

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS

UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO

CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS LICENCIATURA

TAMIRES MARTINS FOGAÇA

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS NA FLORAÇÃO E NOS
POLINIZADORES**

São Leopoldo

2022

TAMIRES MARTINS FOGAÇA

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SEUS EFEITOS NA FLORAÇÃO E NOS
POLINIZADORES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Licenciado em 2022,
pelo Curso de Ciências Biológicas da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos
(UNISINOS).

Orientadora: Profa. Dr^a Suzane Both Hilgert Moreira

São Leopoldo

2022

“De um começo tão singelo evoluíram as formas mais belas e maravilhosas.” (Darwin)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu irmão que não está mais presente, mas com certeza está me guiando e orientando do lugar que ele estiver.

Gostaria também de agradecer meus pais por todo o apoio e suporte durante toda a graduação. Sempre foram meus maiores incentivadores, e sem eles nada seria possível.

As minhas amigas que me acompanharam em todo o percurso, fornecendo alicerce nas horas mais difíceis e nos melhores momentos.

Ao todos os meus professores que estimularam minha curiosidade e sagacidade em aprender novos conhecimentos. Em especial para meus professores de Biologia Daniel e Stela.

Aos mestres da Universidade por proporcionarem uma formação magistral, não somente em conhecimento, mas em caráter.

A minha orientadora Prof. Dra. Suzane pelo exemplar profissionalismo, demonstrando preocupação e paciência ao longo desta jornada acadêmica.

E aos meus gatos por estarem presentes comigo durante todos esses anos, compartilhando várias etapas da minha construção profissional.

RESUMO

As mudanças climáticas são alterações nos padrões climáticos médios, derivadas naturalmente ou da ação do homem, de forma direta ou indireta. Processos biológicos como a floração e a polinização, estão ligados a condições do clima. A polinização é um importante serviço ecossistêmico que mantém processos naturais e antropogênicos, suporta em média 35% da produção de alimentos no mundo todo. Os organismos podem responder a essas alterações de forma temporal (fenológica) ou espacial (distribuição). Estudos sobre a biologia animal e a ecologia da polinização podem auxiliar a compreensão dos impactos que as mudanças climáticas estão causando no ambiente. O objetivo desta pesquisa é demonstrar através de literatura científica que as mudanças climáticas podem afetar as plantas e os animais polinizadores. As informações contidas neste estudo foram obtidas a partir de revisão bibliográfica de artigos científicos especializados. Os resultados demonstram efeitos negativos na fisiologia, morfologia e comportamento de plantas e animais. As pesquisas consultadas demonstraram que, devido às alterações climáticas, a polinização e a floração sofreram perda de riqueza de espécies e mudanças nos padrões de distribuição.

Palavras-chave: mudanças climáticas; ação antrópica; fenologia; visitantes florais; interações mutualísticas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tipos comuns de perianto.....	18
Figura 2 – Antese.....	18
Figura 3 – Síndromes de polinização.....	19

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
1.1 Tema.....	9
1.2 Delimitação do tema.....	9
1.3 Problema.....	9
1.4 Objetivos.....	10
1.4.1 Objetivo geral.....	10
1.4.2 Objetivos específicos.....	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
2.1 Clima e mudanças climáticas.....	10
2.2 Floração.....	12
2.3 Fenologia.....	13
2.4 Polinizador e polinização.....	14
3 METODOLOGIA.....	16
4 DESENVOLVIMENTO.....	17
4.1 Polinizadores generalistas e especialistas.....	17
4.2 Morfologia floral.....	17
4.3 Antese.....	19
4.4 Síndromes florais.....	20
4.4.1 Anemofilia.....	21
4.4.2 Melitofilia.....	21
4.4.3 Psicofilia.....	23
4.4.4 Esfingofilia.....	24
4.4.5 Miofilia.....	24
4.4.6 Cantarofilia.....	25
4.4.7 Ornitofilia.....	26
4.4.8 Quiropterofilia.....	27
4.5 Pólen.....	28
4.6 Néctar.....	29
4.7 Respostas metabólicas.....	30
5 CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Nosso planeta vem sofrendo significativas mudanças referentes às temperaturas registradas. O aquecimento sobre a terra sofreu alterações mais rápidas do que a média global (IPCC, 2021), e essas alterações geram desequilíbrio na atmosfera, na vegetação, no gelo e na superfície terrestre (CORTESE; NATALINI, 2014).

A ação antrópica tem grande influência nesse fenômeno, e somente na década de 1840 se teve a compreensão que o clima não era constante, a partir de evidências dos ciclos glaciais passados (BARRY; CHORLEY, 2013). As atividades humanas causaram o aumento aproximadamente de 1,0 °C no aquecimento da Terra, a partir do período pré-industrial e, se o ritmo acelerado dos impactos continuarem, as previsões indicam que o aquecimento global atinja 1,5 °C entre 2030 e 2052 (IPCC, 2021).

O aquecimento da Terra causado pela ação humana desencadeou mudanças nas zonas climáticas, promovendo climas secos e reduzindo climas polares (IPCC, 2021). Ondas de calor vêm se tornando mais frequentes nos últimos anos, na América do Norte a temporada de altas temperaturas é quarenta dias mais longa, comparada a década de 1960. As chamadas falsas primaveras também estão ocorrendo com mais frequência (BORGHI et al., 2019).

A temperatura é um dos fatores substanciais no desenvolvimento de plantas e insetos (SETTELE; BISHOP; POTTS, 2016). Segundo Fitter e Fitter (2002) o aquecimento do clima altera o desenvolvimento ou o comportamento de pássaros, anfíbios, insetos e plantas. Temperaturas mais quentes estão afetando o crescimento vegetal, pois modificam o início e o fim dessas estações, levando a um maior estresse vegetal e conseqüentemente elevando a mortalidade de árvores (IPCC, 2021).

As alterações nos fatores climáticos, como a temperatura, radiação, umidade do ar e do solo, podem prejudicar o desenvolvimento e o crescimento dos vegetais e dos insetos, sobretudo no tempo que a temperatura permanece dentro dos limites ideais de cada espécie (CARNEVSKIS; LOURENÇO, 2019; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; CARNEVSKIS, 2016).

Grande parte dos estudos sobre os efeitos do aquecimento global na fenologia de polinizadores e plantas, indicou um avanço simultâneo desse processo em plantas e polinizadores associado ao aumento das temperaturas médias, mas também

demonstrou padrões alternativos em alguns casos, como atrasos síncronos ou ainda desencontro na interação planta-animal. As plantas que florescem mais cedo podem perder a época ideal de seus principais polinizadores, constatando uma diminuição na produção de sementes (GÉRARD et al., 2020).

Fitter e Fitter (2002) em uma pesquisa com 385 espécies de plantas observaram um avanço de 4,5 dias na média da primeira data de florescimento, comparando com quatro décadas anteriores. Galvez et al. (2017) também observou avanço das fenofases no início da primavera, especialmente no brotamento, na floração e no amadurecimento do fruto, em contraposição ao outono em que as fases vegetativas sofreram atrasos, particularmente na queda de folhas.

A floração é relevante para gerar o sucesso reprodutivo das plantas, principalmente se ocorrer da época correta do ano, pois as plantas que se reproduzem através da polinização cruzada necessitam sincronizar o florescimento com outros indivíduos da mesma espécie, com seus polinizadores e a época ideal para o desenvolvimento da semente (TAIZ et al., 2021).

Mudanças na época da floração podem ocasionar alteração na estrutura dos ecossistemas, a floração precoce antecipa processos vegetais, como a expansão da folha, crescimento da raiz e absorção de nutrientes, levando a aproximação de nicho entre as espécies coexistentes, e, portanto, modificando as interações competitivas (FITTER; FITTER, 2002).

A polinização é um importante recurso natural para a fertilização das plantas, mas também para o aumento da sua produtividade. É um complexo serviço ecossistêmico que depende de fatores ambientais como, água e vento, e também dos animais polinizadores (RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2018).

Geralmente a planta tem uma interação polinizadora com insetos, no entanto devido ao aquecimento global as fenologias tanto de plantas quanto de insetos estão sendo afetadas, ocasionando por exemplo em muitas espécies de insetos o interrompimento das fases do ciclo de vida, ou seja, os insetos não chegam na sua forma adulta (RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2018).

Tanto as plantas quanto os polinizadores podem responder às alterações climáticas de forma temporal (fenológica) ou espacial (distribuição). A incongruência da interação polinizador-planta pode causar problemas a níveis populacionais, provocando a diminuição da visitação de polinizadores, resultando na menor deposição de pólen nos estigmas (RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2018).

Por outro lado, os polinizadores podem deparar-se com disponibilidade reduzida de alimento. Entretanto, em determinadas situações a concomitância polinizador-planta não gera desequilíbrio, em função às espécies de polinizadores generalistas que acompanham as oscilações no florescimento de plantas forrageiras ao alternar entre as plantas hospedeiras (RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2018).

Plantas arbóreas são organismos ideais para investigar os efeitos do clima, pois são expostas invariavelmente a condições climáticas cíclicas. Por esse estilo de vida imóvel, as plantas desenvolveram evolutivamente adaptações, principalmente ligadas à sua fenologia, para tolerar as variações ambientais (GALVEZ et al., 2017).

As frutíferas de clima temperado necessitam de certas horas de frio para conseguir entrar em repouso no inverno, e após ser capaz de quebrar a dormência das gemas e retomar o crescimento vegetativo e o desenvolvimento pós inverno (CARNEVSKIS; LOURENÇO, 2019; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007; CARNEVSKIS, 2016).

Plantas em condições climáticas temperadas tendem a apresentar um declínio de seus polinizadores, no entanto regiões dos trópicos ainda é desconhecido os impactos. Assim, estudos em biologia animal e ecologia da polinização são fundamentais para compreender os impactos das mudanças climáticas. (RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2018).

1.1 Tema

A influência das mudanças climáticas nas plantas e nos animais polinizadores.

1.2 Delimitação do tema

O processo de floração e os tipos de polinizadores, e como esses são afetados por alterações climáticas.

1.3 Problema

Como as plantas e os animais polinizadores estão respondendo às alterações climáticas geradas ao longo do tempo, no que se refere aos processos de floração e polinização?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Demonstrar, por meio de pesquisa bibliográfica em literatura científica especializada, que as mudanças climáticas podem afetar o processo de floração e de polinização.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Descrever, a partir de investigação de pesquisadores, os principais fatores climáticos que podem gerar modificações na floração e nos polinizadores;
- b) Identificar possíveis alterações na fisiologia, morfologia e comportamento de animais polinizadores e na fenologia de plantas, citados na literatura.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Clima e mudanças climáticas

A palavra clima tem origem no grego designando inclinação, associada à posição do eixo da Terra, a qual define a inclinação dos raios solares sobre a superfície da Terra, gerando as estações do ano (ARAGÃO, 2009). Ou seja, o clima é definido como uma descrição média das condições de tempo e suas variações. O clima é um aspecto substancial para o meio ambiente terrestre (CORTESE; NATALINI, 2014).

Percebemos sua importância pela força dinâmica que ele exerce, transformando muitas características do nosso ambiente, como por exemplo influenciar na conformação de regiões da Terra, ou até mesmo na estrutura do solo, afetando conseqüentemente a produção agrícola e as formas de vida que habitam determinado território (CORTESE; NATALINI, 2014).

As atividades humanas vêm causando grande impacto na natureza, principalmente após a Revolução Industrial. Quando se teve a percepção que esses impactos estavam afetando a qualidade de vida e o progresso da economia, voltou-

se atenção para esse assunto e começaram as discussões mundiais voltadas às degradações ambientais e as mudanças climáticas (BLANK, 2015).

Naturalmente nosso planeta passou por períodos de aquecimento e resfriamento, assim como períodos de intensa atividade geológica emitiram grandes quantidades de gases à superfície que formavam um efeito estufa natural no planeta de tempos em tempos. Atualmente a atividade industrial e outras ações antrópicas vêm prejudicando o clima terrestre na sua variação natural, indicando que o ser humano tem responsabilidade no aquecimento (BLANK, 2015).

Já o tema mudanças climáticas, muito abordado na mídia e em artigos científicos, é a variação estatística de um parâmetro climático médio que persiste por um período extenso (décadas ou mais), ocasionada por processos naturais ou modificações persistentes derivadas da ação do homem na natureza (CORTESE; NATALINI, 2014).

Para a UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) as mudanças climáticas podem ser definidas como alterações no clima ligada à ação antrópica de forma direta ou indireta, desenvolvendo transformações na composição da atmosfera, além daquelas observadas naturalmente ao longo do tempo (apud BARRY; CHORLEY, 2013, p. 446).

A ação antrópica alterou os recursos naturais da Terra nos últimos séculos. Em média um terço a metade da superfície terrestre sofreu modificações derivadas das atividades humanas. Os impactos causados pelos seres humanos na natureza incluem exploração de espécies, degradação da terra, deposição do nitrogênio, poluição, introdução de espécies invasoras, fragmentação de paisagem, urbanização e industrialização (MULUNEH, 2021).

Do mesmo modo, as mudanças climáticas podem gerar a migração de várias espécies de animais e plantas para maiores altitudes e/ou latitudes, buscando temperaturas mais próximas de seus padrões ideais. As árvores em especial não irão conseguir migrar conforme a velocidade das alterações climáticas, já que sua taxa de migração é lenta, mas também devido à falta de espaços naturais ou a conexão entre eles (REGO *et al.*, 2007).

As comunidades naturais que conhecemos hoje sofrerão provável mudança na sua composição de espécies, com algumas sendo extintas, mas também novas comunidades poderão ser geradas pelas migrações (GUREVITCH; SCHEINER; FOX, 2015).

Filho *et al.* (2019) aborda que o mundo vai enfrentar ou já está enfrentando um sexto grande evento de extinção catastrófico. Dados demonstram que a taxa de extinção por ano é em torno de 30.000 espécies, levando a um desaparecimento de 17 a 35% dos organismos nos próximos 100 anos (MULUNEH, 2021).

Em virtude das pressões antrópicas e as variações climáticas levaram a interação desses fatores para gerar maior persistência e extensão nos incêndios nas florestas de turfa no sul da Sumatra, Kalimantan e Brasil durante o evento climático El Niño (MULUNEH, 2021). Do mesmo modo, o aumento da emissão de gases do efeito estufa relacionam-se com fatores climáticos extremos como a seca (FILHO; BARBIR; PREZIOSI, 2019).

2.2 Floração

Pode ser entendida como a conversão do meristema caulinar vegetativo em estruturas reprodutivas. Em plantas anuais ou bianuais é caracterizada pelo término do ciclo de vida e, em plantas perenes, indica o final de mais um ciclo reprodutivo (KERBAUY, 2019). É de grande importância, pois, determina o sucesso reprodutivo e o fluxo gênico dentro ou entre as populações vegetais (RECH *et al.*, 2014).

A floração pode ocorrer a partir de respostas a fatores de desenvolvimento internos, sem depender de fatores abióticos, sendo denominada regulação autônoma. Como também, algumas espécies exigem um conjunto específico de condições ambientais favoráveis para florescer, nesse caso o florescimento é considerado uma resposta obrigatória ou qualitativa. Há casos em que a planta responde tanto se houver estímulos ambientais quanto se não houver, a resposta do florescimento então é chamada de facultativa ou quantitativa (TAIZ *et al.*, 2021).

Atualmente já se é conhecido que a floração de muitas espécies herbáceas e arbóreas está intimamente ligada às estações do ano, mas ainda não se tem certeza como as plantas percebem e traduzem esses estímulos ambientais, há indícios que esses sinais da natureza seriam transportados quimicamente junto com os assimilados pelo floema (KERBAUY, 2019).

O processo de floração pode ser dividido didaticamente em três partes: indução, evocação e desenvolvimento floral (KERBAUY, 2019). A indução ocorre através dos seguintes fatores ambientais: luz, temperatura, frio e balanço hídrico. Um fator muito importante nesse processo é o fotoperíodo, no qual se refere ao número

de horas de luz que o dia possui, algumas espécies são sensíveis como grande parte das cultivares do morango, pois necessitam de dias curtos para florescer (SILVEIRA; CEOLA, 2019).

Existem outros aspectos que influenciam, como por exemplo o tempo ecológico e o evolutivo através de pressões ambientais, herbivoria nas fenofases, disponibilidade de polinizadores no desenvolvimento da semente ou na dispersão (RECH *et al.*, 2014).

A temperatura é um fator relevante em algumas espécies, principalmente as frutíferas de clima temperado como pessegueiros e ameixeiras. No inverno essas plantas precisam acumular determinadas horas de frio, abaixo da sua temperatura crítica, para depois conseguirem iniciar a floração na primavera quando as temperaturas subirem (SILVEIRA; CEOLA, 2019).

Condições extremas de clima, como ondas de calor e seca nos períodos de desenvolvimento floral e floração podem provocar impactos na reprodução das plantas, com o aquecimento global a tendência é que esses casos aumentem (SETTELE; BISHOP; POTTS, 2016).

2.3 Fenologia

O termo é utilizado para compreender as fases do ciclo de vida nos organismos, porém não considera características biológicas ou a atividade floral. Em estudos fenológicos sobre floração é analisado desde o início da formação dos botões florais até a senescência das flores. Alguns estudos podem levar em conta também a intensidade da floração, verificando de forma quantitativa a disponibilidade de flores antes e durante a floração (RECH *et al.*, 2014). Segundo Kerbauy (2019) a fenologia pode ser uma importante ferramenta para conservação e manejo de recursos vegetais arbóreos.

Usualmente a fenologia investiga separadamente a biologia floral e a polinização, contudo uma visão ampla e integradora pode permitir compreender as estratégias reprodutivas vegetais e as relações de interação entre planta-polinizador (SILVEIRA; CEOLA, 2019). Há pouco tempo eram desconhecidas as respostas fenológicas em relação ao clima, e se as mudanças fenológicas recorrentes nas comunidades naturais eram derivadas das mudanças climáticas (HEGLAND *et al.*, 2009).

Além da fenologia responder a variáveis como temperatura, umidade e disponibilidade de nitrogênio, outros fatores abióticos também podem influenciar, como a infiltração de luz e concentrações de nutrientes (WOLF; ZAVALETA; SELMANTS, 2017). Nos últimos anos o interesse nesse estudo vem aumentando, sobretudo o aquecimento global, visto que muito conhecimento sobre os efeitos desse aquecimento vem de estudos fenológicos (HEGLAND *et al.*, 2009).

Devido às alterações na temperatura nos últimos anos, muitos organismos estão respondendo a essas mudanças modificando sua atividade metabólica, afetando diretamente a fenologia de plantas e polinizadores (HEGLAND *et al.*, 2009). Evidências indicam que o aumento da temperatura global altera a fenologia de plantas, através da floração, germinação e na perda de folhas (WOLF; ZAVALETA; SELMANTS, 2017).

2.4 Polinizador e polinização

A polinização é um dos principais serviços ecossistêmicos, sustentam vários processos naturais ou antropogênicos como a produção agrícola, ciclagem de nutrientes, conservação de animais silvestres, controle biológico e manutenção da erosão do solo (RECH *et al.*, 2014).

A interação polinizador-planta é de extrema importância para alguns animais como insetos, pássaros, lagartos e alguns mamíferos, pois obtém seu alimento das plantas, como também para espécies vegetais, pois dependem em sua maior parte dos animais para reprodução (HEGLAND *et al.*, 2009). Considerando a espécie humana, a polinização suporta em média 35% da produção de alimentos no mundo todo (RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2018).

Com as mudanças climáticas intensificadas pela ação do homem na natureza nos últimos tempos, a população de polinizadores sofreu declínio. Esse fato levou à preocupação científica e econômica sobre o tema, estabelecendo o valor da polinização no cenário agrícola mundial em cerca de 10% no valor econômico dos produtos agrícolas (RECH *et al.*, 2014).

Mais de 300.000 espécies são polinizadoras, sendo 80% de espécies de plantas com flores que dependem de polinização animal, suportando 75% das importantes safras alimentícias no mundo (RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2018). O valor

estimado globalmente desse serviço, é de até US\$ 577 bilhões de dólares gerados por ano (MARSHMAN; PALMER; LANDMAN, 2019).

É um processo ecológico que envolve vários fatores, tanto naturais quanto antropológicos. Um dos principais benefícios que essa interação ecológica pode gerar, é a manutenção e variabilidade genética de plantas nativas, promovendo biodiversidade e funções ecossistêmicas que levam a diversificação de frutos, sementes e mel. Outro papel importante desse serviço é a valorização de conhecimentos culturais herdados, gerando tradição relativa ao cuidado e manutenção das plantas (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

A polinização é uma ferramenta de fertilização para as plantas, pois, para produzirem suas sementes requerem o pólen para fertilizar seus óvulos. Esse transporte pode ocorrer pela água, vento ou, ainda, por animais. Ao longo da evolução das plantas foram desenvolvidos mecanismos de recompensa para atração de seus polinizadores (RICKLEFS; RELYEA, 2018).

A principal atração visual encontrada na flor são as pétalas, por apresentarem diferentes formas e cores, e também por possuir glândulas de odor e estimular o olfato dos animais. Plantas que são polinizadas por agentes abióticos, como água e vento, não dispõem de atrativos (RECH *et al.*, 2014).

Os insetos fazem parte da maioria dos animais polinizadores e, em média, 70% das plantas são polinizadas por abelhas, borboletas, moscas ou coleópteros (MOURA; SANTOS; SILVEIRA, 2019). O principal grupo de polinizadores são as abelhas, as quais compreendem em média 48% de espécies identificadas como visitantes florais de cultivos voltados à produção alimentícia (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

As consequências do desmatamento vêm trazendo prejuízos para os visitantes florais e para as plantas, pois o uso indevido da terra seja para obras de infraestrutura, ou ainda, a agricultura e pecuária vêm causando fragmentação dos habitats remanescentes. Essas mudanças geram a menor disponibilidade de alimento e de locais para nidificação de polinizadores, em especial aquelas espécies com forrageio em um ponto central, como as abelhas (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

Fatores como presença de espécies invasoras, perda de habitat, mudanças da cobertura da terra, intensidade do uso da terra, pesticidas, poluição e o clima como o principal fator, são capazes de causar estresse nos polinizadores, especialmente os insetos (HALSCH *et al.*, 2021; MILLARD *et al.*, 2021).

Por consequência, nota-se uma crise nos polinizadores. Evidências tem demonstrado que o aquecimento global irá promover a diminuição das populações de polinizadores, ocasionando impacto nos ecossistemas e na segurança alimentar do mundo (MARSHMAN; PALMER; LANDMAN, 2019). Em torno de 75% dos alimentos com relevância global como frutas, vegetais, café, cacau e amêndoas, estão relacionadas diretamente e indiretamente com a polinização animal (MILLARD *et al.*, 2021).

A perda desses visitantes florais poderá levar a uma necessidade maior de uma polinização manual, porém é um processo que envolve altos valores. Com isso, a produção de alimentos se tornaria mais cara, resultando alteração no preço dos alimentos, dificultando o acesso alimentar nutritivo e saudável das camadas mais baixas de renda (MARSHMAN; PALMER; LANDMAN, 2019). Desse modo, é notável a relevância de um tema que requer mais atenção e iniciativas, pois afeta diretamente a natureza e o ser humano (RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2018).

3 METODOLOGIA

Noronha e Ferreira (2000,) definem trabalhos de revisão bibliográfica como pesquisas que analisam e avaliam a produção bibliográfica existente sobre determinado tema, dentro de um espaço-tempo específico, apresentando uma visão geral ou um relatório do objeto de estudo, podendo exibir novas ideias, métodos e subtemas que não expõem ênfase na literatura utilizada. Moreira (2004) também afirma que revisar significa olhar novamente, compreender e retomar o discurso dos outros pesquisadores, para que se consiga ampliar a visão sobre o tema e analisar as pesquisas de forma crítica.

O método empregado na pesquisa foi a análise de trabalhos publicados em revistas científicas referentes às mudanças climáticas, floração e polinizadores. A busca foi realizada através de palavras-chaves como “Mudanças climáticas”, “Floração”, “Polinizadores”, os termos também foram pesquisados em inglês. Os meios utilizados para a pesquisa foram a base de dados da Capes, Scielo, EBSCOHost e Google Acadêmico. A partir da busca inicial dos artigos foram considerados quando apresentavam dois ou três dos termos pesquisados e resultados claros.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Polinizadores generalistas e especialistas

Plantas que são polinizadas por diversos grupos de animais são denominadas generalistas, ou ainda polifílicas ou alotrópicas. Os polinizadores classificados nessa denominação podem variar conforme tempo e espaço. Entretanto, há plantas que são fenotipicamente especializadas, pois apresentam características florais específicas. Os visitantes florais especialistas podem ser de diferentes grupos taxonômicos (RECH *et al.*, 2014).

Biddick e Burns (2018) testaram a compatibilidade de plantas e pássaros, constatando uma relação entre a morfologia floral e animal, plantas com flores grandes receberam a visita mais frequente de aves com bico grande e plantas com flores pequenas de aves com bico pequeno. No entanto um recente estudo de Wang *et al.* (2020) demonstrou que em comunidades insulares oceânicas o conceito de síndromes florais não é ocorrente, as plantas indicaram mais características generalistas do que especializações de atributos florais com seus polinizadores.

4.2 Morfologia floral

A flor pode ser definida como um ápice caulinar especializado, ou até mesmo como um ramo lateral com entrenós encurtados e apêndices por conjectura homólogos as folhas, adaptados para funções reprodutivas, sépalas, pétalas, estames e carpelos (RECH *et al.*, 2014). As plantas desenvolveram mecanismos para atrair polinizadores, essa adaptação proporcionou as mais variadas formas, cores e estruturas (GONÇALVES; LORENZI, 2011).

De forma geral as flores podem ter quatro nós (locais de inserção dos verticilos), cada um com vários apêndices no mesmo nível (verticilo). A base o primeiro verticilo é muito similar às folhas, denominado sépalas, que em conjunto é chamado de cálice. O segundo verticilo em direção ao ápice é frequentemente colorido, chamados de pétalas ou em conjunto de corola. O apêndice a seguir são os estames, os quais são bastante modificados que contém, em cada um, as anteras, onde é produzido o grão de pólen. O último verticilo são os carpelos, que produzem

os óvulos. Na figura 1 podemos verificar os tipos mais comuns de periantos, podendo estar relacionada a corola, ao cálice ou os dois (GONÇALVES; LORENZI, 2011).

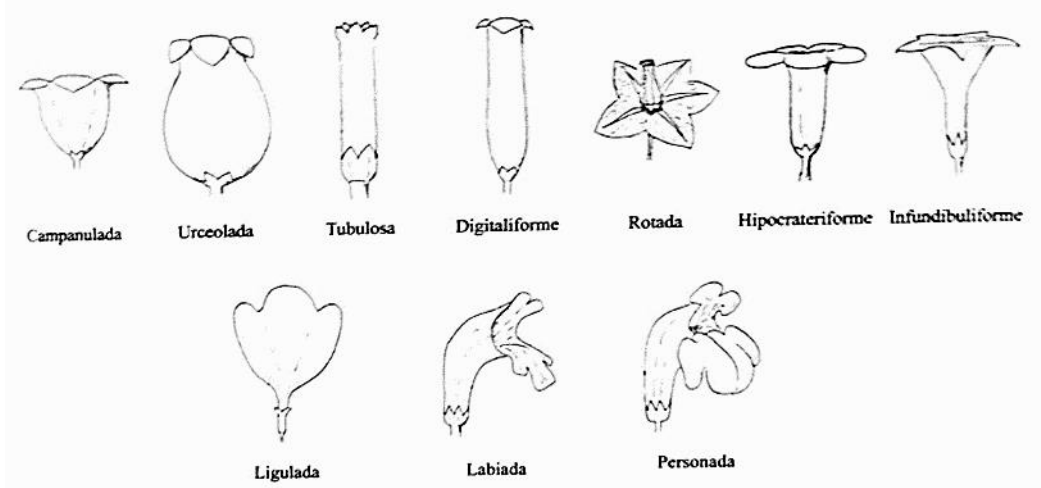
Com o propósito de produção e abrigo dos gametófitos, a flor é relativa ao processo reprodutivo, participando de várias etapas, como o recebimento do grão de pólen pelo estigma e o direcionamento do tubo polínico através do estilete até o óvulo para chegar no saco embrionário (RECH *et al.*, 2014). A recepção incorreta do grão de pólen pode ser ocasionada pela falta de compatibilidade entre a morfologia floral e o tamanho do polinizador (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

Os animais que fazem parte das interações de polinização, como vespas, moscas, borboletas e mariposas, evoluíram simultaneamente com as angiospermas, as quais adaptaram sua morfologia floral de acordo com o animal polinizador. Desse modo, os visitantes florais estão associados a caracteres florais exclusivos que estão interligados com os sentidos visuais e olfatórios dos animais (RAVEN, 2014).

Plantas que estão mais expostas às condições climáticas têm sua morfologia mais versátil de acordo com o ambiente, ao contrário das espécies que vivem em climas restritos. No entanto, o clima pode afetar a morfologia floral. Em condições de seca, mudanças de temperatura e na radiação, a cor e a forma da flor podem ser alteradas (WEBER; NUISMER; ESPÍNDOLA, 2020).

Um estudo realizado por Weber *et al.* (2020) verificou que a espécie *Calceolaria dentata* possui conexão direta com o clima. Os resultados dessa pesquisa mostraram relação da diversidade de morfologia floral com o clima, levando a hipótese que a evolução floral teve influência de fatores climáticos. Campbell e Powers (2015) observaram seleção natural sensível ao ambiente da morfologia floral, relativo ao comprimento e a largura da corola, favorecendo por dois anos tubos mais estreitos, porque eram polinizados por mariposas, e corolas mais largas em um ano com degelo tardio.

Figura 1 – Tipos comuns de perianto



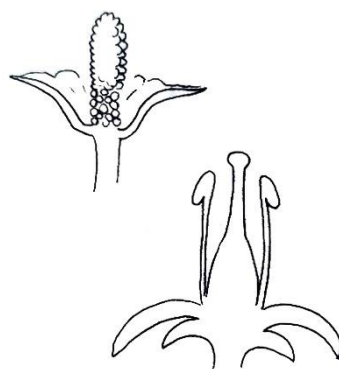
Fonte: Golçalves e Lorenzi (2011, p. 49)

4.3 Antese

Também compreendida como o florescer dos botões florais, a antese é o período em que a flor está disponível para polinização. De maneira geral, é simultâneo com a abertura de pétalas e/ou sépalas, ou ainda de estruturas acessórias como as brácteas (GOLÇALVES; LORENZI, 2011; KERBAUY, 2019).

A antese e o número de flores, desempenham um papel importante na atração de polinizadores (RECH *et al.*, 2014). Estudos em países temperados demonstraram um avanço de duas semanas na antese (RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2018). Madgwick *et al.* (2011) constatou que as mudanças climáticas afetarão as anteses do trigo, adiantando as datas padrões.

Figura 2 - Antese



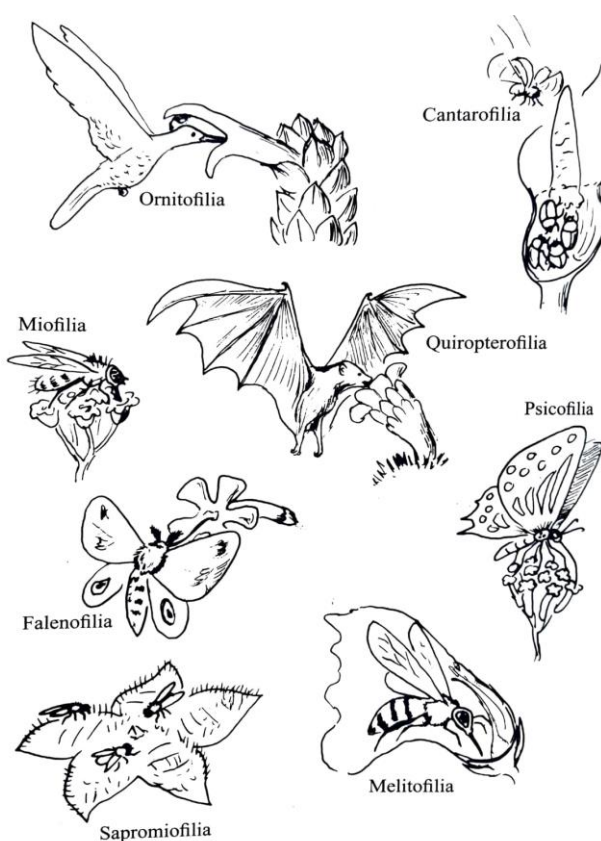
Fonte: Golçalves e Lorenzi (2011, p. 114)

4.4 Síndromes florais

As flores apresentam características chamados de atributos florais, que derivam síndromes florais. As síndromes florais são determinadas de acordo com um conjunto de adaptações convergentes das flores às especificidades morfológicas e sensoriais dos polinizadores ou, ainda, às particularidades do meio abiótico, como o vento e água, que também podem realizar a polinização (RECH *et al.*,2014). Ou seja, as síndromes de polinização delimitam as adaptações das flores, relativas ao seu principal grupo de polinizador, que são mais eficazes em remover e depositar pólen (DELLINGER, 2020).

Os animais polinizadores estão associados com as flores conforme características florais e os sentidos visuais e olfatórios dos animais (RAVEN, 2014). As principais características florais para as síndromes de polinização são: momento da antese, cor da flor, aroma, orientação da flor, tamanho, simetria da flor, forma da corola, posição dos órgãos sexuais e recompensa pelo processo (DELLINGER, 2020).

Figura 3 – Síndromes de polinização



Fonte: Gonçalves e Lorenzi (2011, p. 58)

4.4.1 Anemofilia

Ocorre através do vento, ou seja, é o meio abiótico que é responsável por esse tipo de polinização. As flores desse tipo de polinização apresentam algumas características específicas como falta de coloração, geralmente são verdes ou esbranquiçadas, não possuem néctar ou cheiro pois não necessitam de atrativos florais. Bem como, seu perianto é reduzido ou ausente, grande parte é unissexual ou com dicogamia nítida, estigmas expostos e longos que exibem superfície ampla, estames grandes e expostos. Os pólenes dessas flores não são ornamentados e tem aspecto pulveroso (RECH *et al.*, 2014).

4.4.2 Melitofilia

Uma das polinizações mais conhecidas e debatidas no meio científico, a melitofilia é realizada por abelhas. Flores que recebem esse tipo de polinização identifica-se vários atrativos florais, como néctar com altas concentrações de açúcares, odor agradável, inclusive para o ser humano, óleos e menos frequente resinas e voláteis florais. As flores podem exibir desde uma coloração ultravioleta até o amarelo intenso. São delicadas e com poucos elementos de sustentação, antese diurna, mostram indicadores visuais de néctar ou pólen, labiadas, papilionadas, em forma de disco e infundibuliformes (RECH *et al.*, 2014).

As abelhas em geral possuem comportamento generalista, mas também podem apresentarem especializações, o que gera uma maior eficiência entre planta e polinizador. A polinização por abelhas é de extrema importância, pois elas garantem nossa segurança alimentar, já que em torno de 70% da polinização é derivada de abelhas (MARSHMAN; PALMER; LANDMAN, 2019).

No Brasil as abelhas fazem parte do maior grupo de visitantes florais. As espécies de abelha estão relacionadas a 132 cultivos, sendo que 91 de forma direta como polinizadores e 74 como polinizadores exclusivos. Cultivos de grande interesse econômico como a soja, tomate, café, maçã, cebola, erva-mate, melão e feijão são polinizados por espécies de abelhas.

A abelha social *Apis mellifera* e as abelhas nativas sem ferrão são as principais espécies de visitantes florais referentes a produção de alimento, *Apis mellifera* é

relacionada com 86 cultivos, de forma direta 54 e as abelhas nativas sem ferrão a 107 cultivos, e polinizadoras de 52 (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

Atualmente as abelhas estão em níveis preocupantes de extinção. Em 2006/2007 um fenômeno chamado distúrbio do colapso das colônias ocorreu nos Estados Unidos, colônias desapareceram ou morreram levando a uma perda de 30 a 90% de colônias de *Apis mellifera*. Nenhuma causa foi identificada, mas podem ser derivadas de má nutrição, aumento de infecções virais e bacterianas, parasitas e o uso de pesticidas (MARSHMAN; PALMER; LANDMAN, 2019).

Acredita-se que devido as mudanças climáticas as abelhas terão redução de seus habitats e mudanças na sua distribuição geográfica. No Brasil um estudo de Giannini *et al.* (2020) no Estado do Pará, exibiu projeções que 95% das espécies de abelhas irão enfrentar um declínio de sua área total.

As abelhas também estão desenvolvendo diferentes comportamentos para responder às alterações que vêm ocorrendo no ambiente e na fenologia das plantas. Com as mudanças climáticas a sincronia polinizador-planta foi afetada, ocasionando floração adiantada. Para isso as abelhas desenvolveram o mecanismo de danificarem as folhas das plantas para acelerar a produção de flores, esse mecanismo também está altamente relacionado com a disponibilidade de pólen (PASHALIDOU *et al.*, 2020).

Os principais fatores que estão gerando o declínio de espécies de abelhas é a ação antrópica, agricultura, uso de agroquímicos, competição com espécies invasoras, patógenos e, as mudanças climáticas (GIANNINI *et al.*, 2020; MARSHMAN; PALMER; LANDMAN, 2019).

Algumas alternativas já estão sendo implementadas em alguns países como Estados Unidos e o Canadá, chamado de “The Bee City Movement”. São resoluções de conscientização para que a comunidade auxilie na criação de habitats para polinizadores e reduza o uso de pesticidas. Em 2015 algumas províncias do Canadá limitaram o uso de agrotóxicos em jardins residenciais. O movimento é uma ferramenta significativa para estratégias de conservação, que busca a participação tanto do poder público como dos cidadãos (MARSHMAN; PALMER; LANDMAN, 2019).

4.4.3 Psicofilia

Polinização realizada por borboletas que participam, em média, de 31% da polinização. No Brasil estão associadas a quatro cultivos: laranjeira (*Citrus sinensis*), mangabeira (*Hancornia speciosa*), pereira (*Pyrus communis*) e abacaxizeiro-do-cerrado (*Ananas ananassoides*) (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

As flores polinizadas por espécies de borboletas são delicadas, eretas, tubulares, podendo ser hipocrateriformes, em formato de pincel, as cores podem ser amarelas, vermelho, azul, roxo, rosa, branco, laranja. Os atrativos florais são guias de néctar e odor agradável, porém não exibem muitos grãos de pólen (RECH *et al.*, 2014).

As borboletas são excelentes modelos para analisar as mudanças climáticas, pois são fáceis de examinar, seu ciclo de vida é bem conhecido e são animais sensíveis a fatores abióticos (LEE; JEON; KIM, 2020). Esses organismos são vulneráveis ao ambiente pelo fato de muitas espécies de borboletas serem adaptadas a certas condições ambientais e também dependerem de fatores como disponibilidade de determinadas plantas na fase larval e de estrutura de microhabitats (RÖDDER *et al.*, 2021).

As mudanças climáticas, fragmentação e perda do habitat já estão causando efeitos nas espécies (HILL *et al.*, 2021). Temperaturas mais quentes podem causar o surgimento antecipado de adultos, períodos de voos mais longos e assimetria entre traços morfológicos como o corpo e o tamanho da asa (BONELLI *et al.*, 2022; HILL *et al.*, 2021).

Ainda as variações climáticas estão sendo interligadas com as mortalidades em massa nos locais de hibernação e nas mudanças de distribuição das populações (LEE; JEON; KIM, 2020). O avanço da primavera foi três vezes mais rápido na fenologia de algumas espécies de borboletas do que das suas plantas hospedeiras, indicando uma assincronia dessas duas espécies (SETTELE; BISHOP; POTTS, 2016).

As interações entre borboletas, seus recursos e seus predadores também estão sofrendo alterações devido ao aquecimento global (HILL *et al.*, 2021). Rödder *et al.* (2021) demonstrou as mudanças de distribuição nos Alpes Orientais em altitudes mais altas, nas últimas seis décadas, enquanto altitudes mais baixas foram observadas em um período anterior a 1980. Lee *et al.* (2020) também observou

resultados similares em uma Península Coreana, no qual havia uma maior riqueza de borboletas em maiores altitudes, indicando que as espécies se deslocaram do sul para o norte.

4.4.4 Esfingofilia

Polinização realizada por mariposas e por esfingídeos (família Sphingidae). As flores com esse tipo de síndrome floral são em geral brancas ou de cor creme, delicadas, hipocrateriformes, em forma de pincel, sem guia de néctar, tubos florais estreitos e compridos. A antese é diurna, assim como a liberação de odor. O néctar é o único atrativo floral dessas plantas, está armazenado profundamente, pouco concentrado e tem odor forte (RECH *et al.*, 2014).

No Brasil representam 8% da polinização, sendo visitantes florais de 12 cultivos e participando ativamente de quatro: o pequizeiro (*Caryocar brasiliensis*), piquizeiro (*Caryocar villosum*), jaracatiazeiro (*Jacaratia spinosa*) e o último como um dos principais polinizadores que é a mangabeira (*Hancornia speciosa*) (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

A espécie *Thaumetopoea pityocampa* foi considerada pelo IPCC uma das espécies modelos para analisar os impactos do aquecimento global. O clima também vem impactando essas espécies, principalmente as temperaturas quentes que alteraram a distribuição, ampliando o alcance da espécie tanto em latitude quanto em altitude. Além disso, o calor está acelerando o desenvolvimento do ovo e causando eclosão precoce, podendo levar as larvas a dissecação ou estresse térmico (ROQUES, 2015), já que as larvas dessa mariposa têm a particularidade de se desenvolver durante o inverno (BATTISTI; LARSSON; ROQUES, 2017).

Entretanto, nem todos os parâmetros climáticos parecem afetar essa espécie, pois houve uma evolução da sobrevivência no inverno, devido aos padrões de expansão de distribuição de *T.pityocampa*. Originalmente a espécie era restrita da área do mediterrâneo, mas houve uma propagação até a Europa (BATTISTI; LARSSON; ROQUES, 2017).

4.4.5 Miofilia

Síndrome de polinização que é exercida pelas moscas. No Brasil participam, em média, de 38% desse serviço ecológico, sendo considerada polinizador de sete plantas nativas ou silvestres, incluindo espécies com grande valor econômico como o cacauzeiro (*Theobroma cacao*) e a mangueira (*Mangifera indica*). A produção do cacau é somente desenvolvida por pequenas moscas pertencentes ao gênero *Forcipomyia*. As principais moscas que são polinizadoras no Brasil são sirfídeos (*Ornidia*, *Palpada* e *Toxomerus*) (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

As flores desse tipo de polinização podem variar de tons castanhos, vermelhos, amarelados e esverdeados, a maioria ainda possui várias manchas coloridas. As flores ainda apresentam brilho forte, superfície verrucosa, antese sem periodicidade, flor aberta em forma de disco, normalmente com dispositivos que prendem as moscas temporariamente, flores grandes e as vezes com apêndices filiformes. Pode exibir ou não recursos florais como o néctar. Nesse tipo de polinização existe a sapromiofilia, na qual as flores imitam carcaças ou excrementos para atrair as moscas, por isso as flores são usualmente com odor desagradável (RECH *et al.*, 2014).

Juntamente com as abelhas, as moscas são importantes polinizadores em altas altitudes, pois apresenta espécies adaptadas a altas altitudes com temperaturas frias (ADEDJOJA; KEHINDE; SAMWAYS, 2020). Atualmente já existem moscas produzidas comercialmente para auxiliar na produção de algumas culturas, como a de alface, alho, girassol, pimenta, trigo, sarraceno e canola (BANDA *et al.*, 2021)

Na África, com eventos recentes de mudanças climáticas, espera-se que até o final do século vinte e um haverá um aumento entre 1,1 a 6,4 °C na temperatura. Esses impactos poderão ser severos, uma vez que o país é altamente dependente da agricultura e o clima afetará diretamente, com baixa capacidade de adaptação (BANDA *et al.*, 2021).

Devido a esses fenômenos, as moscas sofrerão mudanças em sua distribuição, ou até mesmo, extinção de algumas espécies, pois são um grupo que respondem se adaptando ao local ou mudando seu habitat para lugares mais adequados. A diminuição da população de moscas implicará na redução de plantas com flores, o que levará conseqüentemente a redução da produção (BANDA *et al.*, 2021).

4.4.6 Cantarofilia

Os agentes desse tipo de polinização são os besouros. As flores desses representantes são geralmente com antese noturna ou crepuscular, não apresentam coloração específica, podendo ser verdes ou esbranquiçadas, flores robustas e grandes. As inflorescências podem ser em forma de disco ou formando uma câmara de polinização, odor forte como atrativo floral (RECH *et al.*,2014).

No Brasil os besouros participam indiretamente da polinização de 62 das espécies de plantas cultivadas e, de forma direta, de 15 delas. Já foram identificadas cerca de 77 espécies e 103 gêneros de besouros que colaboram na produção de alimentos. Os principais cultivos com importância econômica são as palmeiras que produzem o açaí (*Euterpe oleracea*) e o dendê (*Elaeis guineenses*) (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

Geralmente as espécies de besouros são sensíveis a condições ambientais. Um estudo realizado em montanhas na África do Sul demonstrou que os besouros em altas altitudes e condições abióticas mais severas perdem sua riqueza. Em vista disso, são um grupo que não são resistentes as mudanças climáticas (ADEDJOJA; KEHINDE; SAMWAYS, 2020).

4.4.7 Ornitofilia

As aves são responsáveis por esse tipo de polinização. As características florais são a antese diurna, flores com coloração vermelho, amarelo, laranja, azul, lilás ou branco. O néctar está presente em grande quantidade, porém sem odor. As flores podem ter forma de tubo, pincel, goela ou labiadas, geralmente robustas e com um sistema capilar capaz de segurar o néctar dentro da flor, liberando somente quando tocado (RECH *et al.*,2014).

Espécies como o beija-flor, pássaros, periquitos e maritacas são polinizadores de 8% das plantas silvestres e cultivadas no Brasil. Plantas com importância econômica como o abacaxi-do-cerrado (*Ananas ananassoides*), bacurizeiro (*Platonia insignis*) e o maracujá-poranga (*Passiflora coccínea*) recebem as aves como visitantes florais. Ao todo 36 espécies e 28 gêneros de aves são agentes polinizadores, sendo de grande destaque o beija-flor com 13 espécies e 8 gêneros (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

Entretanto, um índice da lista vermelha (IUCN) apontou que as aves polinizadoras estão entrando em estado crítico, com mais espécies deslocando em direção a extinção do que longe delas. Cerca de 2,5 espécies por ano moveram-se em direção a extinção nos últimos anos (REGAN *et al.*,2015).

Um estudo realizado por Lima *et al.* (2019) na Mata Atlântica brasileira com beija-flores e plantas polinizadas por essa espécie, evidenciaram os possíveis efeitos na floração, podendo ela diminuir ou aumentar em função da adequação climática. Outro artigo similar de Sonne *et al.* (2022) manifestaram em sua pesquisa experimental de cenários futuros das mudanças climáticas, extinção de comunidades de plantas e beija-flores, principalmente na América do Norte e na parte inferior da América do Sul.

4.4.8 Quiropterofilia

Esse tipo de polinização é exercido por morcegos. As flores apresentam antese noturna, a qual é em geral restrita a uma noite, coloração conspícuas como esbranquiçadas, avermelhadas, esverdeadas ou castanhas sem guia de néctar. As inflorescências são grandes e robustas, em forma campanulada, labiada ou de pincel, com flores elevadas da folhagem, exibindo um forte odor noturno, com grande quantidade de néctar e pólen (RECH *et al.*,2014).

As espécies de morcego são consideradas mamíferos polinizadores de grande relevância. São responsáveis pela fertilização de 528 espécies distribuídas em 67 famílias. Porém, cerca de 80% dos morcegos atualmente estão em perigo de extinção, exigindo ações de conservação e pesquisa (GUTIERREZ *et al.*, 2021).

Os morcegos participam cerca de 3% da polinização no Brasil, sendo importante para três cultivos: pequiheiro (*Caryocar brasiliensis*), piquiazeiro (*Caryocar villosum*) e jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*), sendo polinizadores exclusivos da última espécie (WOLOWSKI *et al.*, 2019). Os morcegos polinizadores podem pertencer a duas famílias, a Pteropodidae e a Phyllostomidae, nas quais muitas espécies são adaptadas morfológicamente para nectarivoria (REGAN *et al.*,2015).

Há um estudo realizado por Ruiz e Lacher (2019) com uma espécie migratória de morcego *Leptonycteris nivalis* e a planta que eles polinizam (*Agave* spp) no período de sua migração habitual anual do centro do México para o sul dos Estados Unidos.

A espécie de morcego é classificada no México e nos Estados Unidos como em perigo, devido à redução de 50% da população nos últimos 10 anos. Os modelos preveem redução de 75% na sobreposição das duas espécies, sendo que *Agave* perderá áreas adequadas para reprodução, levando a um efeito negativo no morcego *Leptonycteris nivalis* com potencial extinção da espécie no futuro.

Gutierrez *et al.* (2021) em seu estudo realizado no México apresentaram resultados prováveis para um futuro próximo, no qual haverá perda de riqueza de espécies, potencial redução na área de distribuição das plantas que são polinizadas por morcegos e diminuição na interação morcego-planta.

4.5 Pólen

O grão de pólen é o gametófito masculino da planta, seu processo de desenvolvimento inicia na microsporogênese. As células da antera da planta dividem-se para gerar células-mãe de pólen diploides, também chamados de microsporócitos, nos quais entram em meiose e resultam em micrósporos haploides. Os micrósporos iniciam divisão e o produto final é o grão de pólen, que possui parede celular altamente ornamentadas (TAIZ *et al.*, 2021).

Assim que os grãos de pólen amadurecem, as anteras liberam os mesmos. Na polinização o pólen entra em contato com a superfície do estigma, germina por meio do estilete que atinge o ovário, onde está localizado os óvulos. Os óvulos apresentam os megásporos, em que irão se desenvolver e gerar o saco embrionário contendo o ovo (RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2018). Seja através da polinização biótica ou abiótica, o transporte de pólen até a superfície do estigma é o principal evento para determinar a fertilização vegetal (RECH *et al.*, 2014).

Grãos de pólen necessitam de alguns fatores climáticos específicos para germinação e crescimentos, dependendo de cada espécie vegetal. O processo de polinização é influenciado pela temperatura, principalmente se as variações são extremas, levando a quedas na produção (RAMÍREZ; KALLARACKAL, 2018).

Segundo Paudel *et al.* (2021) as mudanças climáticas estão afetando a produção de pólen. Além de afetar a produção, as variações do clima também interferem nas concentrações de pólen, provocando o aumento de casos de alergias e asma na população humana. Grãos de pólen estão se fragmentando durante tempestades, o que permite essas partículas infiltrar os pulmões com mais facilidade.

A inalação de pólen pode causar vulnerabilidade no sistema imune levando a infecções virais, inflamações respiratórias e baixa imunidade (ANDEREGG *et al.*, 2021).

Do mesmo modo, as temporadas de pólen estão começando mais cedo e terminando mais tarde, levando a um prolongamento no período de germinação (PAUDEL *et al.*, 2021). Em um estudo de Anderegg *et al.* (2021) também demonstrou elevação na concentração de pólen e aumento na temporada de germinação.

4.6 Néctar

O néctar é um fluido que contém açúcar, no qual é expelido por glândulas chamadas de nectários (RAVEN, 2014). É produzido não somente para servir de alimento para muitos insetos e alguns mamíferos, mas também com função de recurso floral para os polinizadores (RECH *et al.*, 2014).

Na polinização desempenha grande papel ecológico através do mutualismo, em que o animal consome o néctar e de forma indireta transporta o pólen, propiciando a reprodução daquela planta (RECH *et al.*, 2014). Além disso, ainda é matéria-prima para elaboração do mel (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

Em algumas espécies o néctar é um recurso exclusivo de alguns animais, como o maracujá-poranga (*Passiflora coccinea*) com os beija-flores, ou ainda, os morcegos no pequi (*Caryocar brasiliensis*). Entretanto, algumas espécies da família Malpighiaceae como a acelora (*Malpighia emarginata*), o murici (*Byrsonima coccolobifolia* e *Byrsonima crassifolia*) e o murici-pitanga (*Byrsonima chrysophylla*) possuem flores que não produzem néctar, o que acaba gerando uma menor riqueza de visitantes florais (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

O néctar é um dos aspectos da interação planta-polinizador que é sensível as mudanças climáticas, dado que as plantas possuem uma faixa de temperatura ótima para produção de néctar, que são determinados pelo habitat e pelas características da espécie (TAKKIS *et al.*, 2015; TAKKIS, TSCHEULIN, PETANIDOU, 2018).

Sob condições de estresse climático, principalmente ligado a temperatura, as plantas podem fabricar flores sem néctar, diminuindo o recurso alimentar de seus polinizadores (TAKKIS *et al.*, 2015). O uso de pesticidas também pode reduzir ou suspender a produção de néctar em algumas plantas (WOLOWSKI *et al.*, 2019).

Um estudo de 2015 de Takkis *et al.* com duas espécies da família Lamiaceae (*Ballota acetabulosa* e *Teucrium divaricatum*) habitantes do Mediterrâneo, verificou que em altas temperaturas previstas pelas mudanças climáticas, irão diminuir a quantidade de néctar nas duas espécies, diminuindo os recursos tanto para abelhas selvagens quanto para as melíferas no Mediterrâneo.

Outro artigo publicado em 2018 por Takkis *et al.* analisou seis espécies do Mediterrâneo que florescem no verão e no inverno (*Asphodelus ramosus*, *Ballota acetabulosa*, *Echium plantagineum*, *Lavandula stoechas*, *Rosmarinus officinalis* e *Teucrium divaricatum*). Os resultados mostraram semelhança com o estudo anterior, efeito negativo na secreção de néctar em altas temperaturas. Do mesmo modo, indicou que o aumento das temperaturas irá afetar a floração de espécies precoces, com flores no inverno e no início da primavera, e na floração de espécies tardias, com flores no final da primavera e início do verão.

4.7 Respostas metabólicas

As plantas possuem mecanismos metabólicos para responder as mudanças climáticas. Em condições de seca realizados em laboratório, demonstraram uma tendência de as flores alterarem o buquê floral, gerando uma menor visitação de polinizadores (BORGHI *et al.*, 2019). Os mecanismos metabólicos ao se reconfigurar após estresse climático, por exemplo, determinam sua eficiência a responder e restaurar a homeostase e por fim gerar a aclimação (ZANDALINAS *et al.*, 2022).

Diferentes metabólitos são produzidos pelas plantas como carboidratos, aminoácidos, fenólicos, polióis, poliaminas, lipídeos, entre outros. Os metabólitos podem ser classificados em primários, ligados diretamente ao crescimento da planta, indicados pelos carboidratos, intermediários do ciclo do ácido tricarboxílico (TCA) e aminoácidos (ZANDALINAS *et al.*, 2022).

Além do mais, existem os metabólitos secundários que estão associados na regulação da interação planta-ambiente, como os fenólicos, terpenos e compostos contendo nitrogênio. Exemplificando, em secas o metabólito secundário prolina é liberado em *Periploca sepium* e plantas de tabaco (ZANDALINAS *et al.*, 2022).

Outra resposta metabólica da planta em situações de altas temperaturas e secas, é a propensão da diminuição do tamanho dos órgãos florais, ou ainda perda de pétalas. Na espécie *Borago officinalis*, por exemplo, temperatura de 27°C pode

estimular a redução do tamanho da pétala ou causar a diminuição do número de pétalas, com flores de três ou quatro pétalas em vez de cinco (BORGHI *et al.*, 2019).

Semelhantemente, as plantas respondem a seca e ao calor com o fechamento dos estômatos para minimizar a perda da água. De forma geral, essa resposta ainda leva a diminuição da concentração de CO_2 intracelular, limitando a fotossíntese (ZANDALINAS *et al.*, 2022).

Os tecidos vegetais também sofrem alterações com o aumento de temperatura, as folhas e os cotilédones podem se alongar para se adaptar. Em secas as plantas tendem a gerar raízes laterais (BORGHI *et al.*, 2019). Possivelmente no futuro com as mudanças climáticas e uma elevação nos níveis de CO_2 , as taxas fotossintéticas das folhas deve aumentar (ZANDALINAS *et al.*, 2022).

O estresse abiótico ainda pode resultar em infertilidade tanto feminina, quanto masculina. Em um estudo com ovários de cultivares de arroz em temperaturas acima de 45 °C, indicou número anormal de ovos, hiperplasia do tecido parenquimático e tricomas que se desenvolveram na epiderme dos óvulos. Espécies de trigo e milho também resultaram em hiperplasia do saco embrionário sob temperaturas acima de 30 °C ou estresse hídrico (BORGHI *et al.*, 2019).

CONCLUSÃO

A ação antrópica vem causando grandes variações no clima. Previsões futuras indicam que a terra irá aquecer em média 1,5 °C nos próximos anos. Ondas de calor têm sido mais frequentes atualmente, e esses fatores influenciam no desenvolvimento de organismos. Processos biológicos diretamente ligados a polinização já apresentam várias modificações nos seus parâmetros normais.

Em vista disso, as mudanças climáticas tendem a alterar padrões morfológicos, fisiológicos e comportamentais nos animais polinizadores. Como também, podem mudar a distribuição de espécies em busca de condições ambientais favoráveis para sobrevivência. Muitas espécies ainda sofrerão um grande declínio nas suas populações pela falta de sincronia polinizador-planta, ou ainda pela perda de habitat.

As plantas também irão enfrentar modificações nos seus padrões fisiológicos e morfológicos, principalmente na floração, com adiantamento do processo. Da mesma forma, a antese vivenciará avanços contraposto as datas padrões. Nos casos de morfologia o clima pode alterar a cor e a forma das flores. Referente à fisiologia da planta, a produção de néctar e pólen igualmente serão acometidos pelas mudanças

climáticas, diminuindo a secreção do néctar e prolongando o período de germinação do pólen.

Desse modo, projetos e políticas públicas voltados à conservação de espécies, diminuição dos gases estufa, preservação de polinizadores e seus habitats devem ser incentivados. Como por exemplo, o movimento “The Bee City Movement” em tradução livre significa “o movimento da cidade das abelhas”, em que países como Estados Unidos e o Canadá, conscientizam as populações na criação de habitats para os polinizadores e a redução da utilização de pesticidas.

Os polinizadores não são somente relevantes para os ecossistemas, mas para o ser humano na produção de alimentos, na qual sem eles pode resultar em um produto mais caro, ou ainda, possivelmente uma polinização realizada de forma manual.

REFERÊNCIAS

ADEDOJA, O.; KEHINDE, T.; SAMWAYS, M.J. **Asynchrony among insect pollinator groups and flowering plants with elevation**. Scientific Reports, Nature, v.10, n.13268, 2020.

ANDEREGG, W.L.R; ABATZOGLOU, J.T; ANDEREGG, L.D.D; BIELORY, L.; KINNEY, P.L; ZISKA, L. **Anthropogenic climate change is worsening North American pollen seasons**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS), vol.118, n.7, 2021.

ARAGÃO, M.J. **História do Clima**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

BANDA, A.; MADAMBA, D.C; GUMBO T.; CHANYANDURA, A. **Climate Change Extent and Dipteran Pollinators Diversity in Africa**. Handbook of Climate Change Management, Springer, 2021.

BARRY, R.G.; CHORLEY, R.J. **Atmosfera, Tempo e Clima**. 9 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BATTISTI, A.; LARSSON, S.; ROQUES, A. **Processionary Moths and Associated Urtication Risk: Global Change-Driven Effects**. Annual Review of Entomology, v. 62, n. 1, p. 323-342, 2017.

BIDDICK, M.; BURNS, K.C. **Phenotypic trait matching predicts the topology of an insular plant-bird pollination network**. Integrative zoology, v. 13, p. 339-347, 2018.

BLANK, D.M.P. **O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas**. Fortaleza: Mercator, v. 14, n. 2, p. 157-172, 2015.

BONELLI, S.; CERRATO, C.; BARBERO, F.; BOIANI, M.V.; BUFFA, G.; CASACCI, L.P; FRACASTORO, L.; PROVENZALE, A.; RIVELLA, E.; ZACCAGNO, M. *et al.* **Changes in Alpine Butterfly Communities during the Last 40 Years**. Insects, v.13. n.43, 2022.

BORGUI, M.; SOUZA, L.P; YOSHIDA, T.; FERNIE, A.R. **Flowers and climate change: a metabolic perspective**. New Phytologist, v. 224, ed 4, p. 1425-1441, 2019.

CAMPBELL, D.R; POWERS, J.M. **Natural selection on floral morphology can be influenced by climate**. The Royal Society Publishing, n. 282, 2015.

CARNEVSKIS, E.L. **Determinação de eventos de deficiência hídrica máxima com fins de implantação de sistemas de irrigação em pastagens tropicais**. Tese (Mestra em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2016.

CARNEVSKIS, E.L; LOURENÇO, L.F. **Agrometeorologia e climatologia**. Porto Alegre: SAGAH, 2019.

CORTESE, T.T.P; NATALINI, G. **Mudanças climáticas: do global ao local**. 1 ed. Barueri, SP: Manole, 2014.

DELLINGER, A.S. **Pollination syndromes in the 21st century: where do we stand and where we may go?**. New Phytologist, n.228, p.1193-1213, 2020.

FILHO, W.L; BARBIR, J.; PREZIOSI, R. **Handbook of Climate Change and Biodiversity**. Switzerland: Springer, 2019.

FITTER, A.H; FITTER, R.S.R. **Rapid Changes in Flowering Time in British Plants**. Science, vol. 296, 2002.

GALVEZ, M.D.H; MOZO, H.G; OTEROS, J.; MESTRE, A.; BOTEY, R.; GALÁN, C. **Phenological behavior of early spring flowering trees in Spain in response to recent climate changes**. Switzerland: Springer, Fev. 2017.

GÉRARD, M.; VANDERPLANCK, M.; WOOD, T.; MICHEZ, D. **Global warming and plant-pollinator mismatches**. London: Portland Press, n.4, p. 77-86, Abr. 2020.

GIANNINI, T.C; COSTA, W.F; BORGES, R.C; MIRANDA, L.; COSTA, C.P.W.; SARAIVA, A.M; FONSECA, V.L.I. **Climate change in the Eastern Amazon: crop-pollinator and occurrence-restricted bees are potentially more affected**. Switzerland: Springer, v.20, n. 9, 2020.

GONÇALVES, E.G; LORENZI, H. **Morfologia vegetal: organografia e dicionário ilustrado de morfologia das plantas vasculares**. 2 ed. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2011.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S.M; FOX, G.A. **Ecologia vegetal**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GUTIERREZ, V.; VILLANUEVA, A.; BALVANERA, S.; CASTRO, A.; GUTIÉRREZ, J. **Vulnerability of bat-plant pollination interactions due to environmental change**. *Global Change Biology*, v. 27, p. 3367-3382, 2021.

HALSCH, C.A; SHAPIRO, A.M; FORDYCE, J.A; NICE, C.C; THORNE, J.H; WAETJEN, D.P; FORISTER, M.L. **Insects and recent climate change**. *PNAS*, n. 2, vol. 118, 2021.

HEGLAND, S.J; NIELSEN, A.; LÁZARO, A.; BJERKNES, A.L; TOTLAND, Ø. **How does climate warming affect plant-pollinator interactions?**. France: *Ecology Letters*, n.12, p. 184-195, 2009.

HILL, G.M.; KAWAHARA, A.Y.; DANIELS, J.C; BATEMAN, C.C.; SCHEFFERS, B.R. **Climate change effects on animal ecology: butterflies and moths as a case study**. Cambridge Philosophical Society: *Biological Reviews*, n.96, p. 2113-2126, 2021.

Special Report: Global Warming of 1.5 °C. **IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2021. Disponível em:<<https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>>. Acesso em: 25 de set. de 2021.

KERBAUY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019.

LEE, S.; JEON, H.; KIM, M. **Spatial Distribution of Butterflies in Accordance with Climate Change in the Korean Peninsula**. *Sustainability*, v.12, 2020.

LIMA, A.; VARASSIN, I.; BARVE, N.; ZWIENER, V. **Spatio-temporal effects of climate change on the geographical distribution and flowering phenology of hummingbird-pollinated plants**. *Annals of Botany*, v.124, ed. 3, p. 389-398, 2019.

MADGWICK, J.W.; WEST, J.S.; WHITE, R.P.; SEMENOV, M.A.; TOWNSEND, J.A.; TURNER, J.A.; FITT, B.D.L. **Impacts of climate change on wheat anthesis and fusarium ear blight in the UK**. *Springer*, n. 130, p. 117-131, 2011.

MARSHMAN, J.; PALMER, A.B; LANDMAN, K. **Anthropocene Crisis: Climate Change, Pollinators, and Food Security**. *Environments*, v.6, n.2, 2019.

MILLARD, J.; OUTHWAITE, C.L.; KINNERSLEY, R.; FREEMAN, R.; GREGORY, R.D; ADEDOJA, O.; GAVINI, S.; KIOKO, E.; KUHLMANN, M.; OLLERTON, J.; REN, Z.X.; NEWBOLD, T. **Global effects of land-use intensity on local pollinator biodiversity**. *Nature Communications*, v.12, n. 2902, 2021.

MOREIRA, W. **Revisão de literatura e desenvolvimento científico: conceitos e estratégias para confecção**. Centro Universitário Teresa D'Ávila: Janus, v.1, n.1, 2004.

MOURA, A.S.; SANTOS, T.R.; SILVEIRA, F.M. **Zoologia e entomologia agrícola**. Porto Alegre: SAGAH, 2019.

MULUNEH, M.G. **Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective – a review article**. *Agriculture & Food Security*, v.10, n.36, 2021.

NORONHA, D.; FERREIRA, S. Revisões da literatura. In: CAMPELLO, B. S; CENDÓN, B. V; KREMER, J. M. (Eds) **Fontes de informação para pesquisadores e profissionais**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, p. 191-198, 2000.

PASHALIDOU, F.G; LAMBERT, H.; PEYBERNES, T.; MESCHER, M.C; MORAES, C.M. **Bumble bees damage plant leaves and accelerate flower production when pollen is scarce**. *Science*, v.368, p. 881-884, 2020.

PAUDEL, B; CHU, T; CHEN, M.; SAMPATH, V.; PRUNICKI, M.; NADEAU, K.C. **Increased duration of pollen and mold exposure are linked to climate change**. *Nature*, v.11, n.12816, 2021.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R; SENTELHAS, P.C. **Meteorologia agrícola**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.

RAMÍREZ, F.; KALLARACKAL, J. **Tree Pollination Under Global Climate Change**. Switzerland: Springer Briefs in Agriculture, 2018.

RAVEN, P.H; EVERT, R.F; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 8 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

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

REGAN, E.C; SANTINI, L.; KING, L.I; HOFFMANN, M.; RONDININI, C.; SYMES, A.; TAYLOR, J.; BUTCHART, S.H.M. **Global Trends in the Status of Bird and Mammal Pollinators**. Conservation Letters, v.8, n.6, p. 397-403, 2015.

REGO, G.M *et al.* **Fenologia: ferramenta para conservação, melhoramento e manejo de recursos vegetais arbóreos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

RICKLEFS, R.; RELYEA, R. **A economia da natureza**. 7 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018.

RÖDDEN, D.; SCHMITT, T.; GROS, P.; ULRICH, W.; HABEL, J. **Climate change drives mountain butterflies towards the summits**. Nature, vol.11, 2021.

ROQUES, A. **Processionary Moths and Climate Change: An Update**. 1 ed. Dordrecht: Springer, 2015.

RUIZ, E.P.G; LACHER, T.E. **Climate change, range shifts, and the disruption of a pollinator-plant complex**. Scientific Reports, Nature, v.9, n.14048, 2019.

SETTELE, J.; BISHOP, J.; POTTS, S.G. **Climate change impacts on pollination**. Nature Plants, vol. 2, 2016.

SILVEIRA, T.A.; CEOLA, G. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: SAGAH, 2019.

SONNE, J.; MARUYAMA, P.; GONZÁLES, A.; RAHBEK, C.; BASCOMPTE, J.; DALSGAARD, B. **Extinction, coextinction and colonization dynamics in plant-hummingbird networks under climate change**. Nature Ecology and Evolution, 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I; MURPHY, A. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2021.

TAKKIS, K; TSCHEULIN, T.; TSALKATIS, P.; PETANIDOU, T. **Climate change reduces nectar secretion in two common Mediterranean plants**. AoB Plants, n.7, 2015.

TAKKIS, K.; TSCHEULIN, T.; PETANIDOU, T. **Differential Effects of Climate Warming on the Nectar Secretion of Early-and-Late-Flowering Mediterranean Plants.** *Frontiers in Plant Science*, v. 9, n. 874, 2018.

WEBER, U.K; NUISMER, S.L; ESPÍNDOLA, A. **Patterns of floral morphology in relation to climate and floral visitors.** Oxford University Press: *Annals of Botany*, n. 125, p. 433-445, 2020.

WOLF, A.A.; ZAVALETA, E.S.; SELMANTS, P.C. **Flowering phenology shifts in response to biodiversity loss.** *PNAS*, v. 114, n. 13, p. 3463-3468, mar. 2017.

WOLOWSKI, M. *et al.* **Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil.** São Carlos, SP: Editora Cubo, 2019.

ZANDALINAS, S.I.; BALFAGÓN, D.; CADENAS, A.G.; MITTLER, R. **Plant responses to climate change: metabolic changes under combined abiotic stresses.** Oxford University Press: *Journal of Experimental Botany*, 2022.