoplada a  
236 tripé.

## 237 **Sistema reprodutivo**

238 Realizamos experimentos de polinização controlada para verificar o sistema  
239 reprodutivo em flores hermafroditas. Devido ao tamanho das inflorescências não era  
240 possível ensacá-las sem que houvesse o contato das estruturas reprodutivas com o tecido  
241 dos sacos gerando deposição de pólen da própria flor, assim não foi possível realizar o  
242 tratamento de autopolinização espontânea. Devido à altura das árvores, os tratamentos  
243 foram realizados em três indivíduos cuja as flores eram acessíveis para manipulação com  
244 escada. Para o tratamento de agamospermia, cinco botões em cada indivíduo foram  
245 ensacados com sacos de voil para proteção durante seu desenvolvimento. No momento

246 da pré-antese estes tiveram seu estigma e ovário isolados com pequenos invólucros  
247 plásticos presos ao ginóforo evitando assim qualquer deposição de pólen. Para determinar  
248 se a espécie é auto compatível realizamos experimentos de autopolinização manual, sendo  
249 marcados 10 botões, os quais foram ensacados para evitar contato com os visitantes; após  
250 o início da antese foi realizada a deposição de pólen da própria flor sobre o estigma, e as  
251 flores foram ensacadas novamente. Para determinar a formação de frutos a partir da  
252 polinização cruzada, 15 botões de cada indivíduo foram ensacados e, após o início da  
253 antese, foi adicionado pólen de outros indivíduos sobre seus estigmas; as flores foram  
254 então ensacadas novamente. O sucesso dos tratamentos e a avaliação da eficácia dos  
255 polinizadores foi aferido a partir da formação de frutos e número de sementes por fruto.  
256 Para determinar a formação de frutos por polinização natural, contabilizamos o número  
257 de frutos formados naturalmente em cada um dos indivíduos e dividimos pela estimativa  
258 de flores femininas e hermafroditas (ver estimativa nos resultados) que o mesmo produziu  
259 durante a estação reprodutiva.

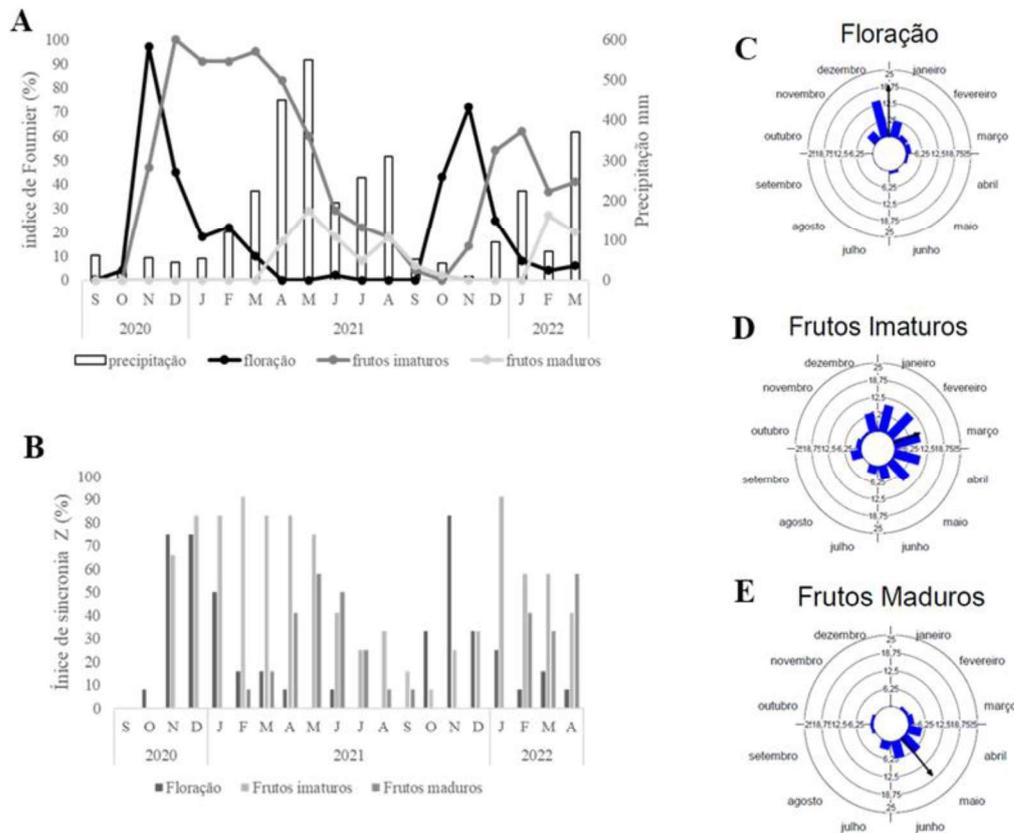
#### 260 **4.1.1.1.Resultados**

##### 261 **Fenologia**

262 A população de *Crateva tapia* apresentou um ciclo reprodutivo anual, iniciando a  
263 floração no mês de outubro e se estendendo até fevereiro. O evento ocorreu durante a  
264 estação seca, quando a fenofase exibiu uma maior intensidade na produção de flores, em  
265 novembro (Fig. 2A). A floração dos indivíduos é sequencial e de curta duração, variando  
266 entre três e quatro semanas, com alta sincronia nos meses de novembro e dezembro  
267 ( $Z=83\%$  e  $75\%$ , respectivamente) (Fig 2B). Obtivemos uma correlação positiva e  
268 significativa com o fotoperíodo ( $r_s=0.84$ ,  $p< 0.0001$ ) e a temperatura ( $r_s 0.82$ ,  $p<$   
269  $0.0001$ ). Entretanto, observamos uma correlação significativa e negativa com a  
270 precipitação ( $r_s=-0.50$ ,  $p=0.0269$ ).

271 A frutificação é contínua iniciando na segunda quinzenal após a polinização. A fenofase  
272 de frutos imaturos atingiu seu pico de produção em dezembro (Fig 2A), não sendo  
273 correlacionada com nenhuma variável ambiental. A fenofase de frutos imaturos  
274 apresentou uma alta sincronia populacional, sendo o mês de fevereiro mais sincronico ( $Z= 91\%$ ) (Fig 2B). A maturação dos frutos ocorreu durante a estação chuvosa, alcançando  
275 maior intensidade no mês de maio. A fenofase de frutos maduros correlacionou-se  
276 positivamente e significativamente com a precipitação ( $r_s= 0.71$ ,  $p = 0.0005$ ), e

278 apresentou uma correlação negativa significativa com o fotoperíodo ( $r_s = -0.73$ ,  $p =$   
 279  $0.0003$ ), mas sem qualquer correlação com a temperatura. A fenofase de frutos maduros  
 280 apresentou uma sincronia de  $Z = 58$ , sendo os meses de abril e maio mais sincrônicos (Fig  
 281 2B).



282

283 **Figura 2:** Fenologia da população (=12) de *Crateva tapia* no *campus* da Universidade  
 284 Federal de Pernambuco. A – Índice de Intensidade de Fournier. B- Índice de sincronia da  
 285 população. C- Data média da fenofase de floração. D- Data média da fenofase de frutos  
 286 imaturos. E- Data média da fenofase de frutos maduros.

287 A estatística circular indicou que *Crateva tapia* apresenta diferenças nas  
 288 sazonalidades de suas fenofases. A floração ocorreu na estação seca e a frutificação na  
 289 estação chuvosa, uma vez que foram registradas as datas médias em 29 de dezembro para  
 290 a fenofase de floração, 10 de março frutos imaturos e 21 de maio para frutos maduros  
 291 (Fig 2C, 2D e 2E respectivamente). O teste de Rayleigh foi significativo para as três  
 292 fenofases indicando que as fenofases de floração e frutos maduros estão concentrados em  
 293 determinados meses do ano, e os de frutos imaturos persistem por períodos maiores ao  
 294 longo do ano, dado o tempo necessário para sua maturação (Tabela 1).

295

296 **Tabela 1** - Análise circular das fenofases de floração, frutos imaturos e maduros da  
 297 população de *Crateva tapia* do *Campus* da Universidade Federal de Pernambuco-Recife-  
 298 Brasil, de setembro de 2020 a agosto de 2021.

Fenofase	Ângulo médio	Data média	Vetor r	Desvio Padrão angular	Teste de Rayleigh (p)
Floração	359.177°	29/dezembro	0.77	41.35°	<0.01
Frutos imaturos	69.97°	10/março	0.42	75.21°	<0.01
Frutos maduros	140.60°	21/maio	0.69	49.32	<0.01

299

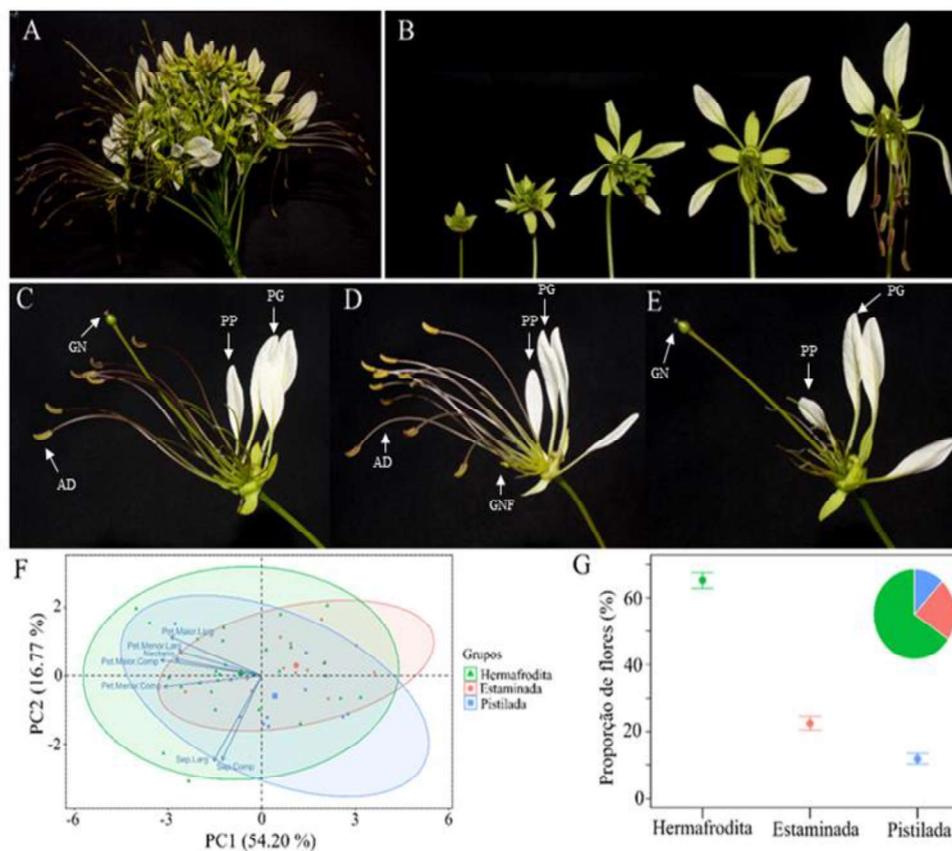
### 300 **Biologia floral: sequência de antese, morfologia e sistema sexual**

301 *Crateva tapia* possui uma flor com prefloração aberta, com as estruturas  
 302 reprodutivas sempre expostas para baixo. Contudo, a morfologia floral modifica-se  
 303 durante a antese quando as estruturas reprodutivas tornam-se turgidas e distendidas para  
 304 cima, processo que se inicia por volta das 17h30, pouco antes do anoitecer. A antese tem  
 305 duração de uma noite, e na manhã seguinte as flores não polinizadas caem por completo.  
 306 Já as flores polinizadas iniciam o desenvolvimento do frutos após 5-10 dias. A deiscência  
 307 das anteras tem início às 17:45. A secreção de nectar começa por volta das 18:00h, quando  
 308 já é possível observar algum volume de néctar acumulando no nectário.

309 As inflorescências de *C. tapia* são racemosas e formam um pseudanto do tipo  
 310 pincel. Elas apresentam um longo pedúnculo, que permite maior exposição floral.  
 311 Durante uma estação reprodutiva um indivíduo pode produzir 457±113 inflorescências,  
 312 cada uma delas com 74±15 flores por inflorescência (das quais uma a cinco de flores são  
 313 abertas por noite) (Fig. 3A). As flores possuem simetria zigomorfas com corola  
 314 dialipétala com 4 pétalas, sendo as duas superiores maiores. O cálice é tetrâmero,  
 315 dialissépalo. O androceu é polistêmone e heterodínamo. As anteras possuem deiscência  
 316 rimosa. O gineceu apresenta um longo ginóforo, com ovário súpero, unicarpelar e  
 317 unilocular.

318 A população estudada de *C. tapia* no *campus* da UFPE é poligomoica  
 319 (trimonoica) uma vez que os indivíduos possuem três tipos florais: 1) flores  
 320 hermafroditas: com numerosos estames longos e funcionais e estames menores não  
 321 funcionais, e um longo ginóforo portando um pistilo funcional, 2) flores estaminadas:

322 apenas com estames longos e um ginóforo pequeno portando um gineceu não funcional,  
 323 3) flores pistiladas: com um longo ginóforo portando um pistilo funcional e estames  
 324 reduzidos não funcionais (Fig 3C, 3D e 3E). Os três morfos florais podem ser encontrados  
 325 no mesmo indivíduo em diferentes proporções:  $64.75 \pm 14.52\%$  de flores hermafroditas,  
 326  $23.59 \pm 16.39\%$  de flores estaminadas e  $11.66 \pm 4.82\%$  % de flores pistiladas. Houve  
 327 diferença estatística na proporção dos morfos florais ( $df= 2$ ; Resin. Dev= 5.3778; Df=  
 328 24; Resin. Dev= 2.5857;  $F=25.026$ ;  $p= <0.0001$ ) (Fig 3G).



329

330 **Figura 3:** (A) Inflorescência de *Crateva tapia*. (B) desenvolvimento das flores de *Crateva*  
 331 *tapia*. (C) Flor hermafrodita (AD= androceu, GN= gineceu, PG=pétala grande e PP=  
 332 pétala pequena). (D)- Flor estaminada (AD= androceu, GNF= gineceu não funcional,  
 333 PG=pétala grande e PP= pétala pequena). (E) Flor pistilada (GN= gineceu, PG=pétala  
 334 grande e PP= pétala pequena). (F) PCA dos verticilos reprodutivos e vegetativos da  
 335 população. G- Proporção dos três morfos (hermafroditas, estaminadas e pistiladas) da  
 336 população de *Crateva tapia* do campus da Universidade Federal de Pernambuco

337

338 A análise de PCA, considerando as medidas dos verticilos vegetativos presentes  
 339 nas flores com as três diferentes expressões sexuais resultou em um PC1 que explica  
 340 54.20% da variância dos dados, e um PC2 que explica 16.77%, os dois juntos apresentam  
 341 uma explicação acumulativa de 70.96% da variação total. As variáveis mais relacionadas  
 342 ao PC1 foram (pétala maior-comprimento, pétala menor -comprimento, pétala maior-  
 343 largura nectário e pétala menor -largura). Para os componentes PC2 as variáveis mais  
 344 relacionadas foram as sépalas. Os pontos dos três tipos de flores ficaram sobrepostos  
 345 indicando que ocupam o mesmo morfoespaço floral, evidenciando que são similares (Fig  
 346 3F) (Tabela 2).

347 **Tabela 2** - Resultados da PC1 e PC2 dos verticilos reprodutivos e vegetativos n=10 da  
 348 população de *Crateva tapia* do campus da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

	PC1	PC2
Pétala maior - comprimento	-1.50	0.21
Pétala menor - comprimento	-1.45	-0.15
Pétala maior - largura	-1.35	0.53
Nectário	-1.28	0.22
Pétala menor - largura	-1.22	0.33
Sépala - comprimento	-0.71	-1.15
Sépala - largura	-0.59	-1.14

349

350 Considerando estatísticas univariadas, é possível notar diferenças entre o estame  
 351 maior das flores hemafroditas e estaminadas. Contudo, não houve diferença no tamanho  
 352 dos ginóforos. Em relação aos verticilos vegetativos houve diferença na comparação do  
 353 tamanho da pétala maior entre os morfos hemafrodita e estaminado. Também houve  
 354 diferenças na área do nectário entre as flores hemafroditas e estaminadas. Contudo,  
 355 quando são analisadas em conjunto por uma MANOVA não apresentam diferenças entre  
 356 os morfos (Wilks = 0.6525; F = 1.427; p = 0.159) (Tabela 3).

357

358

359

360

361 Tabela 3: Medidas dos verticilos reprodutivos e vegetativos da população de *Crateva*  
 362 *tapia* do campus da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

363

	Hermafrodita	Estaminada	Pistilada	F	p
<b>Verticilos reprodutivos</b>					
Ginóforo - comprimento	4.74 ± 1.25	-	4.05 ± 1.82	1.73	0.197
Estame menor - comprimento	3.97 ± 0.97	3.36 ± 0.85	-	3.91	0.055
Estame maior - comprimento	5.19 ± 1.08	4.06 ± 0.93	-	10.58	0.002
<b>Verticilos vegetativos</b>					
Pétala menor - comprimento	2.49 ± 0.56	2.11 ± 0.52	2.18 ± 0.50	2.76	0.073
Pétala menor – largura	0.42 ± 0.13	0.35 ± 0.12	0.39 ± 0.12	1.10	0.342
Pétala maior - comprimento	2.94 ± 0.55	2.37 ± 0.44	2.61 ± 0.66	5.23	0.009
Pétala maior – largura	0.68 ± 0.18	0.58 ± 0.11	0.56 ± 0.15	3.03	0.058
Sépala - comprimento	0.56 ± 0.14	0.48 ± 0.09	0.58 ± 0.07	0.67	0.089
Sépala - largura	0.25 ± 0.08	0.22 ± 0.07	0.27 ± 0.08	1.29	0.285
Área do nectário (cm <sup>3</sup> )	0.12 ± 0.06	0.07 ± 0.04	0.08 ± 0.04	4.31	0.019

364

365

### 366 Sinalização floral: odor e cor

367 Ao todo, encontramos 16 compostos no odor floral de *C. tapia* nas amostras de  
 368 headspace analisadas. Dentre os compostos, (*E*)-β-Ocimene, Álcool benzílico, (*E*-  
 369 Cariofileno, e Benzaldeído, foram os majoritários, representando 24.89, 24.66, 10.15 e  
 370 10.04% das emissões, respectivamente, totalizando 69,74% das substâncias presentes no  
 371 odor (Tabela 4).

372

373

374

**Tabela 4** - Quantidades relativas médias de compostos primários (> 1%) nas amostras de headspace de flores (N=5) de *Crateva tapia* (Capparaceae). Os voláteis são listados de acordo com a classe de substância (sensu Knudsen et al. 2006) e índice de retenção linear (LRI), calculado a partir dos tempos de retenção (TR) em relação aos de uma série de alcanos separados em uma coluna capilar DB-5 não polar.

Composto	TR	LRI	Média±desvio padrão
<b>Aromatics</b>			
Benzaldehyde	9,497	960F	10.04±5.21%
Benzyl alcohol	12,106	1035 S	24.66±11.82%
Methyl benzoate (talvez cont.)	14,320	1096F	2.00±2.02%
Benzyl acetate	16,810	1167 F	2.73±1.45%
Ethyl benzoate	17,032	1170 F	2.34±2.63%
Methyl salicylate	17,852	1192 F	8.28±2.40%
Benzyl propanoate	20,080	1262	0.14±0.31%
Benzyl isobutanoate	21,409	1298 F	0.13±0.29%
Benzyl butanoate	22,984	1336A	0.19±0.30%
sim. Isovalerate <benzyl->	24,311	1399F	0.90±1.47%
<b>Monoterpenes</b>			
(Z)-β-Ocimene	12,299	1039S	0.48±0.73%
(E)-β-Ocimene	12,672	1046 F	24.89±15.02%
Linalool	14,512	1101F	5.37±5.34%
(E)-4,8-dimethyl-1,3,7-nonatriene	15,128	1113 F	6.57±2.01%
<b>Sesquiterpenes</b>			
(E)-Caryophyllene	25,368	1424F	10.15±8.31%
α-Humulene	26,417	1454 F	1.13±1.55%

377

378

379

380

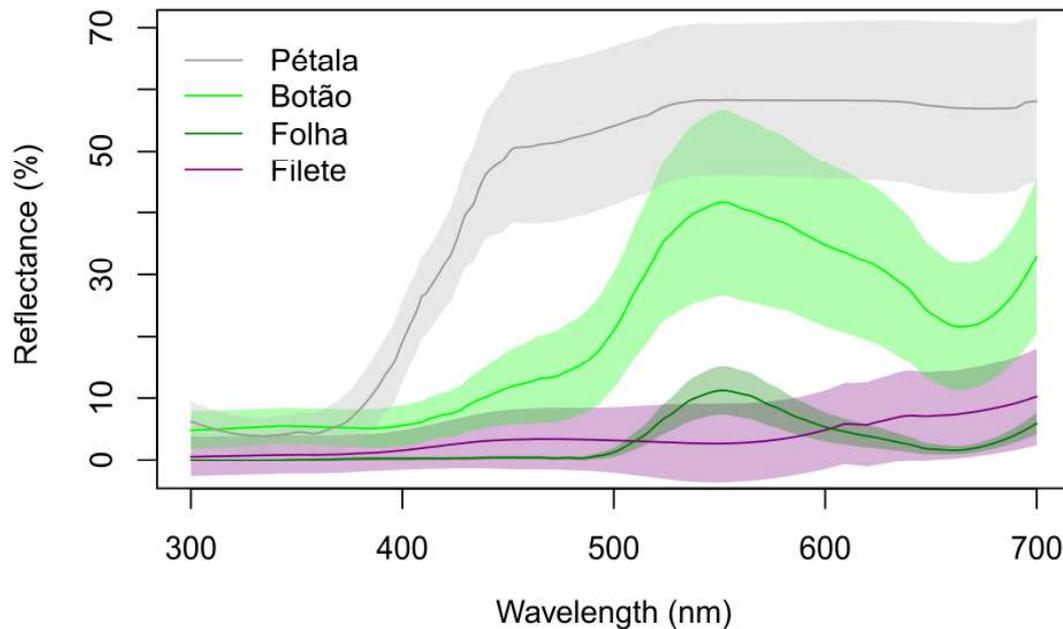
381

382

383

384

Em relação a reflectância das estruturas florais de *C. tapia*, as pétalas apresentaram baixa reflectância na faixa UV, seguido de uma alta reflectância desde a faixa do azul até o vermelho (400-700 nm), atingindo os maiores valores de reflexão na faixa verde e amarelo (550-600nm). O botões e folhas apresentaram um pico de reflectâncias entre as faixas verde a amarelo (550-600nm), embora as folhas tenham apresentado menor brilho. O filete mostrou baixos valores de brilho, e um pico de reflexão na faixa do vermelho-alaranjado (>600 nm) (Figura 4).



385

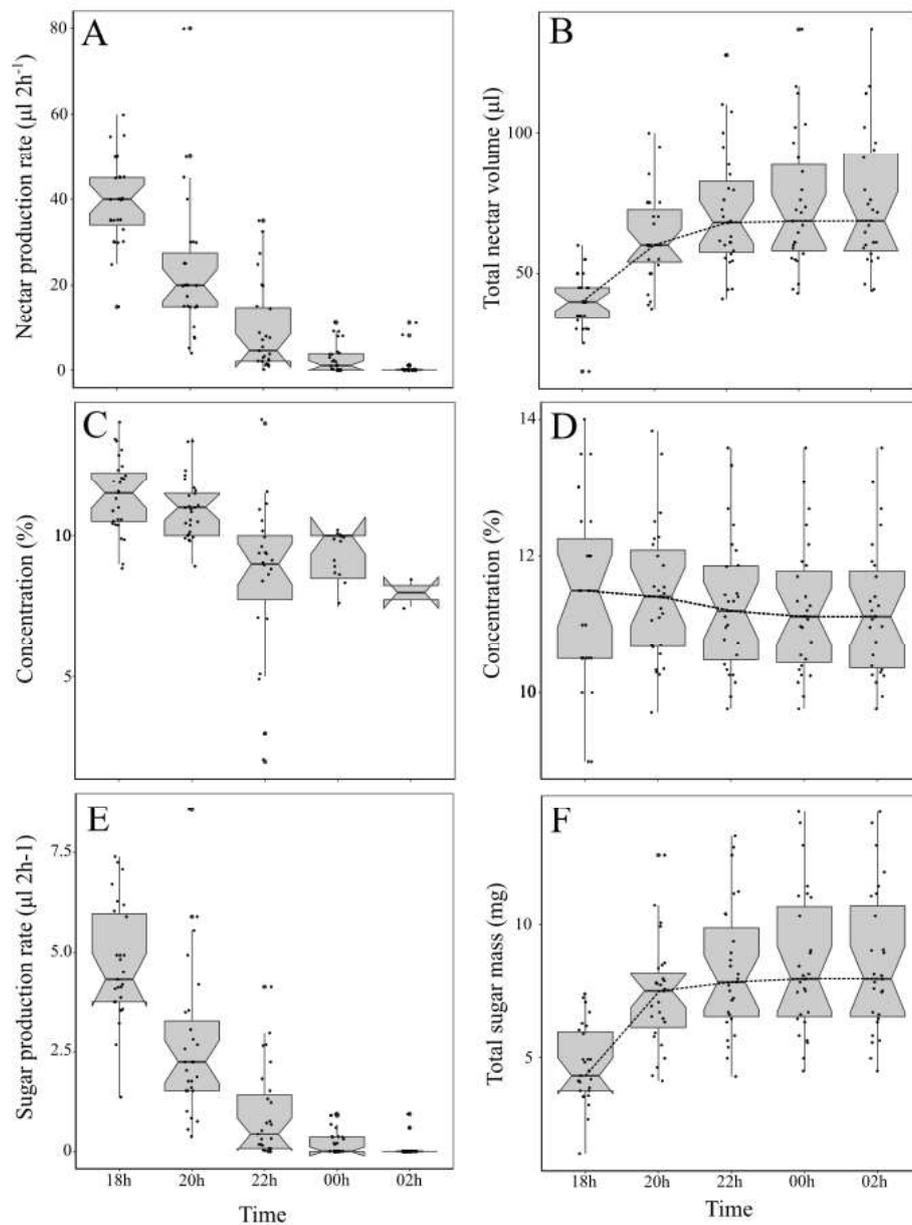
386 **Figura 4:** Espectro de cores refletidas das estruturas florais (pétala, botão e filete) e de  
 387 folhas de indivíduos de *Crateva tapia* do *campus* da Universidade Federal de  
 388 Pernambuco-Recife

### 389 **Dinâmica de retirada de néctar**

390 A taxa de secreção de néctar nas flores de *C. tapia* é maior na primeira hora de  
 391 antese às 18h com média de 40  $\mu$ l, ocorrendo um declínio nessa taxa nos horários  
 392 seguintes (numDF=4; denDF= 128; F= 75.13678;  $p < .0001$ ) (Fig 5A). O volume total  
 393 de néctar acumulado também diferiu ao longo do tempo. No primeiro horário há um  
 394 menor volume, em comparação com o segundo horário às 20h, contudo a partir desse  
 395 momento a produção de néctar tende a estabilizar (numDF=4; denDF=128;  
 396 F=18.35929;  $p < .0001$ ) (Fig 5B). Em relação a concentração de açúcar, nas primeiras  
 397 horas de antese a porcentagem é maior, ocorrendo um declínio ao longo do tempo  
 398 (numDF=4; denDF=85; F=12.0484  $p < .0001$ ) (Fig 5C). A concentração total não  
 399 apresentou grandes variações ao longo da antese, apresentando uma estabilidade nos  
 400 horários subsequentes ao primeiro, não apresentando uma correlação em relação ao tempo  
 401 (Fig 5D) (numDF= 4; denDF=128; F= 0.352 P= 0.8423.) A taxa de açúcar foi maior no  
 402 primeiro horário, diminuindo ao longo da noite, apresentando uma correlação  
 403 significativa em função do tempo (numDF=4; denDF=128; F=75.65586  $p < .0001$ ) (Fig  
 404 5E). A produção total de açúcar por mg, apresentou uma estabilidade a partir do segundo

405 horário, correlacionando-se significativamente em função do tempo (numDF=4;  
 406 denDF=128;  $F=16.28037$ ;  $p < .0001$ ) (Fig 5F).

407



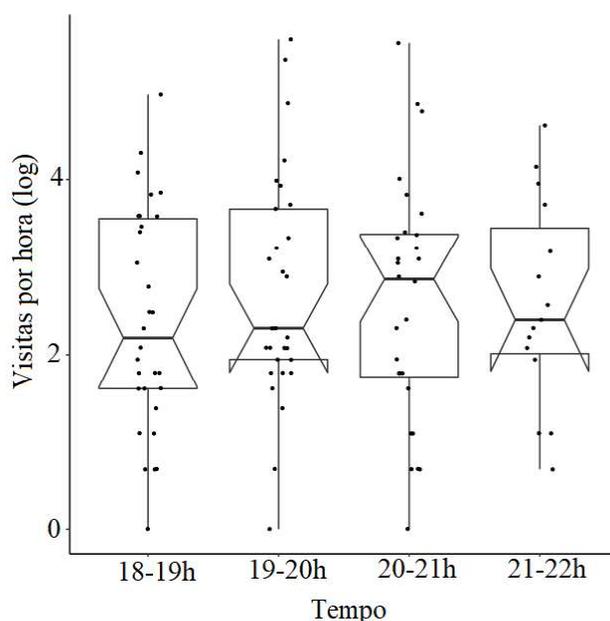
408

409 **Figura 5:** Características do néctar das flores ( $n=27$ ) de indivíduos ( $n=3$ ) de *Crateva*  
 410 *tapia* do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco. (A e B) Volume, (C e D)  
 411 concentração de açúcar e (E e F) produção de açúcar.

#### 412 Visitantes florais e seu comportamento

413 Registramos duas espécies de morcegos visitando as flores de *C. tapia*, ambos  
 414 pertencentes à família Phyllostomidae. No total contabilizamos 2980 visitas às flores,

415 97.21% das quais foram realizadas por *Glossophaga soricina* (Pallas, 1766), subfamília  
 416 Glossophaginae (Phyllostomidae), o qual pairava durante a tomada de néctar das flores.  
 417 As visitas às flores iniciavam por volta das 18h e duravam menos de um segundo em cada  
 418 inflorescência, o intervalo entre cada forrageamento durava aproximadamente de 5 a 20  
 419 minutos, apresentando maior número de visitas no terceiro horário (21h) (Fig 6). Os  
 420 morcegos inseriam a cabeça entre as flores de *C. tapia* contactando os estames com a  
 421 parte ventral do abdômen e a parte ventral da asa, podendo, portanto, polinizar várias  
 422 flores da mesma inflorescência em uma única visita (Fig 7A).



423

424 **Figura 6:** Distribuição do total de visitas nos entre 18h e 22h quatro horários de  
 425 observação às flores de *Crateva tapia* da população do *campus* da Universidade Federal  
 426 de Pernambuco.

427

428 O segundo morcego visitante das flores de *Crateva tapia*, é o *Phyllostomus*  
 429 *discolor* (Wagner, 1843) da subfamília Phyllostominae (Phyllostomidae), o qual realizou  
 430 83 visitas, que corresponde a 2.78% do total. Este morcego foi registrado em apenas um  
 431 único indivíduo, tendo sido observada apenas quatro visitas no início da noite (18h-19h).  
 432 Os horários subsequentes apresentaram o número de visitas iguais, não apresentando um  
 433 horário de pico de visitas. *Phyllostomus discolor* apresentou comportamento diferente de  
 434 *Glossophaga soricina*, agarrando a flor e inserindo a cabeça nas inflorescências,  
 435 contactando as estruturas reprodutivas com a parte ventral do abdômen (Fig 7B). As

436 visitas duravam aproximadamente de 3 a 5 segundos. Os intervalos entre cada sessão de  
 437 forrageamento foram de aproximadamente 5 a 25 minutos.



438

439 **Figura 7:** A) *Glossophaga soricina* visitando flores de *Crateva tapia* e B) *Phyllostomus*  
 440 *discolor* visitando flores de *Crateva tapia* no campus Recife da Universidade Federal de  
 441 Pernambuco, Brasil

442

#### 443 Sistema Reprodutivo

444 Houve diferença nas proporções de formação de frutos entre os diferentes  
 445 tratamentos. *Crateva tapia* não produziu frutos por agamospermia. Apesar da ocorrência  
 446 de formação de frutos no tratamento de autopolinização, as flores de *Crateva tapia*  
 447 necessitam da polinização cruzada para a uma maior produção de frutos. Não houve  
 448 diferença na formação de sementes (Resid. Dev= 205.79; F= 1.8817; p= 0.1674) (Tabela  
 449 5).

450

451 **Tabela 5-** Sistema reprodutivo da população (n=3) de *Crateva tapia* do campus da  
 452 Universidade Federal de Pernambuco.

Treatamento	Flores	Frutos formados	Taxa de sucesso dos frutos (intervalo de confiança) %	Formação de sementes
Autopolinização	30	1	3.33 <sup>ab</sup> (0.17-16.67)	15 <sup>a</sup>
Polinização cruzada	45	7	15.56 <sup>a</sup> (7.75-28.78)	23±11 <sup>a</sup>
Polinização natural	90838	620	0.68 <sup>b</sup> (0.63-0.74)	15±10 <sup>a</sup>

453

#### 454 **4.1.1.1.1 Discussão**

#### 455 **Fenologia**

456 A floração de *Crateva tapia* pode ser enquadrada no padrão Big-bang (Gentry  
457 1974), uma vez que disponibiliza muitas flores por dia, por um curto período de tempo,  
458 produzindo uma grande quantidade de nectar. A população apresentou um único ciclo  
459 reprodutivo e desta forma foi classificada como padrão anual de acordo com a  
460 classificação de Newstrom et al. (1994), exceto um indivíduo que apresentou dois  
461 episódios reprodutivos com uma floração (5%) de baixa intensidade em julho, e outra de  
462 intensidade maior no mês de dezembro. Os indivíduos apresentaram uma alta sincronia  
463 ao nível populacional, essa estratégia adotada pela espécie pode ser benéfica para a  
464 população, pois pode contribuir para promover o cruzamento e reduzir a autofecundação  
465 (Narbona et al., 2011). Como verificamos em nossos resultados, apesar de *Crateva tapia*  
466 ser auto-compatível, esta necessita de polinização cruzada para maior produção de  
467 sementes.

468 A floração de *Crateva tapia* é sazonal ocorrendo em determinados meses do ano,  
469 tendo o fotoperíodo e a temperatura como gatilhos ambientais para que seja  
470 desencadeada. Devido a população estar presente em área urbana e tendo em vista que os  
471 centros urbanos apresentam maiores temperaturas, é possível que o microclima e as ilhas  
472 de calor também influenciem a fenologia reprodutiva (Neil & Wu, 2006; Kabano et al.,  
473 2021). Esses fatores podem antecipar a floração das espécies nas áreas urbanas (Jochner  
474 & Menzel, 2013) ou prolongar a floração (Li et al., 2017), bem como reduzir a intensidade  
475 da frutificação (Rebalatto et al., 2013). Diferente do padrão encontrado em *Crescentia*  
476 *cujete* L., uma espécie de Bignoniaceae quiropterófila também presente no *campus* da  
477 UFPE, a qual apresenta uma floração contínua ao longo do ano, porém com poucas flores  
478 abertas por noite (Albuquerque-Lima et al., 2022).

479 O padrão da frutificação de *Crateva tapia* pode ser classificado como anual e  
480 contínuo, devido ao tempo necessário para a maturação dos frutos. Enquanto a fenofase  
481 de frutos imaturos é observada basicamente ao longo do ano, a fenofase de frutos maduros  
482 é sazonal ocorrendo em determinados meses do ano. A maturação dos frutos ocorre  
483 durante a estação chuvosa, padrão comum para as espécies tropicais (Mendoza et al.,  
484 2017; Duham et al., 2018).

#### 485 **Biologia floral**

486 Por apresentar inflorescências com muitas flores agrupadas, formando uma  
487 unidade semelhante a um pseudanto do tipo pincel, *Crateva tapia* apresenta  
488 características semelhantes a outras espécies polinizadas por morcegos (Fleming et al.,  
489 2009), incluindo espécies da família Capparaceae (Fiei 2021; Primo 2004; Fabricante et  
490 al., 2008; Mangla & Tandon, 2011; Astuti et al., 2021). A exposição das inflorescências,  
491 em um longo pedúnculo garante a exposição das flores e permite aos morcegos uma maior  
492 acessibilidade as flores, o que é caracterizado por um padrão de exposição denominado  
493 estiloflora (Diniz et al. 2019b). Essas características são comuns entre outras espécies  
494 quiropterófilas, como *Mimosa lewisii* Barneby, *Tarenaya spinosa* (Jacq.) Raf e  
495 *Harpochilus nessianus* Mart., bem como para outras espécies da família Capparaceae  
496 como *Neocalyptrocalyx longifolium* (Mart.) Cornejo & Iltis (Diniz et al., 2019b).

497 Devido ao gênero *Crateva* apresentar flores com prefloração aberta (Jacobs  
498 1964), as espécies podem apresentar diferentes estratégia durante o processo de antese,  
499 *Crateva tapia* e *C. adansonii* DC., Prod compartilham da mesma condição de estruturas  
500 reprodutivas sempre expostas e voltadas para baixo. Contudo, em *C. adansonii* quando  
501 os estigmas estão receptivos, as pétalas se tornam brancas, com filetes na coloração roxa  
502 e após o período de receptividade as petalas ficam amarelas e o estigma na coloração  
503 preta (Mangla & Tandon, 2011). Essa estratégia pode ser importante na atração dos  
504 visitantes. Outra característica importante dentro da família é a presença de um longo  
505 ginóforo e numerosos estames (Carvalho 2002; Mangla & Tandon, 2011; Soosairaj et al.,  
506 2014).

507 O sistema sexual poligomonoico (com flores hermafroditas, estaminadas e  
508 pistiladas) pode contribuir para um maior fluxo polínico e assim aumentar a chances da  
509 polinização. De forma geral, esses sistemas andromonoicos e poligomonoicos são raros  
510 nas angiospermas, presentes em apenas 1.4% das espécies (Renner et al., 2014), sendo a  
511 poligomonoicia ainda mais rara em relação a andromonoicia (Cruden & Llyod 1995).  
512 Sistemas andromonoicos podem evitar a limitação polínica, pois garantem uma maior  
513 produção de pólen dentro do mesmo indivíduo aumentando as chances de polinização  
514 (Cronk, 2022). A família Capparaceae apresenta diferentes estratégias nos sistemas  
515 sexuais das espécies como a andromonoicia (Primo & Machado, 2009; Astuti et al., 2021)  
516 e espécies hermafroditas (Carvalho 2002; Mangla & Tandon, 2011), contribuindo para  
517 uma diversidade de estratégias dentro da família

518 Nossos resultados mostram que *Crateva tapia* possui três classes de voláteis:  
519 aromáticos, monoterpenos e sesquiterpeno. Os compostos aromáticos são comumente

520 relatados em flores noturnas, e testes de eletroantenograma com mariposas revelaram os  
521 voláteis Álcool benzílico e Benzaldeído como estimulantes na atração das mariposas  
522 (Raguso et al., 1996; Raguso & Light, 1998). O Benzaldeído é um volátil comum nas  
523 flores das angiospermas (Pontes et al., 2022) e o monoterpene (E)- $\beta$ -Ocimeno está  
524 presente em aromas florais de cerca de 71% das flores (Knudsen et al., 2006). O (E)-  
525 Cariofileno, por sua vez, é um volátil que pertence ao grupo dos sesquiterpeno, grupo que  
526 é responsável principalmente por agir na defesa contra possíveis patógenos (Huang et al.,  
527 2011), ocorrendo em aproximadamente 50% das angiospermas, sendo um dos 12  
528 principais compostos florais (Knudsen et al., 2006). Os principais COVs florais presentes  
529 em *Crateva tapia*, Benzaldeído, Álcool benzílico, Benzoato de etila, Benzoato de metila,  
530 Linalool, Acetato de benzila, (E)-4,8-dimetil-1,3,7-nonatrieno, (Z)- $\beta$ -Ocimeno, (E)- $\beta$ -  
531 Ocimeno, Salicilato de metila, já foram encontrados em outras espécies quiropterófilas  
532 (Knudsen & Tollsten, 1995; Bestmann et al., 1997; Von Helversen et al., 2000; Gonzalez-  
533 Terrazas et al., 2016; Domingos-Melo et al., 2020).

534 A coloração branco UV-absorvente com maiores refletâncias na faixa de  
535 comprimento de onda entre verde-amarelo das pétalas de *Crateva tapia*, que constituem  
536 a parte floral mais aparente, associadas com o filete que tem pico de refletância no  
537 vermelho-alaranjado, é um padrão considerado comum para espécies quiropterófilas  
538 (Domingos-Melo et al., 2021). Apesar de ser relatado por Winter et al. (2003) e Müller et  
539 al. (2009) que as flores de espécies polinizadas por morcegos podem refletir na faixa UV,  
540 e desta forma, os morcegos poderiam usar dessa característica para o seu benefício.  
541 Contudo, em *C. tapia* não foi confirmado esta condição.

## 542 **Sistema reprodutivo**

543 *Crateva tapia* é uma espécie auto-compatível e esse mecanismo pode garantir a  
544 sua reprodução. Contudo, espécies auto-compatíveis podem perder a variedade genética,  
545 além de produzir número de sementes inferior ou de menor tamanho em comparação a  
546 espécies incompatíveis (Lloyd, 1992). Nossos dados sugerem que *C. tapia* é uma espécie  
547 xenógama, tendo em vista que apresenta uma hercogamia marcante e o número de  
548 sementes no tratamento de polinização cruzada foi significativamente maior. Desta  
549 forma, a espécie necessita da polinização cruzada para uma reprodução mais eficiente.

## 550 **Interação com morcegos e fonte de recursos em área urbana.**

551 Ambos os morcegos *Glossophaga soricina* e *Phyllostomus discolor* são  
552 polinizadores das flores de *Crateva tapia* e parecem estar adaptados e habituados nos  
553 ambientes urbanos (Lemke, 1985) sendo comumente encontrados nestes locais (Nunes  
554 et al., 2017). Há diversos estudos realizados em áreas urbanas reportando seus papéis  
555 como polinizadores (Machado et al., 2006, Pedrozo et al., 2018, Albuquerque et al.,  
556 2022). Com isso, a importância de *Crateva tapia* como fonte de recursos para os  
557 morcegos urbanos torna-se ainda maior, tendo em vista que a sua floração ocorre durante  
558 a estação seca, momento que pode haver uma redução de recursos florais dentro do  
559 *campus* da Universidade Federal de Pernambuco para os quirópteros.

#### 560 4.1.1.1.1 Referências

- 561 Albuquerque-Lima, S., Diniz, U. M. & Machado, I. C. (2022). A nectar oasis for urban  
562 Glossophaginae bats: Temporal resource dynamics of the chiropterophilous *Crescentia*  
563 *cujete* (Bignoniaceae). *Urban Forestry & Urban Greening*. 67 (2022) 127412.
- 564 Astuti, I. P., Mutaqien, Z., Damayanti, F., Normasiwi, S. & Rozak, A. H. (2021).  
565 Flowering phenology and fruit formation of *Capparis micracantha* in the Bogor Botanic  
566 Gardens. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. (Vol. 948, No. 1,  
567 p. 012009). IOP Publishing.
- 568 Augspurger, C. K. (1983). Phenology, flowering synchrony, and fruit set of six  
569 neotropical shrubs. *Biotropica*. 257-267.
- 570 Baldock, K. C., Goddard, M. A., Hicks, D. M., Kunin, W. E., Mitschunas, N., Morse, H.,  
571 ... & Memmott, J. (2019). A systems approach reveals urban pollinator hotspots and  
572 conservation opportunities. *Nature Ecology & Evolution*, 3(3). 363-373.  
573 <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0769-y>
- 574 Bestmann, H. J., Winkler, L. & von Helversen, O. (1997). Headspace analysis of volatile  
575 flower scent constituents of bat-pollinated plants. *Phytochemistry*. 46(7), 1169-1172.
- 576 Bianchi, M. B. & Gibbs, P. E. (2000). Late-acting self-incompatibility in *Capparis retusa*  
577 (Capparaceae), a species of Chaco woodland in NE Argentina. *Brazilian Journal of*  
578 *Botany*. V23, 395-400.
- 579 Boero, L., Agostini, K., Domingos-Melo, A. (2022). Polinização por morcegos e sua  
580 importância. In Ghilardi-Lopes, N.P., Zatarra, E.E. *Ciência cidadã e polinizadores da*  
581 *américa do sul*. Editora cubo 1ª Edição. Pág. 154

- 582 Carvalho, H. A. L. (2002). *Capparaceae Juss. na Restinga de Maricá, RJ—Estudo sobre*  
583 *a biologia da reprodução de Capparis lineata Domb. ex Pers., C. flexuosa L. e Cleome*  
584 *rosea Vahl ex DC* (Tese de Doutorado, Universidade Federal de Rio de Janeiro).
- 585 Cronk, Q. (2022). The distribution of sexual function in the flowering plant: from  
586 monoecy to dioecy. *Philosophical Transactions of the Royal Society. B*, 377(1850),  
587 20210486.
- 588 Cruden, R. W. & Lloyd, R. M. (1995). Embryophytes have equivalent sexual phenotypes  
589 and breeding systems: why not a common terminology to describe them? *American*  
590 *Journal of Botany*. 82(6), 816-825.
- 591 Dafni, A., Eisikowitch, D. & Ivri, Y. (1987). Nectar flow and pollinators' efficiency in  
592 two co-occurring species of *Capparis* (Capparaceae) in Israel. *Plant Systematics and*  
593 *Evolution*. 157(3), 181-186.
- 594 Diniz, U. M., Lima, S. A. & Machado, I. (2019a). Short-distance pollen dispersal by bats  
595 in an urban setting: monitoring the movement of a vertebrate pollinator through  
596 fluorescent dyes. *Urban Ecosystems*. 22(2), 281-291. [https://doi.org/10.1007/s11252-](https://doi.org/10.1007/s11252-019-0825-7)  
597 [019-0825-7](https://doi.org/10.1007/s11252-019-0825-7)
- 598 Diniz, U. M., Domingos-Melo, A. & Machado, I. C. (2019b). Flowers up! The effect of  
599 floral height along the shoot axis on the fitness of bat-pollinated species. *Annals of*  
600 *Botany*. 124(5), 809-818.
- 601 Domingos-Melo, A., Diniz, U. M., Chalegre, S. L. & Machado, I. C. (2021). “Sweet  
602 Rain” from Bat-Pollinated Flowers: How Does Sugar Concentration Modulate Nectar  
603 Retention? *International Journal of Plant Sciences*. 182(1), 71-77.
- 604 Domingos-Melo, A., Garcia de Brito, V. L., Sersic, A. N., Cocucci, A. A., Lunau, K., &  
605 Machado, I. C. (2021). Shining bright in the dusk: How do bat-pollinated flowers reflect  
606 light? *Ecology*. 0(0), e03416
- 607 Domingos-Melo, A., Milet-Pinheiro, P., Navarro, D. M. D. A. F., Lopes, A. V. &  
608 Machado, I. C. (2020). It's raining fragrant nectar in the Caatinga: evidence of nectar  
609 olfactory signaling in bat-pollinated flowers. *The Bulletin of the Ecological Society of*  
610 *America*. 101(1), e01640.
- 611 Dunham, A. E., Razafindratsima, O. H., Rakotonirina, P. & Wright, P. C. (2018). Fruiting  
612 phenology is linked to rainfall variability in a tropical rain forest. *Biotropica*. 50(3), 396-  
613 404.

- 614 Dzul-Cauich, H. F. & Munguía-Rosas, M. A. (2022). Negative effects of light pollution  
615 on pollinator visits are outweighed by positive effects on the reproductive success of a  
616 bat-pollinated tree. *The Science of Nature*. 109:12 [https://doi.org/10.1007/s00114-021-](https://doi.org/10.1007/s00114-021-01783-5)  
617 [01783-5](https://doi.org/10.1007/s00114-021-01783-5)
- 618 Fabricante, J. R., Andrade, L. A. & Oliveira, L. S. (2009). Fenologia de *Capparis flexuosa*  
619 L. (Capparaceae) no Cariri Paraibano. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 4(2), 133-  
620 139.
- 621 Ferreira, H. D. S. (2016). *Clima urbano e dengue em Recife: influência climática sobre a*  
622 *formação das epidemias* (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco).
- 623 Fici, S. (2001). Intraspecific variation and evolutionary trends in *Capparis spinosa* L.  
624 (Capparaceae). *Plant Systematics and Evolution*. 228(3), 123-141.
- 625 Fleming, T. H., Geiselman, C. & Kress, W. J. (2009). The evolution of bat pollination: a  
626 phylogenetic perspective. *Annals of Botany* 104: 1017–1043, doi:10.1093/aob/mcp197
- 627 FLORA DO BRASIL. Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de  
628 Janeiro. Disponível em:  
629 [http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaU](http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do#CondicaoTaxonCP)  
630 [C.do#CondicaoTaxonCP](http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/ConsultaPublicaUC/ConsultaPublicaUC.do#CondicaoTaxonCP) acesso em 7. Jun de 2020.
- 631 Fournier, L. (1974). Un método cuantitativo para la medición de características  
632 fenológicas en árboles. *Turrialba*. 24 (4): 422-423.
- 633 Galindo, E. A., Alves, E. U., Silva, K. B., Barrozo, L. M. & Moura, S. D. S. S. (2012).  
634 Germinação e vigor de sementes de *Crataeva tapia* L. em diferentes temperaturas e  
635 regimes de luz. *Revista Ciência Agronômica*. 43, 138-145.
- 636 Gentry, A. H. (1974). Flowering phenology and diversity in tropical  
637 Bignoniaceae. *Biotropica*. vol 6,64-68.
- 638 Gonzalez-Terrazas, T. P., Martel, C., Milet-Pinheiro, P., Ayasse, M., Kalko, E. K. &  
639 Tschapka, M. (2016). Finding flowers in the dark: nectar-feeding bats integrate olfaction  
640 and echolocation while foraging for nectar. *Royal Society Open Science*. 3(8), 160199.  
641 <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.160199>
- 642 Heithaus, E. R., Opler, P. A. & Baker, H. G. (1974). Bat activity and pollination of  
643 *Bauhinia pauletia*: plant-pollinator coevolution. *Ecology*. 55(2), 412-419.

- 644 Hennig, E. I. & Ghazoul, J. (2012). Pollinating animals in the urban environment. *Urban*  
645 *Ecosystems*.15(1), 149-166. DOI 10.1007/s11252-011-0202-7  
646 <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0486>
- 647 Huang, M., Sanchez-Moreiras, A. M., Abel, C., Sohrabi, R., Lee, S., Gershenzon, J. &  
648 Tholl, D. (2012). The major volatile organic compound emitted from *Arabidopsis thaliana*  
649 flowers, the sesquiterpene (E)- $\beta$ -caryophyllene, is a defense against a bacterial  
650 pathogen. *New Phytologist*. 193(4), 997-1008.
- 651 Jacobs, M. (1964). The genus *Crateva* (Capparaceae). *Blumea: Biodiversity, Evolution*  
652 *and Biogeography of Plants*. 12(2), 177-208.
- 653 Jochner, S., Alves-Eigenheer, M., Menzel, A. & Morellato, L. P. C. (2013). Using  
654 phenology to assess urban heat islands in tropical and temperate regions. *International*  
655 *Journal of Climatology*. 33(15), 3141-3151. DOI: 10.1002/joc.3651
- 656 Kabano, P., Lindley, S. & Harris, A. (2021). Evidence of urban heat island impacts on  
657 the vegetation growing season length in a tropical city. *Landscape and Urban*  
658 *Planning*. 206, 103989. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103989>
- 659 Knudsen, J. T. & Tollsten, L. (1995). Floral scent in bat-pollinated plants: a case of  
660 convergent evolution. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 119(1), 45-57.
- 661 Knudsen, J. T., Eriksson, R., Gershenzon, J. & Ståhl, B. (2006). Diversity and distribution  
662 of floral scent. *The Botanical Review*. 72(1), 1-120.
- 663 Kumar, S. S. & Aluri, J. S. R. (2021). Pollination ecology of the rare tropical deciduous  
664 tree species, *Maerua apetala* (roth) m. Jacobs (capparaceae) in the southern eastern ghats  
665 forest of andhra pradesh, india. *Annali di Botanica*. 33-42. doi: 10.13133/2239-  
666 3129/16891
- 667 Lacerda, R. D. A., Lira Filho, J. D. & Santos, R. D. (2017). Indicação de espécies de porte  
668 arbóreo para a arborização urbana no semi-árido paraibano, 2011. *REVSBAU*. Piracicaba  
669 – SP, v.6, n.1, p.51-68, 2011.
- 670 Lemke, T. O. (1985). Pollen carrying by the nectar-feeding bat *Glossophaga soricina* in  
671 a suburban environment. *Biotropica*. 107-111.
- 672 Li, T., Liu, X., Li, Z., Ma, H., Wan, Y., Liu, X. & Fu, L. (2018). Study on reproductive  
673 biology of *Rhododendron longipedicellatum*: A newly discovered and special threatened  
674 plant surviving in limestone habitat in Southeast Yunnan, China. *Frontiers in Plant*  
675 *Science*. 9, 33. doi: 10.3389/fpls.2018.00033

- 676 Li, X., Zhou, Y., Asrar, G. R., Mao, J., Li, X. & Li, W. (2017). Response of vegetation  
677 phenology to urbanization in the conterminous United States. *Global Change*  
678 *Biology*. 23(7), 2818-2830. doi: 10.1111/gcb.13562
- 679 Llodra-Llabrés, J. & Cariñanos, P. (2022). Enhancing pollination ecosystem service in  
680 urban green areas: An opportunity for the conservation of pollinators. *Urban Forestry &*  
681 *Urban Greening*. 74, 127621. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127621>
- 682 Lloyd, D. G. (1992). Self-and cross-fertilization in plants. II. The selection of self-  
683 fertilization. *International Journal of Plant Sciences*. 153(3, Part 1), 370-380.
- 684 Lorenzi, H. (2002). Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas  
685 arbóreas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, v. 2 368 p.
- 686 Mach, B. M. & Potter, D. A. (2018). Quantifying bee assemblages and attractiveness of  
687 flowering woody landscape plants for urban pollinator conservation. *PLoS One*. 13(12),  
688 e0208428. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208428>
- 689 Machado, I.C., Lopes, A.V., Leite, A.V. & Brito Neves, C. (2006). *Cleome spinosa*  
690 (Capparaceae): Polygamodioecy and pollination by bats in urban and Caatinga areas,  
691 northeastern Brazil. *Botanische Jahrbücher für Systematik, Pflanzengeschichte und*  
692 *Pflanzengeographie*. 69-82.
- 693 Mangla, Y., & Tandon, R. (2011). Insects facilitate wind pollination in pollen-limited  
694 *Crateva adansonii* (Capparaceae). *Australian Journal of Botany*. 59(1), 61-69.
- 695 Maroja, T. E., da Silva, M. A. C., de Andrade, L. K. F. & Quirino, Z. G. M. (2018).  
696 Dados preliminares de síndromes de polinização e dispersão da flora herbácea em praças  
697 do bairro Tambiá da cidade de João Pessoa, Paraíba. *Revista Brasileira de Meio*  
698 *Ambiente*. (v.4, n.1)
- 699 Maruyama, P. K., Sonne, J., Vizontin-Bugoni, J., Martín González, A. M., Zanata, T. B.,  
700 Abrahamczyk, S., ... & Dalsgaard, B. (2018). Functional diversity mediates  
701 macroecological variation in plant–hummingbird interaction networks. *Global Ecology*  
702 *and Biogeography*. 27(10), 1186-1199.
- 703 Mendonça, F. & Danni-Oliveira, I. M. (2017). Climatologia: noções básicas e climas do  
704 Brasil. Editora Oficina de textos. ISBN 978-85-86238-54-3 Pag 208
- 705 Mendoza, I., Peres, C. A. & Morellato, L. P. C. (2017). Continental-scale patterns and  
706 climatic drivers of fruiting phenology: A quantitative Neotropical review. *Global and*  
707 *Planetary Change*. 148, 227-241. doi: 10.1016/j.gloplacha.2016.12.001

- 708 Mercado Gómez, J. D. & Escalante, T. (2019). Areas of endemism of the Neotropical  
709 species of Capparaceae. *Biological Journal of the Linnean Society*. 126(3), 507-520.
- 710 Morellato, L. P. C., Alberti, L.F. & Hudson, I.L. (2010). Applications of circular statistics  
711 in plant phenology: a case studies approach. In: Hudson, I.L. & Keatley, M. (Eds.).  
712 Phenological research: methods for environmental and climate change analysis. pp. 357–  
713 371. Dordrecht, Springer.
- 714 Müller, B., Glösmann, M., Peichl, L., Knop, G. C., Hagemann, C. & Ammermüller, J.  
715 (2009). Bat eyes have ultraviolet-sensitive cone photoreceptors. *PLoS One*. 4(7), e6390.
- 716 Narbona, E., Ortiz, P. L. & Arista, M. (2011). Linking self-incompatibility, dichogamy,  
717 and flowering synchrony in two *Euphorbia* species: alternative mechanisms for avoiding  
718 self-fertilization? *PloS One*. 6(6), e20668.
- 719 Nascimento, V. T., Agostini, K., Souza, C. S. & Maruyama, P. K. (2020). Tropical urban  
720 areas support highly diverse plant-pollinator interactions: An assessment from  
721 Brazil. *Landscape and Urban Planning*. 198, 103801.  
722 <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103801>
- 723 Neil, K. & Wu, J. (2006). Effects of urbanization on plant flowering phenology: a  
724 review. *Urban Ecosystems*. 9(3), 243-257. DOI 10.1007/s11252-006-9354-2
- 725 Neto, R. L., Magalhães, F. Á. L., Tabosa, F. R. S., Moro, M. F., Costa e Silva, M. B. &  
726 Loiola, M. I. B. (2014). Flora do Ceará, Brasil: Capparaceae. *Rodriguesia*. 65(3): 671-  
727 684. 2014 <http://rodriguesia.jbrj.gov.br>
- 728 Newstrom, L. E., Frankie, G. W. & Baker, H. G. 1994. A new classification for plant  
729 phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva,  
730 Costa Rica. *Biotropica*, 141–159.
- 731 Nunes, H., Rocha, F. L. & Cordeiro-Estrela, P. (2017). Bats in urban areas of Brazil:  
732 roosts, food resources and parasites in disturbed environments. *Urban Ecosystem*.  
733 20:953–969 DOI 10.1007/s11252-016-0632-3
- 734 Oliveira, W., Silva, J. L. S., de Oliveira, M. T. P., Cruz-Neto, O., da Silva, L. A. P.,  
735 Borges, L. A., ... & Lopes, A. V. (2019). Reduced reproductive success of the endangered  
736 tree brazilwood (*Paubrasilia echinata*, Leguminosae) in urban ecosystem compared to  
737 Atlantic forest remnant: lessons for tropical urban ecology. *Urban Forestry & Urban*  
738 *Greening*. 41, 303-312. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.020>
- 739 Ollerton, J., Winfree, R. & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated  
740 by animals?. *Oikos*. 120(3), 321-326. doi: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x

- 741 Pedrozo, A. R., Gomes, L. A. & Uieda, W. (2018). Feeding behavior and activity period  
742 of three Neotropical bat species (Chiroptera: Phyllostomidae) on *Musa paradisiaca*  
743 inflorescences (Zingiberales: Musaceae). *Iheringia. Série Zoologia*, 108. DOI:  
744 10.1590/1678-4766e2018022
- 745 Plano diretor da Universidade Federal de Pernambuco 2015- 46 pág.
- 746 Pontes, C. A. D. S., Domingos-Melo, A., Milet-Pinheiro, P., Navarro, D. M. D. A. F.,  
747 Lima Nadia, T. & Machado, I. C. (2022). Staminode of *Jacaranda rugosa* AH Gentry  
748 (Bignoniaceae) promotes functional specialization by ensuring signaling and mechanical  
749 fit to medium-sized bees. *Organisms Diversity & Evolution*. 1-15.  
750 <https://doi.org/10.1007/s13127-022-00558-8>
- 751 Primo, L. M. (2004). *Biologia floral e reprodutiva de Capparis jacobinae Moric. ex*  
752 *Eichler e Capparis hastata L. (Capparaceae)* (Dissertação de Mestrado, Universidade  
753 Federal de Pernambuco Recife).
- 754 Primo, L. M., & Machado, I. C. (2009). A new case of late-acting self-incompatibility in  
755 *Capparis* L. (Brassicaceae): *C. jacobinae* Moric. Ex Eichler, an endemic  
756 andromonoecious species of the Caatinga, Pernambuco State, Brazil. *Acta Botanica*  
757 *Brasilica*, 23, 764-768.
- 758 Raguso, R. A. & Light, D. M. (1998). Electroantennogram responses of male *Sphinx*  
759 *perelegans* hawkmoths to floral and 'green-leaf volatiles'. *Entomologia Experimentalis*  
760 *et Applicata*. 86(3), 287-293.
- 761 Raguso, R. A., Light, D. M. & Pickersky, E. (1996). Electroantennogram responses of  
762 *Hyles lineata* (Sphingidae: Lepidoptera) to volatile compounds from *Clarkia breweri*  
763 (Onagraceae) and other moth-pollinated flowers. *Journal of Chemical Ecology*. 22(10),  
764 1735-1766.
- 765 Rebelatto, D., Leal, T. S. & de Moraes, C. P. (2013). Fenologia de duas espécies de ipê  
766 em área urbana do município de Araras, São Paulo, Brasil. *Revista da Sociedade*  
767 *Brasileira de Arborização Urbana*. 8(1), 1-16.
- 768 Renner, S. S. (2014). The relative and absolute frequencies of angiosperm sexual systems:  
769 dioecy, monoecy, gynodioecy, and an updated online database. *American Journal of*  
770 *Botany*. 101(10), 1588-1596. doi:10.3732/ajb.1400196
- 771 Santos-Moura, S. D. S., Alves, E. U., Galindo, E. A., Moura, M. F. D. & Melo, P. A. F.  
772 R. D. (2014). Qualidade fisiológica de sementes de *Crataeva tapia* L. submetidas a

- 773 diferentes métodos de extração da mucilagem. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 36, n.  
774 3, p. 686- 692 <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-133/13>
- 775 Sharma, P., Patil, D. & Patil, A. (2013). *Crataeva tapia* Linn. an important medicinal  
776 plant: a review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacological  
777 properties. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 4 (2): 582-  
778 589
- 779 Soosairaj, S. & Kala, A. (2014). 8. Reproductive biology of the tropical vulnerable shrub  
780 capparid shevaroyensis sund.-ragh.(capparaceae). *Life Sciences Leaflets*. 52, 71-to.
- 781 Tschapka, M. & Von Helversen, O. (2007). Phenology, nectar production and visitation  
782 behaviour of bats on the flowers of the bromeliad *Werauhia gladioliflora* in a Costa Rican  
783 lowland rain forest. *Journal of Tropical Ecology*. 23(4), 385-395. DOI:  
784 10.1017/S0266467407004129.
- 785 Von Helversen, O., Winkler, L. & Bestmann, H. J. (2000). Sulphur-containing  
786 “perfumes” attract flower-visiting bats. *Journal of Comparative Physiology A*. 186(2),  
787 143-153.
- 788 Wanderley, L. S. A., Nóbrega, R. S., Moreira, A. B., dos Anjos, R. S. & de Almeida, C.  
789 A. P. (2018). As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. *Revista*  
790 *Brasileira de Climatologia*, Ano 14 – Vol. 22
- 791 Winter, Y., López, J. & Von Helversen, O. (2003). Ultraviolet vision in a  
792 bat. *Nature*. 425(6958), 612-614.
- 793 Wonderlin, N. E., Rumpfelt, K. & White, P. J. (2019). Associations between nocturnal  
794 moths and flowers in urban gardens: evidence from pollen on moths. *The Journal of the*  
795 *Lepidopterists' Society*. 73(3), 173-176.

**5- Capítulo 2: Frequência de visitas de morcegos nectarívoros em flores de *Crateva tapia* L. (Capparaceae) em árvores com diferentes áreas de copa e condições de iluminação artificial em área urbana**

A ser submetido ao periódico- Urban Forestry and Urban Greening

**Frequência de visitas de morcegos nectarívoros em flores de *Crateva tapia* L. (Capparaceae) em árvores com diferentes áreas de copa e condições de iluminação artificial em área urbana**

Josefa Rodrigues Carneiro<sup>1</sup>, Sinzinando Albuquerque de Lima<sup>1</sup>, Arthur Domingos-Melo<sup>2</sup>, Isabel Cristina Machado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Pernambuco, Avenida Professor Moraes Rego, 1235. Cidade Universitária-Recife-PE. 50670-901

<sup>2</sup> Laboratório de Ecologia, Universidade de Pernambuco (Campus Petrolina), 56328-900 Petrolina-PE, Brasil.

## Resumo

A diminuição da cobertura vegetal e o aumento da iluminação artificial à noite são resultantes do processo de urbanização, podendo afetar diretamente os polinizadores noturnos, como os morcegos. No geral, as respostas dos morcegos à iluminação artificial são espécie-específicas, sendo a maioria dos estudos que avaliam esse processo realizados com espécies insetívoras na Europa. Neste contexto, investigamos se há efeito da cobertura vegetal e iluminação artificial na interação entre esses mamíferos e as plantas as que polinizam. Para tanto, tomamos como modelo a espécie de árvore nativa *Crateva tapia* (Capparaceae) e a partir de um conjunto de indivíduos localizados em área urbana determinamos a área da copa (através de fotografias com escala) e a intensidade luminosa a que estão sujeitos (utilizando o luxímetro digital LD-550 calibrado para o tipo de lâmpada de led branca). Nestes mesmos indivíduos realizamos observações focais no período das 18h às 22h totalizando ca.100h de observação, monitorando a frequência de visitas dos morcegos. Um grupo de indivíduos apresentou área de copa que variou de ca. entre 3 a 7 m<sup>2</sup>, e outro grupos com 3 indivíduos apresentou uma área ca. 41 e 58 m<sup>2</sup>. A iluminação artificial nesses indivíduos variou entre 0,29 lux a 50 lux. Os valores da quantidade de iluminação variaram mais dentro de um mesmo indivíduo do que entre a população. A frequência de visitas às flores de *Crateva tapia* não foi afetada pela iluminação artificial. A interação entre iluminação e área da copa, também não apresentou efeito nas visitas. Contudo, observamos um efeito positivo entre área da copa e o número de visitas. Nossos dados reforçam que a relação entre os quirópteros e iluminação é espécie-específica no qual a iluminação não afetou o morcego *Glossophaga soricina*. Ressaltamos a importância da manutenção das árvores com maior porte em áreas urbanas e recomendamos evitar podas drásticas nestes indivíduos, sejam eles de *Crateva tapia* ou de outras plantas quiropterófilas.

**Palavras chaves:** Ecossistema urbano, Iluminação artificial, Quiropterofilia, Urbanização

## 5.1 Introdução

A maioria da população mundial vive em áreas urbanas (Kondo et al., 2018). O processo e crescimento da urbanização e a ocupação das cidades levam à fragmentação de áreas verdes e a perda de habitat, sendo considerado uma ameaça a biodiversidade (Li et al., 2019; Fenoglio et al., 2020). Em contrapartida, as infraestruturas verdes urbanas como praças, parques, vias públicas podem mitigar esse efeito ao garantir cobertura vegetal nas cidades e podem ofertar recursos para diferentes animais entre eles os polinizadores noturnos, como esfingídeos e morcegos (Merckx & Dyck, 2019; Paul, 2021; Diniz et al., 2019a; Albuquerque-Lima et al., 2022).

Árvores de grande porte desempenham papel importante nos centros urbanos, (Stagoll et al., 2012) pois podem abrigar diferentes táxons (Le-Roux et al., 2017), além de apresentar influência direta na diversidade de aves em parques (Stagoll et al., 2012). Além de servir como pontos de ligação com o ambiente natural (De fato, o tamanho das árvores afeta positivamente a abundância de aves em áreas urbanas, contudo, seu papel na riqueza ou composição de artrópodes e morcegos ainda não está claro (Le-Roux et al., 2017).

Além da perda de habitat, o aumento da iluminação artificial à noite (daqui em diante ALAN) também é um dos resultados desse processo de urbanização (Ma et al., 2015) e pode interferir na biologia das espécies de diferentes formas, impactando a fisiologia das plantas (Bennie et al., 2016), o comportamento dos animais (Russart et al., 2018), e afetando as interações ecológicas entre ambos (Briolat et al., 2021). Uma dessas consequências que tem sido recentemente documentada é o declínio de polinizadores com hábitos noturnos (Wenzel et al., 2020). Em ambientes urbanos a iluminação artificial à noite pode afetar diretamente os polinizadores noturnos, reduzindo a capacidade no transporte de pólen (Macgregor et al., 2017), podendo afetar a diversidade de polinizadores (Fox, 2013) e reduzir o número de visitas às flores. Como consequência pode interferir na rede de interação noturna (Knop et al., 2017), diminuindo a riqueza e a ocupação de morcegos em áreas urbanas (Mena et al., 2022).

Os morcegos são animais noturnos que estão presentes também em áreas urbanas (Russo & Ancilloto, 2015) e, dessa forma, são expostos a iluminação artificial. No geral, as respostas dos morcegos à iluminação artificial são espécie-específicas, podendo ser influenciadas pela morfologia e adaptação de voo de cada táxon (Stone et al., 2015). Alguns estudos mostram que as respostas para os morcegos insetívoros são contrastantes. Enquanto algumas espécies como *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774) podem

apresentar tolerância, para outras como *Carollia sowelli* Baker, Solari & Hoffmann, 2002 há uma relação negativa com a iluminação artificial à noite (Blake et al., 1994; Lewanzik & Voigt, 2017; Frank et al., 2018). As espécies de morcegos que são adaptadas a forragear em áreas abertas, e possuem asas longas, e conseqüentemente vôos mais rápidos, tendem a ser mais tolerantes à iluminação (Rydell, 1991; Rydell, 1992). Essa tolerância também é influenciada pelas características espectrais das lâmpadas (Rowse et al., 2016) e pela intensidade de iluminação (Laforge et al., 2019). A maioria dos estudos que avaliam o efeito da iluminação artificial nos morcegos, são realizados com espécies insetívoras na Europa (Azam et al., 2018; Straka et al., 2019; Pauwels et al., 2021), sendo a família Vespertilionidae a mais estudada (Lewanzik & Voigt, 2017; Rowse et al., 2018; Russo et al., 2019).

Os quirópteros frugívoros, por sua vez, respondem a iluminação negativamente, sendo a iluminação artificial à noite uma barreira, que pode inibir o forrageamento dos morcegos, e conseqüentemente diminuir a dispersão de sementes (Lewanzik & Voigt, 2014; Hoyos-Díaz et al., 2018). Por fim, para os morcegos nectarívoros, até o momento, foi realizado apenas um estudo que avalia o efeito da iluminação artificial na polinização (Dzul-Cauich & Munguia-Rosas, 2022) com a espécie *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. Este estudo mostrou que apesar da iluminação artificial apresentar um pequeno efeito na frequência de visitas às flores de *C. pentandra* entretanto, esse não afetou o sucesso reprodutivo da espécie, mostrando que a iluminação pode estimular a taxa de fotossíntese.

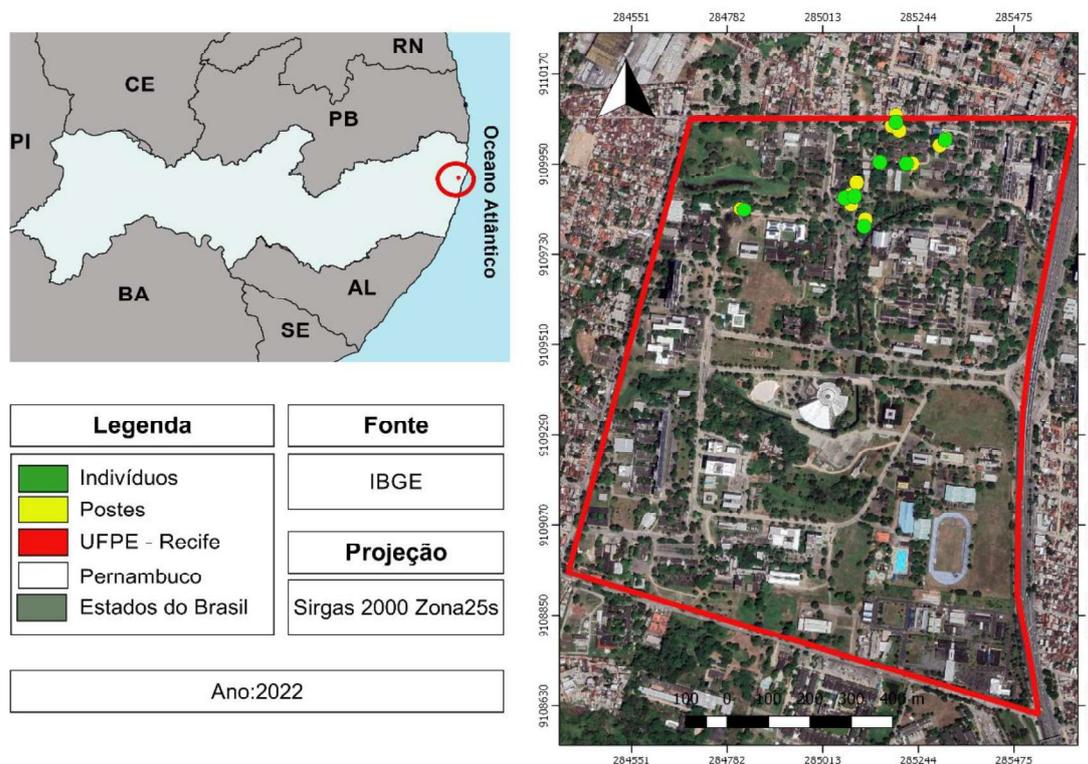
Diante do exposto, uma vez que os morcegos nectarívoros têm grande importância na polinização noturna (Fleming et al., 2009), investigamos como a cobertura vegetal (aqui acessada como área da copa) e a iluminação artificial (em conjunto com a iluminação natural-lua) afetam a frequência de visitas desses mamíferos às plantas cuja as flores são por eles polinizadas. Nós tomamos como modelo a espécie *Crateva tapia* L. (Capparaceae), uma árvore nativa utilizada na arborização urbana (Lorenzi, 2002). Considerando que, de forma geral, os morcegos apresentaram algumas respostas negativas em relação à iluminação artificial. E que o único artigo com morcegos nectarívoros também mostrou uma relação negativa com a frequência de visitas, nossa hipótese é que a iluminação artificial teria um efeito negativo na frequência de visitas às flores de *C. tapia*. Em relação a área da copa, nossa hipótese é que indivíduos maiores podem apresentar mais inflorescências e, desta forma, indivíduos com uma maior área de copa deve influenciar no número de visitas. Desta forma, nosso objetivo foi testar o efeito

da iluminação artificial e área da copa das árvores nessa interação, através do monitoramento da frequência de visitas em indivíduos sob diferentes condições de iluminação

### 5.1.1 Material e métodos

#### *Local de estudo*

Realizamos o estudo no campus da Universidade Federal de Pernambuco, unidade de Recife (8°03'06" S, 34°57'02" W), localizada no Nordeste do Brasil (Fig 1). O clima de Recife é do tipo Tropical Litorâneo do Nordeste Oriental (Mendonça & Dani-Oliveira, 2017). A precipitação média anual é 2292,9 mm (Wanderley et al., 2018), com temperaturas que variam entre 23°C e 34°C (Ferreira, 2016). O campus da UFPE possui 1.615.849,89 m<sup>2</sup>, com uma área construída de 384.539m<sup>2</sup> (Plano Diretor, 2015) e áreas verdes com algumas espécies vegetais como *Crescentia cujete* L. (Albuquerque-Lima et al., 2022) e *Crateva tapia* L (Carneiro et al., Cap 1 desta Dissertação), importantes como fonte de recursos para os morcegos urbanos. Essas áreas são pontos de recreação e para a realização de atividades físicas, sendo as vias iluminadas com sistemas de luz branca de *Light Emitting Diode* (LED) e vapor de Sódio.

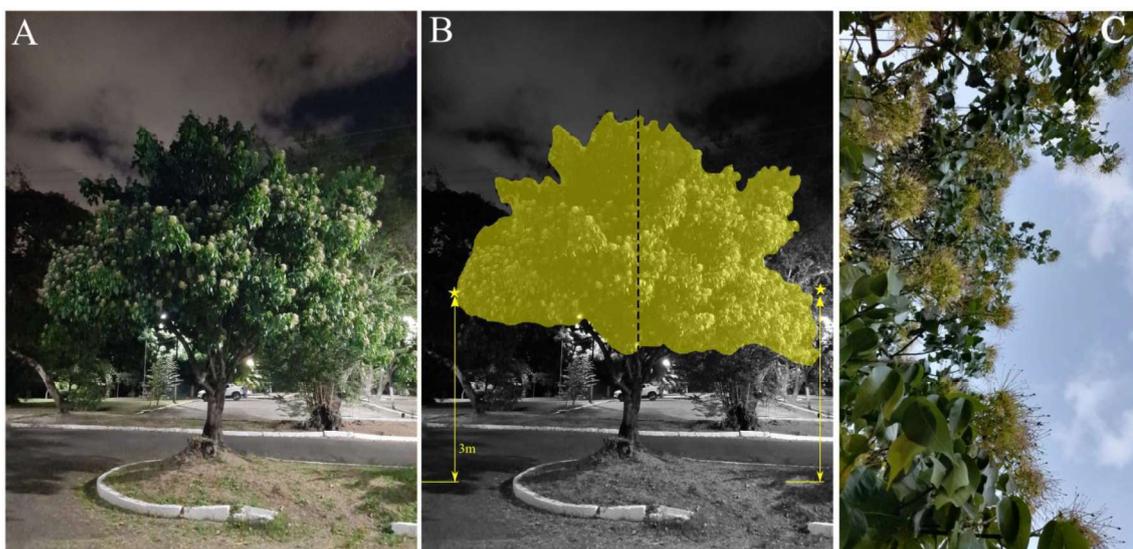


**Figura 1:** Localização do *campus* da Universidade Federal de Pernambuco em Recife – PE- Brasil, com os indivíduos estudados de *Crateva tapia* plotados em verde e os postes de iluminação artificial em amarelo

### *Sistema de estudo*

*Crateva tapia* L. (Capparaceae) é uma espécie nativa conhecida popularmente como trapiá, tem de 5 a 12 metros de altura (Lorenzi, 2002) e apresenta distribuição geográfica neotropical (Gómez & Escalante, 2018). As flores são reunidas em inflorescências do tipo racemo, possuem estiloflora (sensu Diniz et al 2021) e estão uniformemente espalhadas na superfície da copa (Lorenzi, 2002). A espécie possui antese noturna, sendo comprovadamente polinizada por morcegos (Carneiro et al., Cap 1 desta Dissertação). Os frutos carnosos possuem tamanho médio, apresentando uma coloração amarela quando maduros (Lacerda et al., 2011), são comestíveis e apreciados pela fauna (Lorenzi, 2002). Por apresentar uma copa densa e potencial ornamental *C. tapia* é indicada para a arborização paisagística, para áreas urbanas e áreas de mata ciliar (Lacerda et al., 2011), bem como para o reflorestamento de áreas degradadas nos locais de onde é nativa (Lorenzi, 2002).

Foram selecionados oito indivíduos, com distâncias entre si que variam de 45 a 455 metros (Fig 2A). As distâncias desses indivíduos para os postes/fonte de luz variavam entre 4,01 a 25 metros. A população estudada é poligomonóica (trimonóica), uma vez que os indivíduos possuem três tipos de flores: 1) hermafroditas (com estames e ginóforo longos), 2) estaminadas (com estames longos) e 3) pistiladas (com ginóforo longo e estames não funcionais) (Carneiro et al., Cap 1 desta Dissertação). Os indivíduos estudados de *Crateva tapia* estão reprodutivamente ativos durante uma floração curta no período de três ou quatro semanas entre os meses de outubro a fevereiro (Carneiro et al., Cap 1 desta Dissertação) (Fig 2C).



**Figura 2:** A) Indivíduo de *Crateva tapia* (Capparaceae) no *campus* da Universidade Federal de Pernambuco com copa cujo os lados estão sob diferentes condições de luz; (B) Esquema ilustrando como foram mensuradas a área da copa (preenchimento amarelo), divisão entre os lados da copa (linha preta tracejada) e locais de onde foram obtidas as medidas de iluminação (estrelas); (C) inflorescências de *Crateva tapia* são distribuídas uniforme sobre a copa.

*Caracterização dos indivíduos: Medidas da área da copa e de intensidade luminosa*

Para obter uma medida comparativa da área da copa entre os indivíduos, nós realizamos fotografias com escala (Fig 2B), de um ponto de vista frontal (o mesmo utilizado para as observações de frequência de visitas – ver item 2.3 abaixo). A partir dessas fotos realizamos medidas de altura dos indivíduos e área da copa no Programa ImageJ.

Realizamos as medidas de intensidade luminosa entre os dias 04 e 21 de novembro de 2021, utilizando o luxímetro digital LD-550 calibrado para o tipo de lâmpada led branca. As medidas foram realizadas no mesmo horário, entre 19h e 21h, horário definido como o de maior frequência de visitas de morcegos às flores de *Crateva tapia* (Carneiro et al., Cap 1 desta Dissertação). Levando em consideração que o ciclo lunar poderia afetar a intensidade de luz do ambiente, as medidas foram repetidas ao longo das fases de lua cheia até a lua nova, sendo registradas as porcentagens de lua aparente a cada noite (Software-Lua). As medidas foram realizadas o mais próximo da copa dos indivíduos, a três metros de altura, com o auxílio de uma escada. A cada noite, foram registradas duas medidas de intensidade luminosa por indivíduo, nas extremidades da copa em vista frontal, totalizando 10 medidas de intensidade luminosa em cada indivíduo (Fig 2B).

*Monitoramento da frequência de visitas dos morcegos*

Realizamos observações focais para monitoramento da frequência de visitas de morcegos polinizadores nos mesmos oito indivíduos de *C. tapia* descritos acima. Tais observações foram feitas ao longo de 30 noites não consecutivas, em duas estações reprodutivas diferentes, a primeira entre os meses de novembro de 2020 fevereiro de 2021, e a segunda de outubro a novembro de 2021, sempre no pico de floração dos indivíduos. As observações focais tiveram duração de uma a quatro horas, entre às 18h e 22h, totalizando 99h30 minutos de observação. A frequência de visita foi determinada a partir da contagem direta, sendo anotados o horário e o número de aproximações dos morcegos, bem como o número de flores abordadas em cada rota de visita. Para as

análises, consideramos apenas as visitas de *Glossophaga soricina*, devido ao fato de *Phyllostomus discolor* ter realizado visitas apenas em um único indivíduo e por apenas duas noites.

### *Análises*

Para verificar se houve efeito da porcentagem de lua aparente na iluminação dos indivíduos, nós realizamos um Modelo lineares mistos (LMM), no qual a porcentagem da lua foi a variável explicativa, os indivíduos foram incluídos como variáveis aleatórias e a iluminação foi a variável resposta. A fim de visualizar como a iluminação variou dentro e entre os indivíduos nós calculamos a partição da variância através de uma tabela de ANOVA.

A iluminação de cada lado dos indivíduos foi sumarizada através da média das medidas das 10 diferentes noites. A taxa de frequência de visitas dos morcegos foi calculada a partir da razão entre o total de visitas registradas em cada lado da árvore e a quantidade de horas de observação realizada por noite. Para verificar o efeito da iluminação e da área da copa sobre a frequência de visitas também realizamos um LMM. Neste caso a iluminação média e a área da copa, bem como a interação entre ambas, foram inseridas como variáveis explicativas. Os indivíduos e as noites de observação foram inseridos como variáveis aleatórias, enquanto a taxa de visitas foi inserida como variável resposta. Todos os modelos foram verificados a priori para normalidade residual através de inspeção gráfica. Essas análises foram realizadas com o pacote nlme (Pinheiro et al. 2017) usando o R v3.4.4 (R Core Team 2017).

#### **5.1.1.1 Resultados**

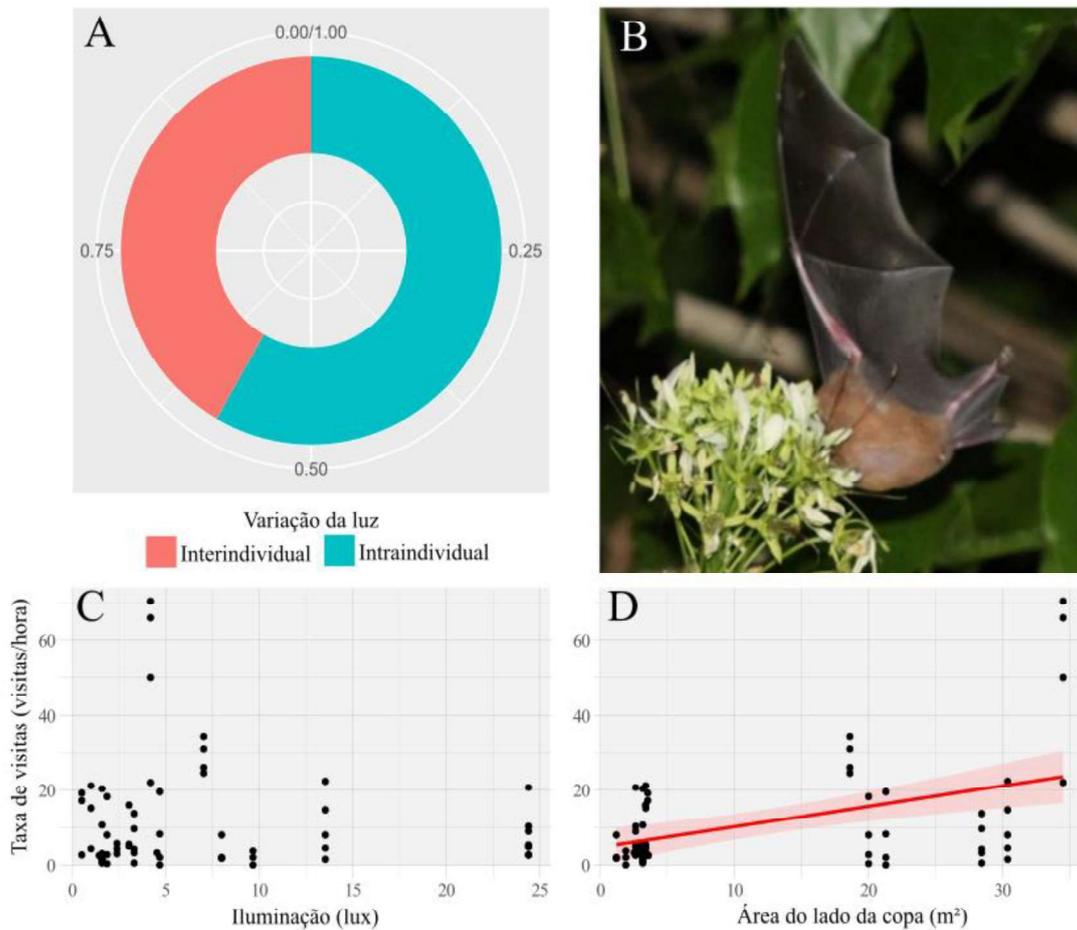
##### *Caracterização dos indivíduos: Medidas da área da copa e de intensidade luminosa*

Os indivíduos de *Crateva tapia* podem ser separados em dois grupos. No primeiro (n= 5) a altura varia de 3 a 6 metros de altura, e no segundo grupo (n= 3) as árvores são maiores, com alturas variando entre 10 a 14 metros. Em relação a área da copa em vista frontal, esse mesmo conjunto de cinco indivíduos possui uma área de ca. 3 a 7 m<sup>2</sup>, e os três indivíduos maiores apresentam áreas de copa que variam entre ca. 41 e 58 m<sup>2</sup>.

A iluminação artificial nesses indivíduos variou entre 0,29 lux a 50 lux. Detectamos maior variação de iluminação dentro dos indivíduos, ou seja, entre os lados de uma mesma árvore, essa diferença compreendeu 58% da variação registrada na iluminação. Por sua vez, 41.72% da variação na iluminação ocorre entre os diferentes indivíduos (Fig 3A). Não foi observado efeito da porcentagem de lua aparente na iluminação por noite– (numDF = 1; denDF=161; F=0.024121; p=0.8768).

#### *Monitoramento da frequência de visitas dos morcegos*

Registramos o total de 2898 visitas às flores de *Crateva tapia*. Enquanto para alguns indivíduos registramos cerca de apenas duas visitas por hora, em outros foram observadas mais de 50 visitas no mesmo intervalo (Tabela 1) (Fig 3B). A condição de iluminação, entretanto, não apresentou efeito no número de visitas dos morcegos em *Crateva tapia* (numDF=1; denDF= 27; F=0.071288; p=0.7915) (Fig 3C). Contudo, foi observado que as árvores com áreas de copa maiores, aumentavam positivamente a frequência de visitas (numDF=1; denDF=27; F=26.57368; p=<.0001) (Fig 3D). A interação entre iluminação e área da copa, também não apresentou efeito na quantidade de visitas (numDF=1; denDF=27; F=0.485516; p= 0.4919).



**Figura 3:** (A) Variação da iluminação dentro e entre os indivíduos de *Crateva tapia* no *campus* da Universidade Federal de Pernambuco. (B) Visita de morcego nectarívoro especializado a uma inflorescência. (C) Gráficos de dispersão da taxa de visitas dos morcegos em relação a iluminação e (D) área da copa dos indivíduos. Detectamos efeito apenas para a área da copa (conforme demonstrado pela linha de tendência em vermelho, e intervalo de confiança preenchido em rosa).

**Tabela 1** - Dados de iluminação, área da copa e taxa de visitas por noite, obtidos dos indivíduos de *Crateva tapia* (Capparaceae) estudados no *campus* da Universidade Federal de Pernambuco em Recife – PE- Brasil.

Indivíduos	Área da copa total (m <sup>2</sup> )	Lado	Iluminação (Lux - média±desvio)	Tempo de observação (horas/noites)	Taxa de Visitas (média±desvio)
1	3.08	A	7.99±2.8	12/3	3.92±3.54
		B	9.67±5.7		1.92±1.88
2	6.26	A	2.40±0.5	8/3	4.36±1.38
		B	3.04±1.4		8.83±6.21
3	6.09	A	4.54±3.1	4/1	3.25
		B	1.45±1.6		2.50
4	53.15	A	4.19±2.9	16/4	52.13±21.93
		B	7.03±13.1		28.94±4.50
5	5.79	A	1.60±0.7	18/7	5.72±7.29
		B	24.40±4.9		7.92±6.34
6	58.84	A	13.54±3.7	17/5	10.22±8.38
		B	3.31±3.0		6.28±5.34
7	6.92	A	1.01±0.4	9/3	13.56±8.52
		B	0.51±0.4		13.00±9.00
8	41.32	A	1.86±1.1	15/4	7.33±7.95
		B	4.69±2.0		7.44±8.78

#### 5.1.1.1.1 Discussão

Registramos diferentes condições de iluminação, principalmente entre os lados de cada indivíduo, indicando que uma única árvore pode apresentar diferentes condições de iluminação a ser explorada pelos morcegos nectarívoros. Não encontramos qualquer efeito da porcentagem de lua aparente sobre a intensidade da luz sobre as árvores ao longo das noites. Essa condição é provavelmente resultado da grande quantidade de iluminação artificial na área de estudo, e torna improvável a existência do fenômeno de fobia lunar. A fobia lunar apresenta contrastantes respostas aos quirópteros, podendo reduzir a atividades dos morcegos insetívoros como *Myotis chiloensis* (Waterhouse, 1840), e *Histiotus montanus* (Philippi & Landbeck, 1861) (Vásquez et al., 2020), isso pode ser relacionado devido ao aumento do risco de predação, tendo em vista que em noites mais

claras tendem a ter mais visibilidades aos predadores (Saldaña-Vázquez et al., 2013). Nossos resultados também indicaram uma grande variação na população de *Crateva tapia*, em relação às áreas das copas.

A intensidade luminosa, não afetou a interação entre as flores de *Crateva tapia* e seus visitantes, refutando a nossa previsão de que a iluminação comprometeria a frequência de visitas. Em contrapartida, o tamanho da copa influenciou diretamente o número de visitas corroborando esta nossa expectativa. Nosso achado em relação ao efeito da luz difere do resultado observado por Dzul-Cauich & Munguía-Rosas (2022), no qual em condições baixas de iluminação com média de  $5,06 \pm 0,86$  lux afetou negativamente o número de visitas de *Artibeus jamaicensis* Leach, 1821 e *A. lituratus* (Olfers, 1818) em *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, embora não tenha afetado o sucesso reprodutivo e a deposição de pólen desta espécie vegetal. O morcego polinizador de *C. tapia*, *G. soricina*, é comumente relatado em áreas urbanas do Brasil (Nunes et al., 2017) desta forma, é possível que esteja mais adaptado a ecossistemas urbanos e conseqüentemente não seja afetado pela iluminação (Mena et al., 2022).

De fato, o efeito da iluminação artificial aos quirópteros é espécie-específica para cada táxon (Stone et al., 2015), quando os quirópteros são frugívoros e insetívoros os resultados dessa relação com a iluminação artificial são ainda mais contrastantes, podendo ser encontradas diferentes respostas. Para os morcegos frugívoros, a iluminação afeta diretamente a dispersão de sementes por *Carollia sowelli* Baker, Solari & Hoffmann, 2002 (Lewanzik & Voigt, 2014), enquanto os quirópteros insetívoros apresentam uma relação de maior tolerância com a iluminação (Rydell, 1991; Rydell, 1992; Azam et al., 2018).

A arborização do campus da UFPE, que tem muitas áreas verdes, associada a adaptação de *Glossophaga soricina* aos centros urbanos, podem contribuir para a ausência de efeito da iluminação no número de visitas. Alguns estudos indicam que a presença da cobertura vegetal e de árvores nos centros urbanos, podem minimizar o efeito a iluminação artificial nos morcegos, e também ser fonte de recursos para sua alimentação (Straka et al., 2019; Albuquerque-Lima et al., 2022; Dzul-Cauich & Munguía-Rosas, 2022).

Nossos dados, por sua vez, indicaram que há um efeito positivo em relação a área da copa e o número de visitas, mostrando a importância da conservação de árvores maiores como fonte de recursos. Embora saibamos que a manutenção de grandes árvores em ambientes urbanos pode gerar problemas como por exemplo, conflitos com as

infraestruturas como fios, calçadas e risco de acidentes e tombamentos (Roman et al., 2021), aqui demonstramos a importância de mantê-las no ambiente. Tais árvores são fundamentais para a paisagem urbana, tendo vista que pode servir de habitat para diferentes táxons (Le-Roux et al., 2017), gerando muitos serviços ecossistêmicos e melhorando o bem-estar da população (Nádasy et al., 2019).

#### **5.1.1.1.1 Conclusão**

O fato dos nossos dados apresentarem uma relação positiva entre área da copa e o número de visitas, reforça a importância da conservação de indivíduos maiores *Crateva tapia*, bem como de outras plantas quiropterófilas, pois estes indivíduos são importantes fonte de recurso para os morcegos urbanos.

### **6 Considerações finais**

A população estudada é poligomonóica, apresentando três tipos de flores: hermafroditas, estaminadas e pistiladas florescendo, apenas uma vez ao ano. As flores de *Crateva tapia* apresenta maiores refletâncias no comprimento de onda entre verde-amarelo padrão comum para as espécies quiropterófilas. Os principais compostos voláteis encontrados nas inflorescências foram *E*)- $\beta$ -Ocimene, Álcool benzílico, (E)-Cariofileno, e Benzaldeído, esses são comumente relatados em espécies com antese noturna.

Registramos dois polinizadores ambos pertencentes a família Phyllostomidae com um total de 2980 visitas em ca.100h de observação, das quais 97,21% das visitas realizada por *Glossophaga soricina* e 2,78% pelo morcego *Phyllostomus discolor*. Os polinizadores apresentaram diferentes comportamentos, *G. soricina* pairava durante a tomada de néctar das flores, *Phyllostomus discolor* apresentou um comportamento no qual agarrava-se à flor. A frequência de visitas às flores de *C. tapia* não foi afetada pela iluminação artificial. A iluminação variou mais dentro do que entre os indivíduos da população. Nossos dados reforçam que a relação entre os quirópteros e iluminação é espécie-específica.

Devido ao efeito positivo entre área da copa e o número de visitas, ressaltamos a importância da manutenção das árvores com maior porte em áreas urbanas e recomendamos evitar podas drásticas nestes indivíduos, sejam eles de *Crateva tapia* ou de outras plantas quiropterófilas.

## Referências

- Albuquerque-Lima, S., Diniz, U. M. & Machado, I. C. (2022). A nectar oasis for urban Glossophaginae bats: Temporal resource dynamics of the chiropterophilous *Crescentia cujete* (Bignoniaceae). *Urban Forestry & Urban Greening*. 67 (2022) 127412.
- Azam, C., Le Viol, I., Bas, Y., Zisis, G., Vernet, A., Julien, J. F. & Kerbiriou, C. (2018). Evidence for distance and illuminance thresholds in the effects of artificial lighting on bat activity. *Landscape and Urban Planning*. 175, 123-135.
- Bennie, J., Davies, T. W., Cruse, D. & Gaston, K. J. (2016). Ecological effects of artificial light at night on wild plants. *Journal of Ecology*. 104(3), 611-620. doi: 10.1111/1365-2745.12551
- Blake, D., Hutson, A. M., Racey, P. A., Rydell, J. & Speakman, J. R. (1994). Use of lamplit roads by foraging bats in southern England. *Journal of Zoology*, 234(3), 453-462.
- Briolat, E. S., Gaston, K. J., Bennie, J., Rosenfeld, E. J. & Troscianko, J. (2021). Artificial nighttime lighting impacts visual ecology links between flowers, pollinators and predators. *Nature Communications*. 12(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24394-0> | [www.nature.com/naturecommunications](http://www.nature.com/naturecommunications)
- Carneiro, J.R. (2022). Sob as luzes da cidade: efeito da iluminação artificial na polinização por morcegos em *Crateva tapia* l. (Capparaceae). (Dissertação- Biologia Vegetal). Centro de Biociências. Universidade Federal de Pernambuco.
- de Albuquerque Lacerda, R. M., de Lira Filho, J. A. & dos Santos, R. V. (2011). Indicação de espécies de porte arbóreo para a arborização urbana no semi-árido paraibano. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*. v.6, n.1, p.51-68.
- Diniz, U. M., Lima, S. A. & Machado, I. (2019a). Short-distance pollen dispersal by bats in an urban setting: monitoring the movement of a vertebrate pollinator through fluorescent dyes. *Urban Ecosystems*. 22(2), 281-291. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-0825-7>
- Dzul-Cauich, H. F. & Munguía-Rosas, M. A. (2022). Negative effects of light pollution on pollinator visits are outweighed by positive effects on the reproductive success of a bat-pollinated tree. *The Science of Nature*. 109:12 <https://doi.org/10.1007/s00114-021-01783-5>
- Elvidge, C. D., Keith, D. M., Tuttle, B. T. & Baugh, K. E. (2010). Spectral identification of lighting type and character. *Sensors*. 10(4), 3961-3988.

- Fenoglio, M. S., Rossetti, M. R. & Videla, M. (2020). Negative effects of urbanization on terrestrial arthropod communities: A meta-analysis. *Global Ecology and Biogeography*. 29(8), 1412-1429. DOI: 10.1111/geb.13107
- Ferreira, H. D. S. (2016). *Clima urbano e dengue em Recife: influência climática sobre a formação das epidemias* (Master's thesis, Universidade Federal de Pernambuco).
- Fleming, T. H., Geiselman, C. & Kress, W. J. (2009). The evolution of bat pollination: a phylogenetic perspective. *Annals of Botany* 104: 1017–1043, doi:10.1093/aob/mcp197
- Fox, R. (2013). The decline of moths in Great Britain: a review of possible causes. *Insect Conservation and Diversity*, 6: 5–19 doi: 10.1111/j.1752-4598.2012.00186.x
- Frank, T. M., Gabbert, W. C., Chaves-Campos, J. & LaVal, R. K. (2019). Impact of artificial lights on foraging of insectivorous bats in a Costa Rican cloud forest. *Journal of Tropical Ecology*. 35(1), 8-17. <https://doi.org/10.1017/S0266467418000408>
- Hoyos-Díaz, J. M., Villalba-Alemán, E., Ramoni-Perazzi, P. & Muñoz-Romo, M. (2018). Impact of artificial lighting on capture success in two species of frugivorous bats (Chiroptera: Phyllostomidae) in an urban locality from the Venezuelan Andes. *Mastozoología Neotropical*. 25(2): 473-478, <https://doi.org/10.31687/saremMN.18.25.2.0.22>
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M. & Fontaine, C. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*. 548(7666).206-209. doi:10.1038/nature23288
- Kondo, M. C., Fluehr, J. M., McKeon, T. & Branas, C. C. (2018). Urban green space and its impact on human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018, 15, 445; doi:10.3390/ijerph15030445
- Lacerda, R. D. A., Lira Filho, J. D. & Santos, R. D. (2017). Indicação de espécies de porte arbóreo para a arborização urbana no semi-árido paraibano, 2011. REVSBAU. Piracicaba – SP, v.6, n.1, p.51-68, 2011
- Laforge, A., Pauwels, J., Faure, B., Bas, Y., Kerbirou, C., Fonderflick, J. & Besnard, A. (2019). Reducing light pollution improves connectivity for bats in urban landscapes. *Landscape Ecology*. (2019) 34:793–809 [https://doi.org/10.1007/s10980-019-00803-0\(0123456789\(\).,-volV \(\) 0123458697\(\).,-volV](https://doi.org/10.1007/s10980-019-00803-0(0123456789().,-volV () 0123458697().,-volV)

- Le-Roux, D. S., Ikin, K., Lindenmayer, D. B., Manning, A. D. & Gibbons, P. (2018). The value of scattered trees for wildlife: Contrasting effects of landscape context and tree size. *Diversity and Distributions*. 24(1), 69-81.
- Lemke, T. O. (1985). Pollen carrying by the nectar-feeding bat *Glossophaga soricina* in a suburban environment. *Biotropica*. Vol 17. 107-111
- Lewanzik, D. & Voigt, C. C. (2014). Artificial light puts ecosystem services of frugivorous bats at risk. *Journal of Applied Ecology*. 51(2), 388-394. doi: 10.1111/1365-2664.12206
- Lewanzik, D. & Voigt, C. C. (2017). Transition from conventional to light-emitting diode street lighting changes activity of urban bats. *Journal of Applied Ecology*. 54(1), 264-271. doi: 10.1111/1365-2664.12758
- Li, F., Zheng, W., Wang, Y., Liang, J., Xie, S., Guo, S., ... & Yu, C. (2019). Urban green space fragmentation and urbanization: A spatiotemporal perspective. *Forests*, 10, 333; doi:10.3390/f10040333
- Lorenzi, H. (2002). *Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, v. 2 368 p.
- Ma, T., Zhou, Y., Zhou, C., Haynie, S., Pei, T. & Xu, T. (2015). Night-time light derived estimation of spatio-temporal characteristics of urbanization dynamics using DMSP/OLS satellite data. *Remote Sensing of Environment*. 158453–464 <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.022>
- Macgregor, C. J., Evans, D. M., Fox, R. & Pocock, M. J. (2017). The dark side of street lighting: impacts on moths and evidence for the disruption of nocturnal pollen transport. *Global Change Biology*. 23, 697–707, doi: 10.1111/gcb.13371
- Mena, J. L., Rivero, J., Bonifaz, E., Pastor, P., Pacheco, J. & Aide, T. M. (2022). The effect of artificial light on bat richness and nocturnal soundscapes along an urbanization gradient in an arid landscape of central Peru. *Urban Ecosystems*. 25: 563–574. <https://doi.org/10.1007/s11252-021-01163-x>
- Mendonça, F. & Danni-Oliveira, I. M. (2017). *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. Editora Oficina de textos. ISBN 978-85-86238-54-3 Pag 208

Mercado Gómez, J. D. & Escalante, T. (2019). Areas of endemism of the Neotropical species of Capparaceae. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2018, 126, 507–520

Merckx, T. & Van Dyck, H. (2019). Urbanization-driven homogenization is more pronounced and happens at wider spatial scales in nocturnal and mobile flying insects. *Global Ecology and Biogeography*. 28(10), 1440-1455. DOI: 10.1111/geb.12969

Nádasy, L. Z., Sándor, G. & Illyés, Z. (2019). The Role of Individual Trees in the Protection of Urban Image. In *Proceedings of the Fábos Conference on Landscape and Greenway Planning*. (Vol. 6, No. 1, p. 28).

Nunes, H., Rocha, F. L. & Cordeiro-Estrela, P. (2017). Bats in urban areas of Brazil: roosts, food resources and parasites in disturbed environments. *Urban Ecosystem*. 20:953–969 DOI 10.1007/s11252-016-0632-3

Paul, M. (2021). Impact of urbanization on moth (Insecta: Lepidoptera: Heterocera) diversity across different urban landscapes of Delhi, India. *Acta Ecologica Sinica*. 41(3), 204-209. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2021.01.008>

Pauwels, J., Le Viol, I., Bas, Y., Valet, N. & Kerbiriou, C. (2021). Adapting street lighting to limit light pollution's impacts on bats. *Global Ecology and Conservation*. 28, e01648. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01648>

Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., Heisterkamp, S. Van Willigen, B. Maintainer R (2017) Package 'nlme'. Linear and nonlinear mixed effects models, version, 3(1)

Plano diretor da Universidade Federal de Pernambuco 2015- 46 pág.

R Core Team (2019). R: a language and environment for statistical computing. R Found. Stat. Comput. Vienna, Austria. [http:// www.R- proje ct. org/](http://www.R-project.org/). page R Foundation for Statistical Computing

Roman, L. A., Conway, T. M., Eisenman, T. S., Koeser, A. K., Ordóñez Barona, C., Locke, D. H., ... & Vogt, J. (2021). Beyond 'trees are good': Disservices, management costs, and tradeoffs in urban forestry. *Ambio*. 50(3), 615-630.

Rowse E. G., Harris S. & Jones G (2016). The Switch from low-pressure sodium to light emitting diodes does not affect bat activity at street lights. *PLoS ONE*. 11(3): e0150884. doi:10.1371/journal.pone.0150884

- Rowse, E. G., Harris, S. & Jones, G. (2018). Effects of dimming light-emitting diode street light on light-opportunistic and light-averse bats in suburban habitats. *Royal Society Open Science*. 5(6), 180205. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.4106981>.
- Russo, D. & Ancillotto, L. (2015). Sensitivity of bats to urbanization: a review. *Mammalian Biology*. 80(3), 205-212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mambio.2014.10.003>
- Russo, D., Cosentino, F., Festa, F., De Benedetta, F., Pejic, B., Cerretti, P. & Ancillotto, L. (2019). Artificial illumination near rivers may alter bat-insect trophic interactions. *Environmental Pollution*. 252, 1671-1677. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.105>
- Rydell, J. (1991). Seasonal use of illuminated areas by foraging northern bats *Eptesicus nilssonii*. *Holarctic Ecology*. 14: 203-207.
- Rydell, J. (1992). Exploitation of insects around streetlamps by bats in Sweden. *Functional Ecology*. 1992, Vol. 6, No. 6 (1992), pp. 744-750
- Russart, K. L. & Nelson, R. J. (2018). Artificial light at night alters behavior in laboratory and wild animals. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*. 329(8-9), 401-408.
- Saldaña-Vázquez, R. A. & Munguía-Rosas, M. A. (2013). Lunar phobia in bats and its ecological correlates: A meta-analysis. *Mammalian Biology*. 78(3), 216-219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mambio.2012.08.004>
- Stagoll, K., Lindenmayer, D. B., Knight, E., Fischer, J. & Manning, A. D. (2012). Large trees are keystone structures in urban parks. *Conservation Letters*. 5(2), 115-122.
- Stone, E. L., Harris, S. & Jones, G. (2015). Impacts of artificial lighting on bats: a review of challenges and solutions. *Mammalian Biology*. 80(3). 213-219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mambio.2015.02.004>
- Stone, E. L., Jones, G., & Harris, S. (2012). Conserving energy at a cost to biodiversity? Impacts of LED lighting on bats. *Global Change Biology*. 18(8), 2458-2465.
- Straka, T. M., Wolf, M., Gras, P., Buchholz, S. & Voigt, C. C. (2019). Tree cover mediates the effect of artificial light on urban bats. *Frontiers in Ecology and Evolution*. vol. 7:91. doi: 10.3389/fevo.2019.00091

Vásquez, D. A., Grez, A. A. & Rodríguez-San Pedro, A. (2020). Species-specific effects of moonlight on insectivorous bat activity in central Chile. *Journal of Mammalogy*. 101(5), 1356-1363.

Wanderley, L. S. A., Nóbrega, R. S., Moreira, A. B., dos Anjos, R. S. & de Almeida, C. A. P. (2018). As chuvas na cidade do Recife: uma climatologia de extremos. *Revista Brasileira de Climatologia*. Ano 14 – Vol. 22

Wenzel, A., Grass, I., Belavadi, V. V. & Tschardtke, T. (2020). How urbanization is driving pollinator diversity and pollination—A systematic review. *Biological Conservation*. 241, 108321. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108321>

Willems, J. S., Phillips, J. N. & Francis, C. D. (2022). Artificial light at night and anthropogenic noise alter the foraging activity and structure of vertebrate communities. *Science of the Total Environment*. 805, 150223. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150>