

RESSALVA

Atendendo solicitação da
autora, o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de 20/02/2026.



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGIA VEGETAL)

**ESTUDO DE LONGA DURAÇÃO EM CERRADO *SENSU STRICTO*:
ENTENDENDO AS MUDANÇAS DO CLIMA E SEUS EFEITOS NA FENOLOGIA
E REPRODUÇÃO DAS PLANTAS, SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E A SUA
PERCEPÇÃO PELA SOCIEDADE**

AMANDA EBURNEO MARTINS



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGIA VEGETAL)

**ESTUDO DE LONGA DURAÇÃO EM CERRADO *SENSU STRICTO*:
ENTENDENDO AS MUDANÇAS DO CLIMA E SEUS EFEITOS NA FENOLOGIA
E REPRODUÇÃO DAS PLANTAS, SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E A SUA
PERCEPÇÃO PELA SOCIEDADE**

AMANDA EBURNEO MARTINS

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal).

Orientador: Dra. Leonor Patricia Cerdeira Morellato

M386e

Martins, Amanda Eburneo

Estudo de longa duração em cerrado sensu stricto: entendendo as mudanças do clima e seus efeitos na fenologia e reprodução das plantas, serviços ecossistêmicos e a sua percepção pela sociedade / Amanda Eburneo Martins.

-- Rio Claro, 2025

230 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientadora: Leonor Patricia Cerdeira Morellato

1. Botânica. 2. Biologia da Polinização. 3. Fenologia vegetal. 4. Mudanças climáticas. 5. Ciência cidadã. I. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: "Estudo de longa duração em cerrado sensu stricto: entendendo as mudanças do clima e seus efeitos na fenologia e reprodução das plantas, serviços ecossistêmicos e a sua percepção pela sociedade"

AUTORA: AMANDA EBURNÊO MARTINS

ORIENTADORA: LEONOR PATRICIA CERDEIRA MORELLATO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciências Biológicas (Biologia Vegetal), área: Biologia Vegetal pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **LEONOR PATRICIA CERDEIRA MORELLATO**
Data: 11/03/2025 09:01:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. LEONOR PATRICIA CERDEIRA MORELLATO (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade / Unesp IB Rio Claro

Documento assinado digitalmente
 **NATALIA COSTA SOARES**
Data: 21/02/2025 02:29:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Pesquisadora NATALIA COSTA SOARES (Participação Virtual)
Pós doutoral do Instituto de Biologia / Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Documento assinado digitalmente
 **LIGIA SILVEIRA FUNCH**
Data: 20/02/2025 15:50:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. LIGIA SILVEIRA FUNCH (Participação Virtual)
Ciências Biológicas / Universidade Estadual de Feira de Santana

Documento assinado digitalmente
 **KAYNA AGOSTINI**
Data: 21/02/2025 14:06:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. KAYNA AGOSTINI (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Natureza, Matemática e Educação / Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Prof.^a Dr.^a TEREZA CRISTINA GIANNINI (Participação Virtual)
Departamento de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos / Instituto Tecnológico Vale - Belém I

Rio Claro, 20 de fevereiro de 2025

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à vida! Por me permitir ter esta vivência muito desafiadora, aproveitar cada momento e conseguir finalizar este longo processo. O doutorado estimulou muitas mudanças em mim, dentro da universidade e fora dela, que me fizeram crescer, aprender e compartilhar novas experiências profissionais e pessoais. Obrigada, vida!

Agradeço às plantas e seus polinizadores, por serem fascinantes, belos e cheios de especializações. Estes seres despertam a minha curiosidade, a vontade de continuar a estudá-los e contribuir ao máximo para sua conservação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2021/12842-2 e CEPID CBioClima, Processo nº 2021/10639-5. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - 140534/2020-2, DTI-B #381851/2024-9, pelas bolsas concedidas ao longo destes cinco anos, as quais permitiram o desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço ao projeto *MISMATCH: Padrões de floração, mudanças do clima e assincronias temporais entre flores e polinizador: implicações na polinização por abelhas e serviços ecossistêmicos em ecossistemas tropicais – Chamada A.B.E.L.H.A.* (#401577/2022-8) pelo financiamento. Agradeço ao PIBIC CNPq, Extensão UNESP pelas bolsas concedidas à Ana Carolina S. M. Lemos e Thalita Surian, que foram de extrema importância para o desenvolvimento do terceiro capítulo desta tese e do projeto de extensão “Fenologia Cidadã”.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho - UNESP”, por toda nossa parceria desde 2010, que se iniciou em Botucatu, e continuou em Rio Claro. Em especial, ao Programa de pós-graduação de Biologia Vegetal, Departamento de Biodiversidade e a Seção Técnica de Pós-graduação do Instituto de Biociências do Campus de Rio Claro, pelo apoio e infraestrutura disponibilizados.

Agradeço em especial às minhas orientadoras Patrícia e Priscila, e o Laboratório de Fenologia, por terem compartilhado comigo este tempo de muita aprendizagem, desafios, lições, network e parceria. Obrigada por toda a amizade, ajuda em campos, trocas de experiências, cervejas e risadas. Ter feito parte deste lab. me deixa muito feliz! Agradeço em especial a Thalita, Ana, Bruna, Nattália, Ian, Mateus, Arthur e Dani pela ajuda de campo em Itirapina durante os experimentos nas plantas. Agradeço a Monize por fazer a rede de polinizadores, cultivos e espécies nativas do segundo capítulo. Obrigada amigos e parceiros de ciência.

Agradeço em especial a toda a equipe, às alunas bolsistas e aos voluntários, que desenvolveram e participaram do projeto de extensão “Fenologia Cidadã”. Foi uma experiência muito importante, que, a partir dela, surgiu um novo caminho para continuar a trabalhar com ciência.

Agradeço em especial a minha família de Botucatu e Rio Claro, e a todas as pessoas que conheci durante os caminhos que o doutorado me proporcionou e. Todo o tempo e vida que compartilhamos, toda escuta, apoio, paciência e risadas (que não poderiam faltar), foram essenciais para conseguir finalizar este processo intenso que é o doutorado. Minha vida é mais feliz porque a compartilho com vocês!!!

Obrigada!

RESUMO

O cerrado é uma vegetação tropical sazonal mega diversa, considerada um *hotspot* de conservação da biodiversidade. Apresenta diversas estratégias reprodutivas que interagem com os visitantes florais locais em função das condições climáticas. As mudanças climáticas estão alterando a fenologia reprodutiva de plantas de regiões extratropicais. Estudos de longa duração podem contribuir com previsões e tendências sobre a resiliência de comunidades, visto que são escassos nos trópicos. Esses efeitos também atingem a qualidade de vida e bem-estar humano, que ficam vulneráveis devido a diminuição dos serviços ecossistêmicos. O cerrado apresenta uma fenologia com padrão sazonal e a maioria das espécies tem reprodução cruzada, e polinização por animais. Desta maneira, a área remanescente de cerrado *sensu stricto* em Itirapina, interior de São Paulo foi utilizada como estudo de caso. Na área ocorre um monitoramento fenológico de longa duração e utilizamos 15 anos de dados de 2005 a 2019, para avaliar se a dependência de polinização biótica é um traço funcional importante que altera a resposta fenológica reprodutiva da comunidade ao longo do tempo e em relação às variáveis climáticas. Em seguida, através de uma revisão sistemática da literatura dos serviços ecossistêmicos das espécies vegetais e dos dados fenológicos de floração, descrevemos quais são esses benefícios e sua relação com a polinização, temporalidade e fenologia. Por fim, para contribuir no diálogo entre ciência e sociedade, utilizamos a ciência cidadã em conjunto com a fenologia para convidar e capacitar cidadãos para participarem na coleta de dados fenológicos e atividades de educação ambiental. Encontramos que a dependência de polinização biótica não é um gatilho para maiores alterações fenológicas, visto que os dois grupos diminuíram a duração das fenofases de floração e frutificação, e que há relação com as variáveis climáticas. A alteração na duração das flores e frutos foi detectada no final do ciclo reprodutivo, considerando que os grupos não apresentaram alterações no início e pico das fenofases reprodutivas. Porém, a duração mais curta não impactou o sucesso reprodutivo da comunidade, que se manteve estável ao longo dos 15 anos, com *fruit-set* aproximado de 70%. Ademais, o cerrado apresentou diversos serviços ecossistêmicos descritos na literatura, com foco no uso medicinal. Constatamos que a disponibilidade de recursos florais de 20 espécies das 31 analisadas apresentou mudanças, diminuindo ou aumentando a duração da floração e ou frutificação. O serviço de polinização mostrou-se de extrema importância para manter os cultivos agrícolas próximos, visto que encontramos alta dependência dos cultivos em relação à área natural. Isto porque,

aproximadamente 60% dos cultivos próximos à área de cerrado dependem de polinizadores que estão presentes e são visitantes florais. Como resultado do terceiro capítulo, foi possível implementar a ciência cidadã no monitoramento de árvores do campus da UNESP de Rio Claro. Os voluntários demonstraram engajamento durante todo o período de coleta e os dados coletados apresentaram relação positiva significativa quando comparados com os dados coletados pelas pesquisadoras. Portanto, validamos o treinamento fenológico padronizado para capacitar cidadãos. Por fim, esta tese abordou os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS 4, 13 e 15 e contribui para conservação do cerrado, proporcionando subsídios para mitigação dos efeitos das mudanças climáticas em ecossistemas naturais savânicos, além de incentivar projetos de ciência cidadã e fenologia no Brasil.

Palavras-chave: cerrado, ecossistemas naturais savânicos, fenologia reprodutiva, sistema reprodutivo de plantas, polinização, mudanças climáticas, vegetação sazonal, fenologia tropical, fenologia de longa duração, serviços ecossistêmicos, ciência cidadã, educação ambiental, ciência colaborativa, monitoramento da biodiversidade.

ABSTRACT

The cerrado is a mega-diverse seasonal tropical vegetation, considered a biodiversity conservation hotspot. It presents various reproductive strategies that interact with local floral visitors based on climatic conditions. Climate change is altering the reproductive phenology of plants in extratropical regions. Long-term studies can contribute to predictions and trends on the resilience of communities, since they are scarce in the tropics. These effects also impact human quality of life and well-being, which become vulnerable due to the reduction in ecosystem services. The Brazilian savanna (cerrado) exhibits a seasonal phenology and most species exhibit cross-pollination, pollinated by animals. Hence, the remaining area of cerrado *sensu stricto* in Itirapina, in the interior of São Paulo, was used as a case study. Long-term phenological monitoring takes place in the area, and we used 15 years of data from 2005 to 2019 to assess whether dependence on biotic pollination is an important factor that alters the community phenological response over time and in relation to climatic variables. Following, through a systematic review of the literature on ecosystem services of plant species, we describe what these benefits are and their relationship with pollination, temporality, and phenology. Moreover, to contribute to the dialogue between science and society, we used citizen science in conjunction with phenology to invite and train citizens to participate in the collection of phenological data and environmental education activities. We found that dependence on biotic pollination is not a trigger for major phenological changes, since both groups decreased the duration of flowering and fruiting, with a relationship with climate variables. The shifts in the flowering and fruiting were detected at the end of the reproductive cycle, considering that the groups did not present changes in the onset and peak of reproductive phenophases. However, the shorter duration did not impact the reproductive success of the community, which remained resilient over the 15 years, with a fruit-set of approximately 70%. Furthermore, the cerrado presented several ecosystem services described in the literature, with a focus on medicinal use. We found that floral resources availability of 20 from the cerrado showed changes, decreasing or increasing the flowering and or fruiting duration. Several species were indicated as potential for restoration, and the pollination service proved to be extremely important for maintaining nearby agricultural crops, since we found a high dependence of crops on the natural area. This is because approximately 60% of crops near the cerrado area depends on pollinators that are present in the natural area. As a result of the third chapter, it was possible to implement a citizen science tree

monitoring on the UNESP campus in Rio Claro. The volunteers demonstrated engagement throughout the data collection period, and was possible to validated the standardized phenological training to train citizens. Finally, this thesis addressed the Sustainable Development Goals - SDGs 4, 13 and 15 and contributes to the cerrado conservation, providing subsidies for mitigating the effects of climate change on natural savanna ecosystems, and to encouraging citizen science and phenology projects in Brazil.

Keywords: cerrado savanna, natural savanna ecosystems, reproductive phenology, reproductive system of plants, pollination, climate change, seasonal vegetation, tropical phenology, long-term phenology, ecosystem services, citizen science, environmental education, biodiversity monitoring, collaborative research.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	12
Referências.....	17
CAPÍTULO 1. <i>Climate-induced shifts in long-term tropical tree reproductive phenology: insights from species dependent on and independent of biotic pollination</i>	23
Abstract.....	23
Introduction.....	24
Materials and Methods	26
Results.....	33
Discussion.....	37
References.....	42
Tables and Figures.....	50
Supplementary material.....	53
CAPÍTULO 2. <i>Serviços Ecossistêmicos do cerrado: Espécies potenciais do cerrado de São Paulo e a temporalidade dos recursos, um estudo de caso</i>	65
Resumo.....	65
Introdução.....	67
Materiais e Métodos	70
Resultados.....	73
Discussão.....	82
Referências.....	87
Figuras e Tabelas.....	93
Material Suplementar.....	100

CAPÍTULO 3. <i>Ciência cidadã na universidade: validação de treinamento de monitoramento fenológico</i>.....	184
Resumo.....	184
Introdução.....	186
Materiais e Métodos	189
Resultados.....	193
Discussão.....	199
Referências.....	203
Material Suplementar.....	208
CONCLUSÃO GERAL.....	227

INTRODUÇÃO GERAL

As Américas concentram 40% dos ecossistemas mundiais e o Brasil lidera o ranking das 17 nações mega diversas do mundo, com cerca de 20% das espécies descritas atualmente no planeta estão presentes nos ecossistemas brasileiros (IPBES, 2018; Prado et al., 2024). O Cerrado é o segundo maior domínio morfoclimático da América do Sul, presente em aproximadamente 24% do território brasileiro (Fernandes et al., 2016). É considerado um *hotspot* da biodiversidade, e é a savana tropical mais biodiversa do mundo (Klink and Machado, 2005; Myers et al., 2000). Com distintas fitofisionomias, possui mais de 13 mil espécies de plantas, no qual aproximadamente 38% são endêmicas e representam cerca de 5% da diversidade biológica do planeta (Fernandes et al., 2016; Colli et al., 2020). O Cerrado também possui alta sócio diversidade, pois abriga inúmeras populações humanas tradicionais, como comunidades indígenas, quilombolas e seringueiras, que sobrevivem de seus recursos e que possuem saberes e práticas construídos ao longo de várias gerações, contribuindo para sua conservação (Sawyer et al., 2016; Prado et al., 2024). Além das comunidades em paisagens naturais, mais de 29 milhões de pessoas vivem em áreas urbanas situadas dentro do Cerrado (IBGE, 2012). Desta forma, o Cerrado é responsável por disponibilizar diversos benefícios sem custo monetário para sobrevivência, qualidade de vida e bem-estar, considerados serviços ecossistêmicos (SE) aos seres humanos (Bergamo et al., 2021).

Apesar disso, o Cerrado é o domínio morfoclimático mais severamente ameaçado no Brasil, transformado por expansões agropecuárias, extrativismo e áreas urbanizadas (Ratter et al., 1997; Fernandes et al., 2016; Morandi et al., 2020). Com a taxa mais alta de desmatamento entre os biomas brasileiros, as paisagens do Cerrado se tornaram fragmentos e foram reconfiguradas em torno da produção de commodities relacionadas a produtos como a soja e de incentivos políticos (Carvalho et al., 2009; MMA, 2014; Strassburg et al., 2017). Embora existam leis para preservação das áreas naturais e redução do desmatamento, a superfície geográfica pertencente a esta área conservada é equivalente a apenas 8% de sua cobertura original (Carranza et al., 2014; Françoso et al., 2015). Com a transformação das áreas naturais interligadas às mudanças do clima, a reprodução das plantas através da polinização por animais, por exemplo, que ocorre em cerca de 86% das espécies vegetais lenhosas nas áreas de cerrado do Brasil, poderá ser impactada (Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger, 2006; Fernandes et al., 2016).

No atual cenário de alterações climáticas, entender como a fenologia do cerrado está mudando

ao longo do tempo é essencial para a conservação e manutenção das comunidades no Cerrado. A fenologia estuda a época de ocorrência de eventos cíclicos recorrentes no ciclo de vida de plantas e animais e sua relação com o clima da biota (Morellato et al. 2016; Schwartz, 2024). A vegetação do Cerrado está sujeita à sazonalidade climática, com uma estação seca e mais amena e estação úmida quente e úmido (Klink & Machado, 2005). Esta sazonalidade é considerada a principal condicionante dos padrões fenológicos vegetativos e reprodutivos, definindo os gatilhos para a floração e frutificação (Batalha & Mantovani, 2000; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger, 2006; Morellato et al., 2016; 2024; Vilela et al., 2017; Escobar et al., 2018; Martins et al., 2021). Apesar da sazonalidade de flores e frutos, esses recursos estão disponíveis para os animais durante o ano todo (Oliveira & Gibbs, 2000; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger, 2006; Martins et al., 2021). O pico de floração ocorre em setembro, na transição da estação seca para úmida, quando os polinizadores estão mais ativos, e o pico de frutificação, ocorre em outubro-novembro, durante a estação chuvosa (Figura 1) (Camargo et al., 2013; Escobar et al., 2018; Martins et al., 2021). Adicionalmente, as espécies vegetais do cerrado apresentam diversas estratégias reprodutivas, variedade de sistemas sexuais e traços funcionais (Oliveira & Gibbs, 2000; Gottsberger & Silberbauer-Gottsberger, 2006; Oliveira, 2008). Nesse contexto, as alterações na temperatura e precipitação relacionadas às mudanças do clima e intensificadas pela ação antrópica, especialmente às mudanças no uso do solo (IPCC 2021; 2022), podem ocasionar alterações da fenologia da floração e frutificação das plantas, especialmente em vegetações tropicais sazonais como o cerrado (Morellato et al., 2016; 2024; Vilela et al., 2017; Genini et al., 2021). Essas mudanças na fenologia podem afetar a oferta de recursos e as interações com polinizadores e dispersores devido às alterações na época e duração de oferta de recursos, causando desacoplamento intra e entre espécies de plantas e seus mutualistas (Memmott et al., 2007; Morellato et al., 2016; Kharouba et al., 2016). Ademais, o traço funcional de dependência de polinização biótica, é dominante no cerrado lenhoso (Oliveira & Gibbs, 2000; 2002) e, portanto, podem responder mais intensamente às alterações climáticas do que as espécies que são independentes de polinização biótica (Ferrer et al., 2024). Os traços funcionais afetam a sobrevivência, desenvolvimento, crescimento e reprodução de indivíduos, ligados a processos evolutivos e neste contexto, podem caracterizar espécies vegetais mais susceptíveis às alterações climáticas e ao tempo (Violle et al., 2007).

Interligado aos traços funcionais, o monitoramento fenológico a longo prazo proporciona tendências de comportamento e resiliência das espécies. A maioria dos estudos de longa duração são desenvolvidos principalmente fora da região tropical e relacionam os dados

fenológicos de plantas, principalmente a floração, com variáveis climáticas, como temperatura, precipitação, radiação solar e umidade relativa (Parmesan, 2007; Menzel et al., 2020; Rafferty et al., 2020; Freimuth et al., 2022). Nos trópicos, existem alguns estudos de longo prazo que relacionam variáveis climáticas à fenologia reprodutiva (Wright & Calderón, 2006; Zhao et al., 2013; Pau et al., 2017; Wright & Calderón, 2017; Garwood et al., 2023), e que descrevem o padrão fenológico da comunidade (Van Schaik et al., 1993; Alencar et al., 1979). E ademais, detectaram mudanças na produção de flores e sua relação com eventos climáticos, como o El Niño (Wright & Calderón, 2017). Apesar desses estudos de longo prazo nos trópicos, no Brasil, há apenas quatro estudos descritos, nos biomas da Mata Atlântica, na Amazônia Central, na caatinga e no cerrado (Lex Engel & Martins, 2005; Alencar et al., 1979; Vilela et al., 2018).

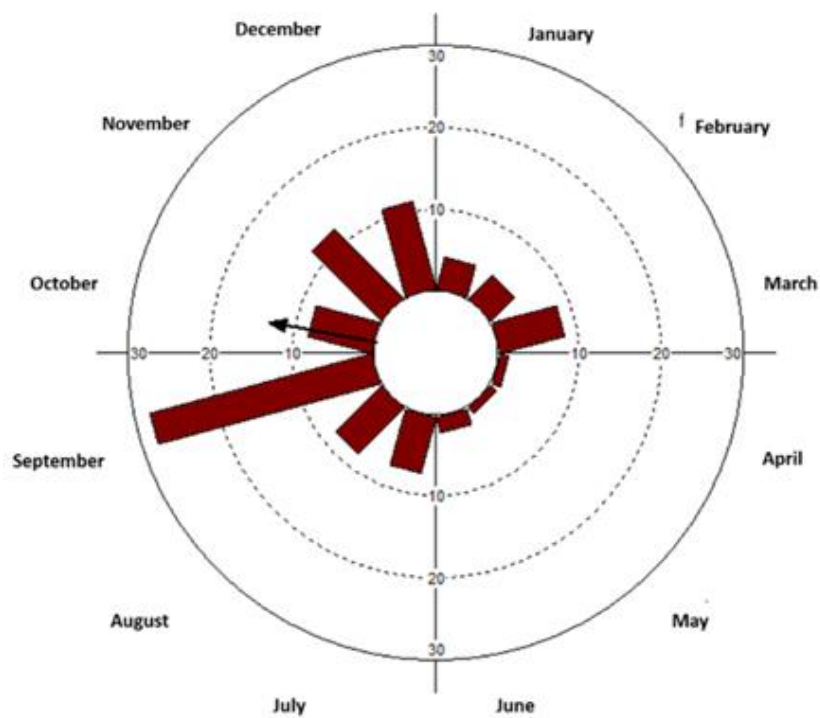


Figura 1: Pico de floração de 91 espécies do cerrado *sensu stricto* de Itirapina, São Paulo, no período de 2005 a 2015. O pico da comunidade ocorre em setembro, entre as transições da estação seca para chuvosa.

O Cerrado oferece muitos serviços ecossistêmicos (SE) essenciais para o bem estar humano, do qual destacamos a polinização (Hill et al., 2016; Joly et al., 2019; Colli et al. 2020; Bergamo et al. 2021; Prado et al., 2024). Esses SE podem ser afetados pelas mudanças do clima e

consequentes alterações na fenologia das plantas e suas interações mutualistas, como a polinização (Inouye, 2019; Aquino et al., 2020; Agostini et al., 2022). Portanto, é importante entender os SE que o cerrado oferece e quais estão sob ameaça devido às mudanças do clima (Bergamo et al., 2021).

Considerada uma variável essencial da biodiversidade, a fenologia, e seu monitoramento continuado, oferece informações sobre a época, intensidade, e a duração da estação reprodutiva, a sincronicidade das espécies vegetais e a adaptação e resiliência de plantas e animais ao ambiente (GCOS, 2010; Kissling et al., 2018). É uma das áreas mais simples para desenvolver estudos de monitoramento da biodiversidade, por detectar possíveis variações nas dinâmicas das comunidades vegetais (Taylor et al., 2019; Fraisl et al., 2020). Desta maneira, diversos estudos de fenologia em associação com programas de ciência cidadã estão sendo desenvolvidos, principalmente no Hemisfério Norte (Danielsen et al., 2005; Taylor et al., 2019; Woodland Trust, 2021). A ciência cidadã convida a sociedade para colaborar no desenvolvimento de projetos científicos, com intuito de democratizar a ciência por meio do compartilhamento de informações entre cientistas e não cientistas (Dickinson et al., 2012, Haklay et al., 2021; Johnston et al., 2023). Portanto, integrar a fenologia e ciência cidadã é uma maneira de engajar a população na observação de espécies vegetais e aproximar as pessoas da natureza, de questões relacionadas à conservação da biodiversidade, resgatando um histórico cultural, que está vinculado ao cotidiano das pessoas, e também o alto potencial de coleta de dados em grandes escalas espaciais e temporais, beneficiando tanto a sociedade quanto cientistas (Donnely et al., 2009; Kissling et al., 2018).

Esta tese, portanto, tem o intuito de contribuir para entendermos, tendo como foco de estudo o cerrado, e respondermos se as mudanças do clima estão afetando a fenologia reprodutiva de longa duração, sua relação com a dependência da polinização biótica, o sucesso reprodutivo das plantas, e como os SE estão relacionados com a temporalidade. Além disso, esta tese também tem o intuito de promover iniciativas e debates de projetos de ciência cidadã, para disseminar o conhecimento de fenologia, democratizar o conhecimento para toda população e auxiliar no desenvolvimento de monitoramentos da biodiversidade em maiores escalas (Figura 1).

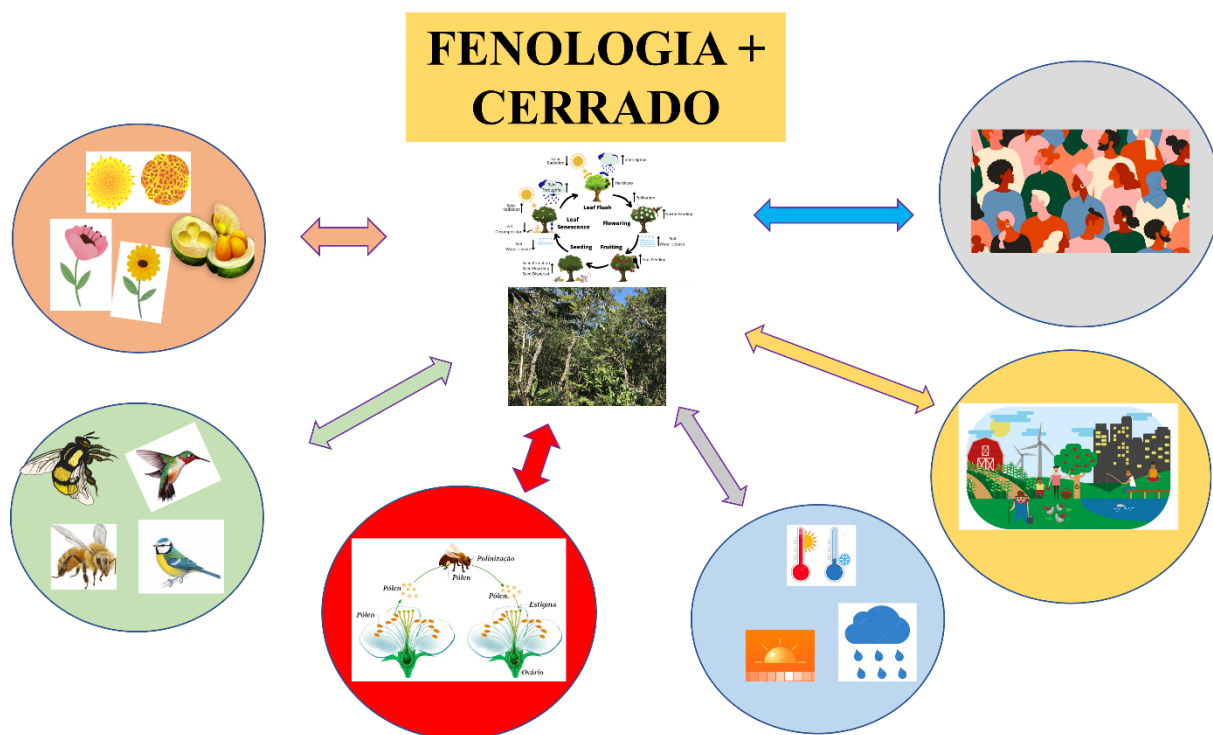


Figura 1: Esquema demonstrativo dos tópicos que a tese aborda. Através da fenologia reprodutiva de longa duração do cerrado de Itirapina, São Paulo, abordamos uma conexão entre temporalidade com a dependência de polinização biótica, as variáveis do clima, serviços ecossistêmicos e a sociedade, através da ciência cidadã.

O primeiro capítulo intitulado “*Mudanças induzidas pelo clima na fenologia reprodutiva de espécies lenhosas tropicais a longo prazo: perspectivas de espécies dependentes e independentes de polinização biótica*” tem por objetivo comparar os padrões e alterações fenológicas nas flores e frutos a longo prazo de espécies lenhosas de cerrado, separadas entre dois grupos funcionais: dependentes e independentes de polinização biótica. Testamos a hipótese se variáveis fenológicas de floração e frutificação foram alteradas devido às mudanças do clima, e se estas alterações apresentaram maiores intensidades para espécies dependentes de polinização biótica. A fenologia reprodutiva foi avaliada durante o período de 2005 a 2019, a partir de um banco de dados de longa duração, em uma área de cerrado *sensu stricto*, em Itirapina, São Paulo. O segundo capítulo intitulado “*Serviços Ecossistêmicos do cerrado: Espécies potenciais do cerrado de São Paulo e a temporalidade dos recursos, um estudo de caso*” faz uma avaliação dos efeitos das mudanças na fenologia de floração do cerrado na provisão de Serviços Ecossistêmicos, com foco no serviço de regulação de polinização. Apresentamos uma revisão sistemática da literatura sobre os serviços ecossistêmicos de 82 espécies vegetais presentes na mesma área de cerrado *sensu stricto* em Itirapina. Descrevemos

e discutimos os benefícios que as espécies oferecem aos seres humanos, destacando o SE de polinização, apresentamos as análises de longa duração da fenologia das espécies que oferecem recursos florais buscando responder se as mudanças do clima afetam a oferta de serviços e com a alteração temporal na fenologia reprodutiva. O terceiro capítulo intitulado “*Ciência cidadã na universidade: validação de treinamento de monitoramento fenológico*”, é uma proposta de monitoramento fenológico das espécies vegetais do campus da UNESP de Rio Claro, São Paulo, realizada por voluntários/cidadãos cientistas. Nosso objetivo foi criar um treinamento para capacitar cidadãos sem experiência em fenologia para contribuir no avanço da pesquisa da ciência cidadã e fenologia no Brasil, democratizar a ciência, desenvolver maior empatia pela natureza e diminuir a cegueira botânica na sociedade.

Portanto, englobar a fenologia reprodutiva, os sistemas reprodutivos das espécies vegetais, as mudanças do clima no Cerrado, seus serviços ecossistêmicos e a ciência cidadã, podem estimular o interesse e gerar transformações em processos educacionais e comportamentais da sociedade em relação à natureza, estabelecendo um diálogo que contribua para a conservação da biodiversidade de áreas remanescentes do Cerrado e ofereça subsídios para mitigação dos efeitos das mudanças climáticas em ecossistemas naturais savânicos, visto que, em sua maioria as ameaças do Cerrado são de origem antrópica (Fernandes et al., 2016; Cunha et al., 2017; Albagli, & Rocha, 2021; Ghilardi-Lopes & Zattara, 2022). Neste contexto, esta tese multidisciplinar abordou os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) - 4: Educação de qualidade, 13: Combate às alterações climáticas e 15: Vida sobre a terra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINI, K. *et al.* Polinização: um serviço ecossistêmico completo. in: GHILARDI-LOPES, N.; ZATTARA, E. E. **Ciência cidadã e polinizadores da América do Sul**. Editora CUBO. 2022.
- ALBAGLI, S.; ROCHA, L. Ciência cidadã no Brasil: um estudo exploratório. In M. M. BORGES & E. S. CASADO (Coords.), **Sob a Lente da Ciência aberta: olhares de Portugal, Espanha e Brasil** (pp. 489-511). Coimbra: Imprensa da Universidade, 2021.
- ALENCAR, J. da C.; ALMEIDA, R. A. de; FERNANDES, N. P. Fenologia de espécies florestais em floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 163–199, 1979.
- AQUINO, F. de G. *et al.* Panorama sobre os Serviços Ecossistêmicos Prestados em Zonas Ripárias do Cerrado. [s. l.], p. 1–36, 2020.
- BATALHA, M. A.; MANTOVANI, W. Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): a comparison between the herbaceous and woody floras. **Revista brasileira de biologia**, v. 60, n. 1, p. 129–145, 2000.
- BERGAMO, P. J. *et al.* Areas Requiring Restoration Efforts are a Complementary Opportunity to

Support the Demand for Pollination Services in Brazil. **Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 55, n. 17, p. 12043–12053, 2021.

BURKLE, L. A.; ALARCÓN, R. The future of plant-pollinator diversity: Understanding interaction networks across time, space, and global change. **American Journal of Botany**, [S. l.], v. 98, n. 3, p. 528–538, 2011. DOI: 10.3732/ajb.1000391.

CAMARGO, M. G. G. *et al.* Fruit color and contrast in seasonal habitats - a case study from a cerrado savanna. **Oikos**, 122(9), 1335–1342, 2013. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00328.x>

CARRANZA, M. L. *et al.* Measuring Forest fragmentation using multitemporal remotely sensed data: Three decades of change in the dry Chaco. **European Journal of Remote Sensing**, [s. l.], v. 47, n. 1, p. 793–804, 2014.

CARVALHO, F. M. V.; DE MARCO, P.; FERREIRA, L. G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. **Biological Conservation**, [s. l.], v. 142, n. 7, p. 1392–1403, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2009.01.031>.

COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; DIANESE, J. C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. **Biodiversity and Conservation**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 1465–1475, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-020-01967-x>.

CUNHA, D. G. F., CASALI, S. P., DE FALCO, P. B., THORNHILL, I., LOISELLE, S. A. The contribution of volunteer-based monitoring data to the assessment of harmful phytoplankton blooms in Brazilian urban streams. **Science of the Total Environment**, p. 586–594, 2017.

DANIELSEN, F.; BURGESS, N. D.; BALMFORD, A. Monitoring matters: Examining the potential of locally-based approaches. **Biodiversity and Conservation**, 2005.

DICKINSON, J. L. *et al.* The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 10, p. 291–297, 2012.

DONNELLY A. *et al.* Response of birds to climatic variability, evidence from the western fringe of Europe. **Int J Biometeorol**, v. 53, p. 211–220, 2009.

ENGEL, V. L.; MARTINS, F. R. Reproductive phenology of Atlantic forest tree species in Brazil: An eleven year study. **Tropical Ecology**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 1–16, 2005.

ESCOBAR, D. F. E., SILVEIRA, F. A. O., & MORELLATO, L. P. C. Timing of seed dispersal and seed dormancy in Brazilian savanna: Two solutions to face seasonality. **Annals of Botany**, 121(6), 1197–1209, 2018. <https://doi.org/10.1093/aob/mcy006>

FERNANDES, G. W. *et al.* Cerrado: em busca de soluções sustentáveis. Rio de Janeiro: Vertente Produções Artísticas, 2016.

FERRER, M. M. *et al.* The distribution of self-incompatibility systems in angiosperms: the relationship between mating system diversity, life span, growth habit and latitude in a changing global environment. **Annals of Botany**, 1–17, 2024. <https://doi.org/10.1093/aob/mcae056>

FRAISL, D. *et al.* Mapping citizen science contributions to the UN sustainable development goals. *Sustainability Science*, v. 15, n. 6, p. 1735–1751, 2020. DOI: 10.1007/s11625-020-00833-7.

FRANÇOSO, R. D. *et al.* Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Natureza e Conservacao**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 35–40, 2015.

FRANKIE, G.W., BAKER, H.G., OPLER, P.A. Comparative phenological studies of trees in tropical

lowland wet and dry forest sites of Costa Rica. **Journal of Ecology** 62:881-913, 1974.

FREIMUTH, J.; BOSSDORF, O.; SCHEEPENS, J. F.; WILLEMS, F. M. Climate warming changes synchrony of plants and pollinators. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, 289(1971), 2022. <https://doi.org/10.1098/rspb.2021.2142>

GARWOOD, N. C. *et al.* Seasonality of reproduction in an ever-wet lowland tropical forest in Amazonian Ecuador. **Ecology**, 104(9), 1–15, 2023. <https://doi.org/10.1002/ecy.4133>

GCOS. Meteorological, W., and O. Commission, 2010.

GENINI, J. *et al.* Temporal organization among pollination systems in a tropical seasonal forest. **The Science of Nature**, [S. l.], v. 108, n. 4, p. 1–15, 2021. DOI: 10.1007/s00114-021-01744-y. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00114-021-01744-y>.

GHILARDI-LOPES, N.; ZATTARA, E. E. Ciência cidadã e polinizadores da América do Sul. **Editora CUBO**. 2022

GOTTSBERGER G., & SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I. Life in the cerrado: a South American tropical seasonal ecosystem. Vol. II. **Pollination and seed dispersal**. Ulm, Reta, 2006.

HAKLAY, M. *et al.* What is citizen science? The challenges of definition. **The Science of citizen science**. Springer, New York, 13, 2021.

HILL, R. *et al.* Chapter 5: Biocultural diversity, pollinators and their socio-cultural values. In IPBES (2016): The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. S.G. Potts, et al. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, pp. 275-359, 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INOUE, D. W. Climate change and phenology. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1–17, 2022.

IPBES: The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas. Rice, J., Seixas, C. S., Zaccagnini, M. E., Bedoya-Gaitán, M., and Valderrama N. (eds.). **Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**, Bonn, Germany. 656 pages, 2018

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., et al. (eds.)]. Cambridge University Press.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

JOLY, C. A. *et al.* Capítulo 1: Apresentando o Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. 1º Diagnóstico Brasileiro de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos, [s. l.], p. 6–33, 2019.

JOHNSTON, A., MATECHOU, E., & DENNIS, E. B. Outstanding challenges and future directions for

biodiversity monitoring using citizen science data. **Methods in Ecology and Evolution**, 14(1), 103–116, 2023.

KHAROUBA, *et al.* Global shifts in the phenological synchrony of species interactions over recent decades. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, [S. l.], v. 115, n. 20, p. 5211–5216, 2018. DOI: 10.1073/pnas.1714511115.

KISSLING, W. D. *et al.* Towards global data products of Essential Biodiversity Variables on species traits. *Nature Ecology and Evolution*, [S. l.], v. 2, n. 10, p. 1531–1540, 2018. DOI: 10.1038/s41559-018-0667-3. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41559-018-0667-3>.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, [s. l.], v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005.

MARTINS, A. E.; CAMARGO, M. G. G.; MORELLATO, L. P. C. Flowering Phenology and the Influence of Seasonality in Flower Conspicuousness for Bees. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 11, n. February, p. 1–11, 2021. DOI: 10.3389/fpls.2020.594538.

MEMMOTT, J. *et al.* Global warming and the disruption of plant-pollinator interactions. **Ecology Letters**, 10(8), 710–717, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01061.x>

MENZEL, A. *et al.* European phenological response to climate change matches the warming pattern. **Global Change Biology**, 12(10), 1969–1976, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x>

MENZEL, A. *et al.* Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Global Change Biology*, 26(4), 2599–2612, 2020. <https://doi.org/10.1111/gcb.15000>

MMA (Ministério do Meio Ambiente). Portaria nº 444/2014. Lista nacional oficial de espécies da fauna ameaçada de extinção. **Ministério do Meio Ambiente**. 2014.

MORANDI, D. T. *et al.* Delimitation of ecological corridors between conservation units in the Brazilian Cerrado using a GIS and AHP approach. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 115, n. March 2019, p. 106440, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106440>.

MORELLATO, L.P.C.; CAMARGO, M.G.G.; GRESSLER, E. A review of plant phenology in South and Central America. In: Schwartz, M.D. (Ed.), **Phenology: An Integrative Environmental Science**, Springer, The Netherlands, p. 91–113, 2013.

MORELLATO, L. P. C. *et al.* Linking plant phenology to conservation biology. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 195, p. 60–72, 2016. DOI: 10.1016/j.biocon.2015.12.033. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.033>.

MORELLATO, L. P. C.; ALTOMARE, M.; GRESSLER, E. A Review of Reproductive Plant Phenology in South and Central America: New Perspectives. pp 107-138. In: Schwartz, M.D. (eds) **Phenology: An Integrative Environmental Science**. Springer, Cham, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-75027-4_6

MYERS, N. *et al.* Lessons from the past. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [s. l.], v. 403, n. February, p. 853–858, 2000. Disponível em: https://sdmmp.com/upload/SDMMP_Repository/0/038n1thz2kcdwfpqs7jy6mrvq4xb59.pdf.

OLIVEIRA, P. E.; GIBBS, P. E. Pollination and reproductive biology in cerrado plant communities. In: Oliveira, P. E & Marquis R. J. (eds), **The cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**, Columbia University, New York, 329-347, 2002.

OLIVEIRA, P. E.; GIBBS, P. E. Reproductive biology of woody plants in a cerrado community of

Central Brazil. **Flora**, 195(4), 311–329, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0367-2530\(17\)30990-8](https://doi.org/10.1016/S0367-2530(17)30990-8)

PARMESAN, C. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. **Global Change Biology**, 13(9), 1860–1872, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01404.x>

PAU, S.; OKAMOTO, D. K.; CALDERÓN, O.; WRIGHT, S. J. Long-term increases in tropical flowering activity across growth forms in response to rising CO₂ and climate change. **Global Change Biology**, 24(5), 2105–2116, 2017. <https://doi.org/10.1111/gcb.14004>

PRADO, R. B. *et al.* Sumário para Tomadores de Decisão: Sumário para Tomadores de Decisão: **Relatório Temático sobre Agricultura, Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos**, [s. l.], 2024.

RAFFERTY, N. E.; DIEZ, J. M.; BERTELSEN, C. D. Changing Climate Drives Divergent and Nonlinear Shifts in Flowering Phenology across Elevations. **Current Biology**, 30(3), 432–441, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.11.071>

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, [s. l.], v. 80, p. 223–230, 1997.

SAWYER, D.; LAHSEN, M. Civil society and environmental change in Brazil's Cerrado. **Environment**, [s. l.], v. 58, n. 6, p. 16–23, 2016.

SCHWARTZ, M. D. Phenology: An Integrative Environmental Science. Springer Cham, 2024. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-75027-4>

SILVEIRA, F. A. O. *et al.* Ecology and evolution of plant diversity in the endangered campo rupestre: a neglected conservation priority. **Plant and Soil**, v. 403, n. 1–2, p. 129–152, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-015-2637-8>.

STRASSBURG, B., BROOKS, T., FELTRAN-BARBIERI, R. *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nat Ecol Evol**, v. 1, 2017. <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>

TAYLOR, S. D., *et al.* Comparison of large-scale citizen science data and long-term study data for phenology modeling. **Ecology**, v. 100, p. 1–12, 2019.

THE WOODLAND TRUST. Disponível em: < <https://www.woodlandtrust.org.uk/> >. Acesso em 24 de agosto de 2021.

VAN SCHAIK, C. P.; TERBORGH, J. W.; WRIGHT, S. J. The phenology of tropical forests: Adaptive significance and consequences for primary consumers. **Annual Review of Ecology and Systematics**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 353–377, 1993.

VILELA, A. A. *et al.* Climate changes affecting biotic interactions, phenology, and reproductive success in a savanna community over a 10-year period. **Arthropod-Plant Interactions**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 215–227, 2018. DOI: 10.1007/s11829-017-9572-y.

VIOLLE, C. *et al.* Let the concept of trait be functional!. **Oikos**, [s. l.], v. 116, n. 5, p. 882–892, 2007.

WRIGHT, S. J.; CALDERÓN, O. Seasonal, El Niño and long-term changes in flower and seed production in a moist tropical forest. **Ecology Letters**, 9(1), 35–44, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00851.x>

WRIGHT, S. J.; CALDERÓN, O. Solar irradiance as the proximate cue for flowering in a tropical moist forest. **Biotropica**, 50(3), 374–383, 2018. <https://doi.org/10.1111/btp.12522>

ZHAO, J. *et al.* Phenological response of tropical plants to regional climate change in Xishuangbanna, south-western China Author (s): JUNBIN ZHAO, YIPING ZHANG, FUQIANG SONG, ZAIFU XU AND LAIYUN XIAO Published by: **Cambridge University Press Stable**, URL: [https://www.29\(2\),161-172,2013.https://doi.org/10.1017/S02](https://www.29(2),161-172,2013.https://doi.org/10.1017/S02)

CONCLUSÃO GERAL

Esta tese abordou temas relevantes como o Cerrado, fenologia, reprodução de plantas, polinização, serviços ecossistêmicos, mudanças climáticas e ciência cidadã, de forma a estimular demonstrar as tendências fenológicas reprodutivas de espécies lenhosas do cerrado de Itirapina, São Paulo e analisar os resultados entre espécies dependentes e independentes de polinização biótica frente às mudanças do clima. Além disso, levantou sistematicamente que as plantas do Cerrado nos oferecem benefícios essenciais para nossa sobrevivência sem custo monetário, que os serviços podem ser perdidos ou estar sob ameaça com alterações fenológicas da duração da floração das espécies da área de estudo, interligando os serviços ecossistêmicos com a fenologia e a temporalidade. Por fim, esta tese estimulou o interesse e diálogo de cientistas em relação à sociedade, através de um projeto de extensão de ciência cidadã para capacitar um treinamento fenológico para pessoas sem experiência prévia em fenologia.

No primeiro capítulo, nós confirmamos que a fenologia de floração e frutificação da comunidade de cerrado *sensu stricto* de Itirapina, São Paulo, diminuiu no período de 2005 a 2019, e foi relacionada às variáveis climáticas. A diminuição da floração relacionou-se com a precipitação e a diminuição da frutificação, com a temperatura média e a umidade relativa. A dependência de polinização biótica não foi um fator chave para mudanças mais abruptas na fenologia reprodutiva das espécies vegetais. Apesar do grupo dependente de polinização biótica ter apresentado uma diminuição mais acentuada que o grupo independente, os dois grupos diminuíram e as respostas desta mudança são espécie-específicas. Para confirmar se a resiliência da comunidade foi alterada durante estes 15 anos de dados, utilizamos o número de indivíduos com flores que formaram frutos (*fruit-set*) das espécies dependentes e independentes e constatamos que o sucesso reprodutivo das espécies não foi alterado. Portanto, apesar da duração da fase reprodutiva de algumas espécies diminuir, a formação dos frutos aconteceu de forma estável ao longo deste tempo. Por fim, neste capítulo, sugerimos que a variável fenológica de duração de floração e frutificação pode ser uma métrica para detectar mudanças no final das fenofases, visto que não foram encontradas alterações significativas no início e no pico da floração e frutificação. Além disso, sugerimos que estudos de fenologia, principalmente nos trópicos, utilizem a duração de floração e frutificação para detectar mudanças, considerando que existem pouquíssimos trabalhos que analisaram esta métrica.

No segundo capítulo, detectamos diversos serviços ecossistêmicos na área de cerrado de Itirapina, São Paulo, totalizando 890 em 82 espécies vegetais. Os serviços materiais com foco no uso medicinal foram maioria, seguido dos serviços de regulação e culturais. Além disso,

com foco no serviço de polinização, encontramos que sete espécies vegetais diminuíram a duração da floração e que isto diminui em média 2,5% dos serviços oferecidos na área de estudo. Considerando a diminuição da frutificação, cerca de 7,9% dos serviços oferecidos estão diretamente relacionados aos frutos. Encontramos também os cultivos agrícolas presentes próximos da área de estudo são dependentes dos polinizadores que são visitantes florais das espécies presentes no Cerrado em até 60%, ou seja, manter áreas verdes naturais próximos de cultivos agrícolas é necessário para produção de frutos de maior qualidade e produtividade. Por fim, a temporalidade está associada aos serviços ecossistêmicos e sugerimos a fenologia como ferramenta para facilitar no acompanhamento de como fragmentos de vegetações naturais do Cerrado respondem frente ao desmatamento e mudanças do clima, além de facilitar a restauração e sustentar as necessidades da população humana para manutenção da qualidade de vida e bem-estar.

No terceiro capítulo, através da ciência cidadã e fenologia, validamos um treinamento fenológico padronizado para capacitar cidadãos sem experiência prévia em fenologia, comparando os dados coletados por voluntários e pesquisadoras por um ano. Ademais, o tempo de experiência não tornou os dados mais similares entre os dois grupos, confirmando que um treinamento direcionado no início da implementação do projeto, pode ser eficaz na aprendizagem da coleta dos dados em espécies vegetais.

Portanto, através de uma abordagem multidisciplinar, esta tese conectou temas relevantes para conservação do Cerrado e da biodiversidade brasileira.