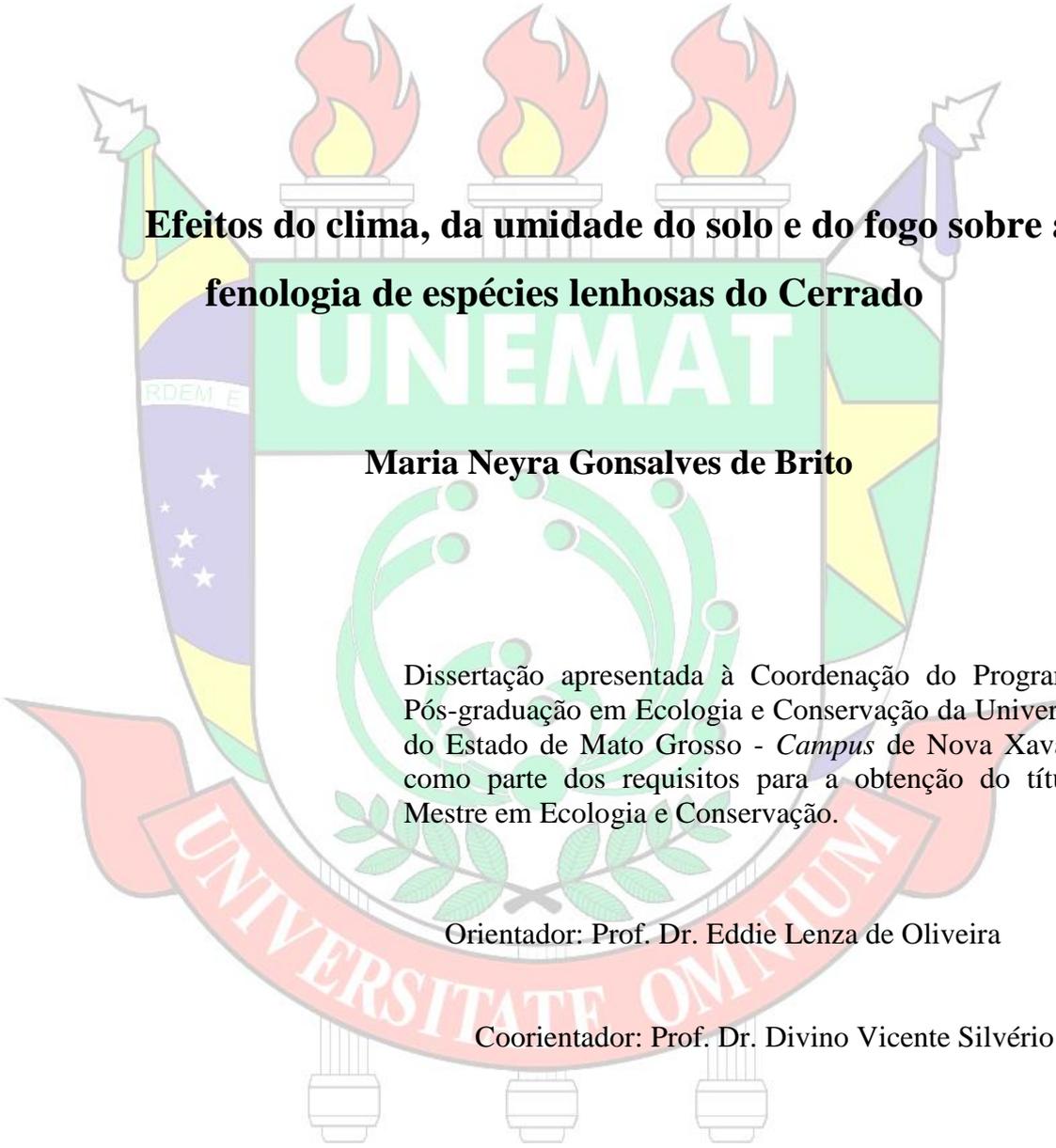


SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS DE NOVA XAVANTINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO



**Efeitos do clima, da umidade do solo e do fogo sobre a
fenologia de espécies lenhosas do Cerrado**

Maria Neyra Gonsalves de Brito

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Eddie Lenza de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Divino Vicente Silvério

Nova Xavantina-MT
Outubro, 2022

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS DE NOVA XAVANTINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

**Efeitos do clima, da umidade do solo e do fogo sobre a
fenologia de espécies lenhosas do Cerrado**

Maria Neyra Gonsalves de Brito

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Eddie Lenza de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Divino Vicente Silvério

Nova Xavantina-MT
Outubro, 2022

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)

This study was partially funded by CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brazilian Ministry of Education)

FICHA CATALOGRÁFICA:**Walter Clayton de Oliveira CRB 1/2049**

B862e	<p>BRITO, Maria Neyra Gonsalves de Brito. Efeitos do Clima, da Umidade do Solo e do Fogo Sobre a Fenologia de Espécies Lenhosas do Cerrado / Maria Neyra Gonsalves de Brito Brito – Nova Xavantina, 2022. 46 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (não)</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Ecologia e Conservação, Faculdade de Ciências Agrárias Biológicas e Sociais Aplicadas, Câmpus de Nova Xavantina, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2022. Orientador: Eddie Lenza de Oliveira Coorientador: Divino Vicente Silvério</p> <p>1. Deciduidade. 2. Fenologia. 3. Flores, Frutos. 4. Mudanças Climáticas. 5. Distúrbios. I. Maria Neyra Gonsalves de Brito Brito. II. Efeitos do Clima, da Umidade do Solo e do Fogo Sobre a Fenologia de Espécies Lenhosas do Cerrado: . CDU 502</p>
-------	---

TERMO DE APROVAÇÃO

Efeitos do clima, da umidade do solo e do fogo sobre a fenologia de espécies lenhosas do Cerrado

Maria Neyra Gonsalves de Brito

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Aprovado 21 de Outubro de 2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eddie Lenza de Oliveira (Orientador)
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

Prof. Dr. Leonardo Maracahipes dos Santos (Membro titular-Externo)
Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia - IPAM

Profa. Dra. Letícia Gomes da Silva (Membro titular)
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

Prof. Dr. Paulo Sergio Morandi (Membro suplente)
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT

Profa. Dra. Ana Clara Abadia R. de Sousa (Membro suplente)
Instituição

*A minha mãe Maria de Lourdes e
a minha filha Ariadne, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por mais esta etapa concluída.

A UNEMAT por proporcionar mais um degrau na minha vida acadêmica.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eddie Lenza de Oliveira, pelo apoio, sugestões, paciência, correção e orientação. Muito obrigada pela confiança.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Divino Vicente Silvério, pela orientação principalmente nas análises.

Ao Prof. Dr. Leonardo Maracahipes dos Santos pela orientação e em especial nas análises.

Agradeço aos membros da banca Prof. Dr. Leonardo Maracahipes dos Santos, Profa. Dra. Letícia Gomes da Silva, Prof. Dr. Paulo Sergio Morandi, Profa. Dra. Ana Clara Abadia R. de Sousa que contribuíram com suas correções e sugestões para o enriquecimento deste trabalho.

A todos do LECOT que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço a minha filha Ariadne Gonsalves Custodio, pela paciência, compreensão, amor, carinho, por existir em minha vida e me fazer tão feliz.

Agradeço ao meu companheiro William Berg Custodio, que sempre me apoiou, com carinho, compreensão, pela força que me deu durante todo período de estudo e por participar das coletas de campo.

Agradeço a minha mãe pela atenção e dedicação para com esta família.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e para o crescimento do meu conhecimento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	4
2.1. <i>Área de estudo</i>	4
2.2. <i>Coletas de dados.....</i>	5
2.2.1. <i>Eventos fenológicos.....</i>	5
2.2.2. <i>Variáveis climáticas</i>	7
2.2.3. <i>Umidade do solo.....</i>	7
2.3. <i>Análise de dados</i>	7
2.3.1. <i>Descrição do comportamento fenológico vegetativo e reprodutivo.....</i>	7
2.3.2. <i>Comparação do comportamento fenológico reprodutivo em longo prazo</i>	7
2.3.3. <i>Efeito do clima e da umidade do solo sobre os eventos fenológico em curto prazo.....</i>	8
3. RESULTADOS.....	8
3.1. <i>Clima e água no solo.....</i>	8
3.2. <i>Cobertura de folhas na copa.....</i>	10
3.3. <i>Floração e frutificação.....</i>	11
3.4. <i>Comparação de floração entre períodos de observação.....</i>	15
3.5. <i>Efeito do clima e da umidade do solo sobre os eventos fenológico em curto prazo.....</i>	17
4. DISCUSSÃO	20
4.1. <i>Variações no clima e na umidade dos solos.....</i>	20
4.2. <i>Comportamento fenológico vegetativo.....</i>	20
4.3. <i>Comportamento fenológico reprodutivo</i>	22
4.4. <i>Comparação da floração entre períodos.....</i>	23
4.5. <i>Efeito do clima e da umidade do solo sobre os eventos fenológico em curto prazo.....</i>	24
5. CONCLUSÃO	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
7. ANEXO MESES DE COLETA.....	34

Efeitos do clima, da umidade do solo e do fogo sobre a fenologia de espécies lenhosas do Cerrado

Manuscrito a ser submetido para publicação no periódico *Forest Ecology and Management* (Fator de Impacto = 4,384; *Qualis* CAPES = A1)

Resumo. A vegetação do Cerrado é evolutivamente adaptada a escassez hídrica sazonal e a ocorrência natural de fogo, mas ainda sabemos pouco sobre os efeitos impostos por essas condições ambientais no atual cenário de mudanças climáticas. Avaliamos o efeito do clima da umidade do solo e do fogo solo sobre a fenologia de espécies lenhosas de dois sítios adjacentes de uma formação savânica do bioma Cerrado (Cerrado *stricto sensu*). O primeiro sítio está protegido do fogo há mais de 20 anos (desde 2001), ao qual consideramos um de sítio não queimado, enquanto o segundo sítio foi queimado acidentalmente três vezes entre (2001 a 2022), considerado como sítio queimado. Nos dois sítios, estimamos a intensidade de cobertura de folhas na copa, de floração e de frutificação das mesmas plantas durante dois períodos distintos (primeiro período-maio de 2008 a outubro 2011; segundo período-abril de 2020 e abril de 2022). Obtivemos as medidas de precipitação, temperatura, umidade relativa do ar e Déficit de Pressão de Vapor. Apenas no sítio não queimado medimos a umidade relativa do solo, em três profundidades (0-20 cm; 40-60 e 90-110) entre os meses de abril de 2020 e abril de 2022. Ao compararmos os sítios, queimado e o não queimado mostramos que o clima foi marcadamente sazonal, com maiores volumes de chuva entre 2009 e 2015 e menores entre 2016 e 2021. Os efeitos do fogo sobre a cobertura de copa fora mais evidente nas espécies sempre-verdes. No sítio queimado após o fogo de 2008, sete espécies não floresceram até um ou dois anos, outras floresceram, mas não frutificaram e algumas espécies não maturaram os frutos. Nove das 18 espécies estudadas apresentaram diferença no tempo médio de floração das plantas, das quais oito espécies atrasaram e somente uma antecipou a floração no segundo período (menos chuvoso) em relação ao primeiro período (mais chuvoso). Ao avaliarmos o efeito do clima e da umidade do solo sobre o comportamento fenológico das espécies no sítio não queimado durante um período de 2 anos mostramos que, o ano mais seco (2021) levou a menor proporção de água no solo em relação ao ano mais chuvoso (2020). A deciduidade foliar foi maior no ano mais seco do que no ano chuvoso. A maioria das espécies atrasou o tempo de floração no segundo período amostral (mais seco) em relação ao primeiro período amostral (mais chuvoso). A cobertura de folhas na copa foi maior em meses com maior umidade relativa do ar e maior disponibilidade de água nos solos. A

senescência foliar ocorreu em meses com menor precipitação, água nos solos e temperatura mínima. A produção de folhas se concentrou em meses com maior precipitação, temperatura mínima e água nos solos. Considerando o grau de deciduidade foliar, inferida a partir da cobertura de folhas na copa, nós categorizamos 12 espécies lenhosas em quatro grupos fenológicos: sempre-verdes com crescimento contínuo, sempre-verdes com crescimento sazonal, brevidecíduas e decíduas. Categorizamos as síndromes de dispersão das espécies em zoocoria (animais), anemocoria (vento) e autocoria (espontânea). A maturação dos frutos anemocóricos ocorreu em meses com menor umidade relativa do ar. Nossos estudos de longo e curto prazo sugerem que os comportamentos fenológicos vegetativos e reprodutivos são afetados pela disponibilidade de água para as plantas e pelo do fogo. Concluímos que os efeitos do fogo e da disponibilidade de água sobre a fenologia vegetativa e reprodutiva das plantas sugerem que os aumentos na frequência de queimadas e de eventos de seca extrema já comprometem a aquisição de recursos (por reduzir a cobertura de copa) e a reprodução sexuada das plantas (por suprimir ou retardar a floração) dependeu do grau de deciduidade das plantas.

Palavras- chave. Deciduidade, fenologia, flores, frutos, mudanças climáticas, distúrbios

ABSTRACT. The Cerrado vegetation is evolutionarily adapted to seasonal water scarcity and the natural occurrence of fire, but we still know little about the effects imposed by these environmental conditions in the current scenario of climate change. We evaluated the effect of climate, soil moisture and soil fire on the phenology of woody species from two adjacent sites of a savanna formation in the Cerrado biome (Cerrado stricto sensu). The first site has been protected from fire for more than 20 years (since 2001), which we consider an unburned site, while the second site was accidentally burned three times between (2001 to 2022), considered as a burnt site. In both sites, we estimated the intensity of canopy leaf cover, flowering and fruiting of the same plants during two different periods (first period-May 2008 to October 2011; second period-April 2020 and April 2022). We obtained measurements of precipitation, temperature, relative humidity and Vapor Pressure Deficit. Only in the unburned site did we measure the relative humidity of the soil, at three depths (0-20 cm; 40-60 and 90-110) between the months of April 2020 and April 2022. When comparing the sites, burned and unburned we show that the climate was markedly seasonal, with higher volumes of rain between 2009 and 2015 and lower between 2016 and 2021. The effects of fire on canopy cover were more evident in evergreen species. In the site burned after the 2008 fire, seven species did not flower for one or two years, others flowered but did not set fruit, and some species did not set fruit. Nine of the 18 species studied showed differences in the average flowering time of the plants, of which eight species delayed and only one anticipated flowering in the second period (less rainy) in relation to the first period (wetter). When we evaluated the effect of climate and soil moisture on the phenological behavior of the species in the unburned site over a period of 2 years, we showed that the driest year (2021) led to the lowest proportion of water in the soil in relation to the driest year. rainy (2020). Leaf deciduity was higher in the driest year than in the rainy year. Most species delayed flowering time in the second sampling period (drier) in relation to the first sampling period (wetter). Leaf cover in the canopy was greater in months with higher relative humidity and greater availability of water in the soil. Leaf senescence occurred in months with less precipitation, water in the soil and minimum temperature. Leaf production was concentrated in months with higher precipitation, minimum temperature and water in the soil. Considering the degree of leaf deciduousness, inferred from canopy leaf coverage, we categorized 12 woody species into four phenological groups: evergreen with continuous growth, evergreen with seasonal growth, brevideciduous and deciduous. We categorize the dispersal syndromes of species in zoochory (animals), anemochory (wind) and autochory (spontaneous). The maturation of

anemochoric fruits occurred in months with lower relative humidity. Our long-term and short-term studies suggest that vegetative and reproductive phenological behaviors are affected by water availability for plants and by fire. We conclude that the effects of fire and water availability on the vegetative and reproductive phenology of plants suggest that increases in the frequency of fires and extreme drought events already compromise resource acquisition (by reducing crown cover) and reproduction. sexual activity of the plants (by suppressing or delaying flowering) depended on the degree of deciduousness of the plants.

Keywords. Deciduity, phenology, flowers, fruits, climate change, disturbance

1. INTRODUÇÃO

O Bioma Cerrado, localizado na América do Sul (Ribeiro e Walter, 2008) possui clima sazonal (Antonelli e Sanmartín, 2011; Klink e Machado, 2005), com solos antigos, profundos e geralmente distróficos (Carvalho et al., 2009; Ribeiro e Walter, 2008) e com ocorrências históricas do fogo (Coutinho, 2005; Coutinho, 1978). O Cerrado é a maior savana neotropical e abriga a mais elevada diversidade de plantas entre todas as savanas mundiais (Mendoza et al., 2008; Murphy et al., 2016) e a flora com altos níveis de endemismo (Myers et al., 2000). Essa diversidade está ameaçada por atividades antrópicas, como a agricultura e a pecuária (Fernandes e Pessôa, 2011; Hofmann et al., 2021; Klink e Machado, 2005; Sano et al., 2008), que além de remover e fragmentar a vegetação nativa (Hofmann et al., 2021) são responsáveis pelas mudanças no clima (Masson-Delmotte et al., 2018). Sendo que nas últimas décadas o Cerrado está se tornando mais quente e seco o que levou a um aumento da temperatura do ar (Hofmann et al., 2021), que excede a 40°C (Araújo et al., 2021). Essas novas condições climáticas são propícias para a ocorrência de incêndios mais frequentes e severos (Durigan, 2020; Gomes et al., 2018). Assim, a sinergia entre as mudanças climáticas (Hofmann et al., 2021) e o regime de fogo (Durigan, 2020; Gomes et al., 2018) ameaçam a vegetação nativa do Cerrado (Gomes et al., 2018; Hofmann et al., 2021).

Apesar da vegetação do Cerrado ter evoluído para se adaptar à sazonalidade climática (Silva et al., 2008; Simon et al., 2009), os solos distróficos (Carvalho et al., 2009; Ribeiro e Walter, 2008), a limitação sazonal de água e a ocorrência de fogo (Coutinho, 2005; Coutinho, 1978), ainda sabemos pouco sobre os efeitos impostos pelas novas condições ambientais sobre a estrutura e o funcionamento da vegetação. Um dos importantes aspectos adaptativos da vegetação do Cerrado às condições climáticas e edáficas e a ocorrência de fogo é o comportamento fenológico dos ciclos vegetativos (deciduidade foliar) (Lenza e Klink, 2006) e reprodutivos (floração e frutificação) (Oliveira, 2008). No entanto, poucos estudos avaliaram o efeito integrado do clima e do fogo sobre o comportamento fenológico vegetativo e reprodutivo das plantas do Cerrado a longo prazo (Gomes et al., 2018; Lucena et al., 2015; Silvério et al., 2015). De acordo com os autores Lenza e Klink, 2006, em estudos realizado em Brasília com espécies lenhosa de Cerrado, o clima influenciou o comportamento fenológico das espécies estudadas, em que a abscisão foliar ocorreu ao longo do período seco com recomposição da copa na transição entre os períodos seco e chuvoso. Estudos comparando sítios queimados e não queimados do Cerrado (Furst et al., 2017; Gomes et al., 2021) mostraram que após o fogo, indivíduos queimados investiram mais energia na fase

vegetativa do que na fase reprodutiva, em comparação com o grupo de indivíduos não queimados.

No Cerrado, o clima é predominantemente sazonal, apresentando um período seco com duração de aproximadamente seis meses (abril-setembro) (Silva et al., 2008). Durante esse período, no qual a umidade relativa do ar também é baixa (Lira et al., 2020), há uma redução na água disponível para as plantas nas camadas mais superficiais do solo (Myers et al., 2000; Sarmiento, 1984), provocando, o dessecamento do estrato gramíneo-herbáceo (Oliveira, 2008). Ocorre também a perda parcial ou total da folhagem das plantas, estratégia que minimiza a perda de água durante o período seco (Lenza e Klink, 2006; Miranda, 1995). Esse estrato gramíneo-herbáceo seco juntamente com as folhas caídas (liteira) se tornam uma importante fonte de material combustível para a ocorrência de queimadas, predominantemente no final do período seco (setembro) (Brooklyn et al., 2020; Gomes et al., 2020a, 2020b). Visto que o clima afeta a ocorrência de queimadas, então é muito importante estudos dessas variáveis de forma conjunta.

A flora lenhosa é adaptada a essas condições, pois investe em sistemas radiculares desenvolvidos e profundos, que possibilita o armazenamento de água nos tecidos radiculares e a absorção de água e nutrientes inorgânicos das camadas mais úmidas dos solos, mesmo no auge do período seco (Eiten, 1972; Franco, 2002). Essa adaptação faz com que as plantas do Cerrado sejam capazes de rebrotar imediatamente após uma queimada no período seco (Gomes et al., 2021; Souchie et al., 2017) ou mesmo na ausência de queimadas, produzir folhas, flores e frutos antes do início do período chuvoso (Batalha et al., 1997; Gomes et al., 2021; Lenza e Klink, 2006). Assim, a deciduidade foliar é uma estratégia de economia de água na seca, que possibilita a produção de novas folhas e de flores ao final desse período (Mantovani e Martins, 1988). Ainda, essas espécies também ajustam seus ciclos reprodutivos ao longo dos períodos seco e chuvoso. Primeiro, as plantas dispersam os diásporos em momentos mais adequados à germinação das sementes e ao estabelecimento das plântulas (Oliveira, 2008). Segundo, as plantas anemocóricas e com frutos secos dispersam as sementes normalmente no final do período seco, enquanto as plantas zoocóricas e com frutos carnosos tendem a dispersar as sementes no auge do período chuvoso (Machado, 2018; Mantovani e Martins, 1988).

O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito do clima, do fogo e da umidade do solo sobre o comportamento fenológico vegetativo (deciduidade foliar) e reprodutivo (floração e a frutificação) de espécies lenhosas do Cerrado. Especificamente vamos: **1.** Comparar o comportamento fenológico das espécies entre um Cerrado Típico não queimado desde o ano

de 2001 e um Cerrado Típico queimado três vezes (em setembro de 2001, 2008 e agosto de 2016), em dois períodos, separados entre si por cerca de uma década (primeiro período entre maio 2008 e outubro de 2011 e o segundo período entre maio de 2020 e maio 2022; **2.** Avaliar o efeito, em curto prazo (24 meses), do clima e da umidade do solo sobre o comportamento fenológico das espécies no Cerrado Típico não queimado. Pretendemos responder às seguintes questões: **1.** Existem variações de longo prazo no comportamento fenológico vegetativo e reprodutivo de plantas lenhosas de Cerrado? **2.** Qual o efeito, em longo prazo, do clima e do fogo sobre o comportamento fenológico das espécies lenhosas do Cerrado? **3.** Há relação, em curto prazo de tempo, entre o clima e a umidade do solo e o comportamento fenológicos das espécies lenhosas do Cerrado?

2. MATERIAL E MÉTODOS

3. 2.1. ÁREA DE ESTUDO:

Conduzimos esse estudo no Parque Municipal do Bacaba em Nova Xavantina-MT ($14^{\circ}42' S$ e $52^{\circ}21' W$), uma Unidade de Conservação de Preservação permanente, com uma área de 458 hectares, localizada leste do Estado de Mato Grosso, na região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia (**Figura 1**). O clima da região é caracterizado por dois períodos distintos, invernos secos, de abril a setembro, e verões chuvosos, de outubro a março (Alvares et al., 2013) sendo classificado como Aw de Köppen (Ribeiro e Walter, 2008), com temperatura média mensal de $25^{\circ}C$ e precipitação anual de 1.500 mm (Marimon et al., 2010). O parque apresenta altitude média de 250 m e o relevo varia de plano a suave-ondulado com predominância de solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Amarelo (Marimon Junior e Haridasan, 2005), com a presença de várias fitofisionomias do Cerrado (Abad e Marimon, 2008).

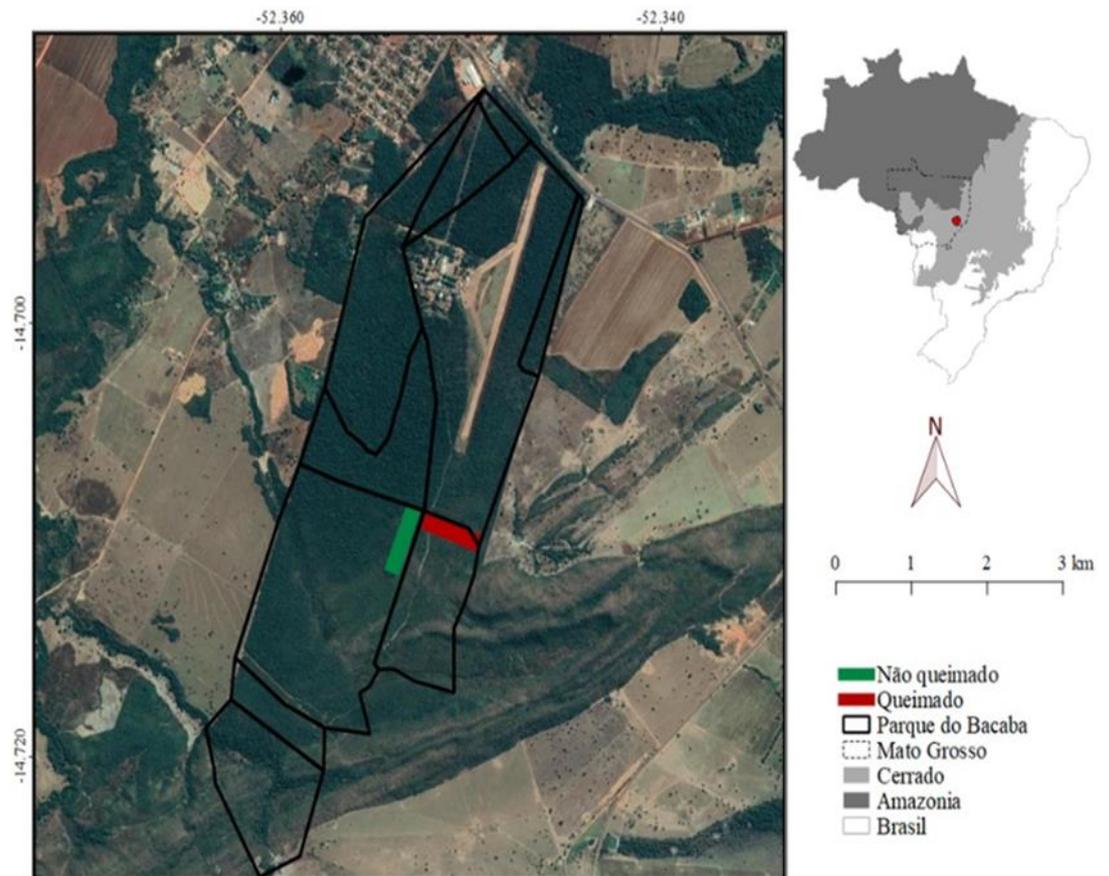


Figura 1. Localização da área de estudo no Parque Municipal do Bacaba, Município de Nova Xavantina, MT, na região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia, Brasil.

2.2. Coletas de dados

2.2.1. Eventos fenológicos.

Avaliamos o comportamento fenológico vegetativo e reprodutivo de plantas lenhosas em dois sítios adjacentes de formação savânica do bioma Cerrado - Cerrado stricto sensu, de acordo com Ribeiro e Walter, (2008) (**Figura 1**). Um dos sítios está protegido do fogo desde o ano de 2001 (Cerrado Típico não queimado). No outro sítio, foram registrados três incêndio entre os anos de 2000 e 2020 (setembro de 2001 e 2008 e em agosto de 2016; Cerrado Típico queimado). Esta ocorrência de incêndio foi confirmada a partir de imagens de resolução moderada (MODIS), com resolução espacial de 250 m, analisadas na plataforma do Google Earth Engine (GEE), como proposto por Gorelick et al. (2017). No sítio queimado, foi estabelecida, em maio de 2008 (quatro meses antes da queimada de 2008) uma transeção de 365 m, com auxílio de bússola e trena. Ao longo e à distância de até 10 m de cada lado da transeção foram demarcados 212 indivíduos adultos de 21 espécies de plantas lenhosas (**Tabela 1**). No sítio não queimado, estabelecemos em outubro de 2008 (um mês após a queimada de 2008), uma transeção de 290m e demarcamos 104 indivíduos de 12 espécies, usando o mesmo procedimento descrito acima (**Tabela 1**). Para os dois sítios, com auxílio de binóculo quando necessário estimamos visualmente, a cada duas semanas, a cobertura de folhagem na copa (fenologia vegetativa) e a intensidade de produção de flores e frutos das plantas (fenologia reprodutiva). Para as observações das fenofases nós utilizamos o método semiquantitativo, adotando uma escala intervalar de cinco categorias (0 a 4), onde 0 = ausência de fenofase e as categorias de 1 a 4 correspondem a intervalos de 25% entre cada categoria que permitem estimar a porcentagem de intensidade da fenofase em cada indivíduo (Fournier, 1974).

Acompanhamos os comportamentos fenológicos das plantas marcadas em dois períodos distintos. No primeiro, entre maio de 2008 a outubro de 2011, observamos o comportamento fenológico de 395 indivíduos de 21 espécies e no segundo, entre maio de 2020 e maio de 2022, acompanhamos o comportamento fenológico de 255 indivíduos adultos de 21 espécies, (**Tabela 1**). As mesmas plantas foram acompanhadas nos dois períodos, no entanto, o número de plantas acompanhadas no segundo período foi inferior àquele do primeiro período, uma vez que algumas plantas morreram ou perderam a parte aérea e rebrotaram da base (**Tabela 1**). Optamos por remover essas plantas porque, segundo Gomes et al. (2021) o comportamento fenológico das plantas com morte do tronco principal e rebrota basal difere daquele das plantas sem rebrotas basais.

Tabela 1. Espécies lenhosas e respectivos números de indivíduos do 1= primeiro período (2008 a 2011) e 2= segundo período (2020 a 2022) cujo comportamento fenológico foi acompanhado em um sítio de Cerrado Típico queimado e outro não queimado na região de transição entre o bioma Cerrado e Amazônia no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina-MT, Brasil.

Grupos fenológicos vegetativos/Espécies	Código	Famílias	Cerrado Queimado		Cerrado não Queimado	
			Período 1	Período 2	Período 1	Período 2
Sempre-verdes com crescimento contínuo (SVC)						
<i>Antonia ovata</i> (Pohl)	Ant ova	Loganiaceae	12	1	0	0
<i>Himatanthus obovatus</i> (Muell. Arg.) Woodson	Him obo	Apocynaceae	12	5	0	0
<i>Myrcia lanuginosa</i> O. Berg.	Myr lan	Myrtaceae	12	5	13	4
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill	Our hex	Ochnaceae	12	10	12	10
<i>Ouratea spectabilis</i> (Mart.) Engl.	Our spe	Ochnaceae	12	6	12	7
<i>Roupala montana</i> Aubl	Rou mon	Proteaceae	12	8	12	12
<i>Salvertia convallariodora</i> A. St.-Hily	Sal com	Vochysiaceae	12	12	0	0
Sempre-verdes com crescimento sazonal (SVS)						
<i>Tachigali aurea</i> Tul.	Tac aur	Fabaceae	12	8	0	0
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.	Byr pac	Malpighiaceae	12	10	12	6
Brevidecídua (BDC)						
<i>Davilla elliptica</i> A. St.-Hil.	Dav ell	Dilleniaceae	12	9	12	8
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	Ery sub	Erythroxylaceae	12	6	0	0
<i>Eugenia aurata</i> O.Berg.	Eug aur	Myrtaceae	12	7	10	4
Decíduas (DEC)						
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	Byr coc	Malpighiaceae	12	6	12	9
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart. & Zucc.	Asp tom	Apocynaceae	12	12	0	0
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Qua gra	Vochysiaceae	12	9	12	11
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	Qua mul	Vochysiaceae	12	6	12	8
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Qua par	Vochysiaceae	12	9	12	11
<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	Laf pac	Lythraceae	12	8	0	0
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.)K.Schum.	Toc for	Rubiaceae	12	6	0	0
<i>Kielmeyera rubriflora</i> Cambess	Kie rub	Calophyllaceae	12	8	12	11
<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart. & Zucc.) A.	Pse lon	Malvaceae	12	3	0	0
Total			252	154	143	101

2.2.2. *Variáveis climáticas.* Os dados climáticos (precipitação, temperatura mínima e umidade relativa do ar) foram coletados na Estação Meteorológica da UNEMAT, instalada no Parque do Bacaba, em Nova Xavantina-MT e localizada a aproximadamente um quilômetro dos dois sítios amostrais. Usamos os dados de temperatura mínima e umidade relativa do ar para calcular o Déficit de Pressão de Vapor (DPV).

2.2.3. *Umidade do solo.* Coletamos amostras de solos em três pontos ao longo da transeção, apenas para o sítio não queimado, aos 50, 145 e 230m, para determinar a umidade relativa do solo a cada duas semanas e no mesmo período (maio de 2020 a maio de 2022) e nos mesmos dias das coletas dos dados fenológicos. Na perfuração do solo utilizamos um trado, retirando nos dois primeiros pontos uma amostra composta nas profundidades de 0-20 cm e de 40-60 cm, e no terceiro ponto nas profundidades de 0-20 cm, 40-60 cm e 90-110 cm. Imediatamente após as coletas, acondicionamos as amostras em sacos de plástico vedado para evitar a perda de água. Em seguida, no laboratório, nós pesamos as amostras coletadas para obter o peso úmido. Logo após essa pesagem, removemos as amostras dos sacos plásticos e as colocamos para secar na estufa de circulação forçada de ar por 72 horas e a temperatura de 70°C. Pesamos novamente as amostras para obtermos o peso seco. Calculamos a porcentagem de água no solo subtraindo o peso úmido do peso seco e dividindo o resultado pelo peso úmido multiplicando por 100.

2.3. *Análises de dados*

2.3.1. *Descrição do comportamento fenológico vegetativo e reprodutivo.* Para descrever o comportamento fenológico vegetativo e reprodutivo das espécies de plantas lenhosas, nós construímos fenogramas para o primeiro e segundo período para o Cerrado queimado e o não queimado separadamente. Nesses fenogramas, nós calculamos a intensidade da cobertura de folhas na copa, de floração e de frutificação.

2.3.2. *Comparação do comportamento fenológico reprodutivo em longo prazo.* Comparamos os picos de floração entre os dois períodos reprodutivos, utilizando duas análises em sequência. Primeiro calculamos os pontos médios de floração empregando análises circulares (Zar, 1999). Para essas análises nós utilizamos dois ciclos anuais completos para o primeiro período de observação (outubro de 2008 a setembro de 2011) e um ciclo anual completo para o segundo período de observação (outubro de 2020 a setembro de 2021). Fizemos isso porque análises circulares só podem ser realizadas com ciclos completos e para compararmos o mesmo intervalo anual de tempo (outubro a setembro) entre os dois ciclos do primeiro período de observação e aquele ciclo do segundo ano de observação. Segundo, para avaliar possíveis mudanças temporais no pico de floração entre os dois períodos analisados (antecipação ou atraso), nós empregamos um teste “t” pareado (Zar, 1999), utilizando os ângulos médios calculados no primeiro passo.

2.3.3. *Efeitos do clima e da umidade dos solos sobre os eventos fenológicos em curto prazo.* Empregamos análises de correlação de *spearman* para investigarmos as relações entre as variáveis ambientais (precipitação, temperatura mínima, umidade relativa do ar e a umidade dos solos em três profundidades (0-20 cm, 40-60 e 90-110 cm) e cinco eventos fenológicos (cobertura de copa, folhas senescentes, folhas jovens e frutos), coletados ao longo de 24 meses, porém somente para o Cerrado Típico não queimado. Nós consideramos relevantes aquelas relações entre ambiente e eventos fenológicos cujos coeficientes de correlação foram superiores a 0,5. Nós realizamos essas análises utilizando o pacote “stats” do ambiente R.

4. RESULTADOS

3.1. *Clima e água no solo.* Ao longo de todo o período de estudo, a precipitação, a temperatura mínima e umidade relativa do ar foram marcadamente sazonais. As chuvas foram concentradas entre os meses de novembro e abril. Nesse mesmo período, registramos os maiores e menores valores de umidade relativa do ar. De modo geral, os volumes de chuva entre os anos de 2009 e 2015, foram superiores àqueles registrados entre os anos de 2016 e 2021 (**Figura 2**). Mostramos também que a proporção de água nas três camadas de solo, entre os anos de 2020 e 2021, foi sazonal, com altos valores entre novembro e abril (período chuvoso) e baixos valores entre maio e outubro (período seco) (**Figura 3**). A sazonalidade de água dos solos foi mais evidente na camada mais superficial (0-20 cm de profundidade). A umidade do solo foi sempre menor nessa camada, mas os valores de proporção de água nas duas camadas mais profundas (40-60 e 90-110 cm de profundidade) foram muito similares entre si (**Figura 3**). A proporção de água nos solos no período seco de 2021 foi inferior àquela do período seco de 2020 (**Figura 3**), refletindo assim os menores índices pluviométricos registrados em 2021 em relação ao ano anterior (**Figura 2**).

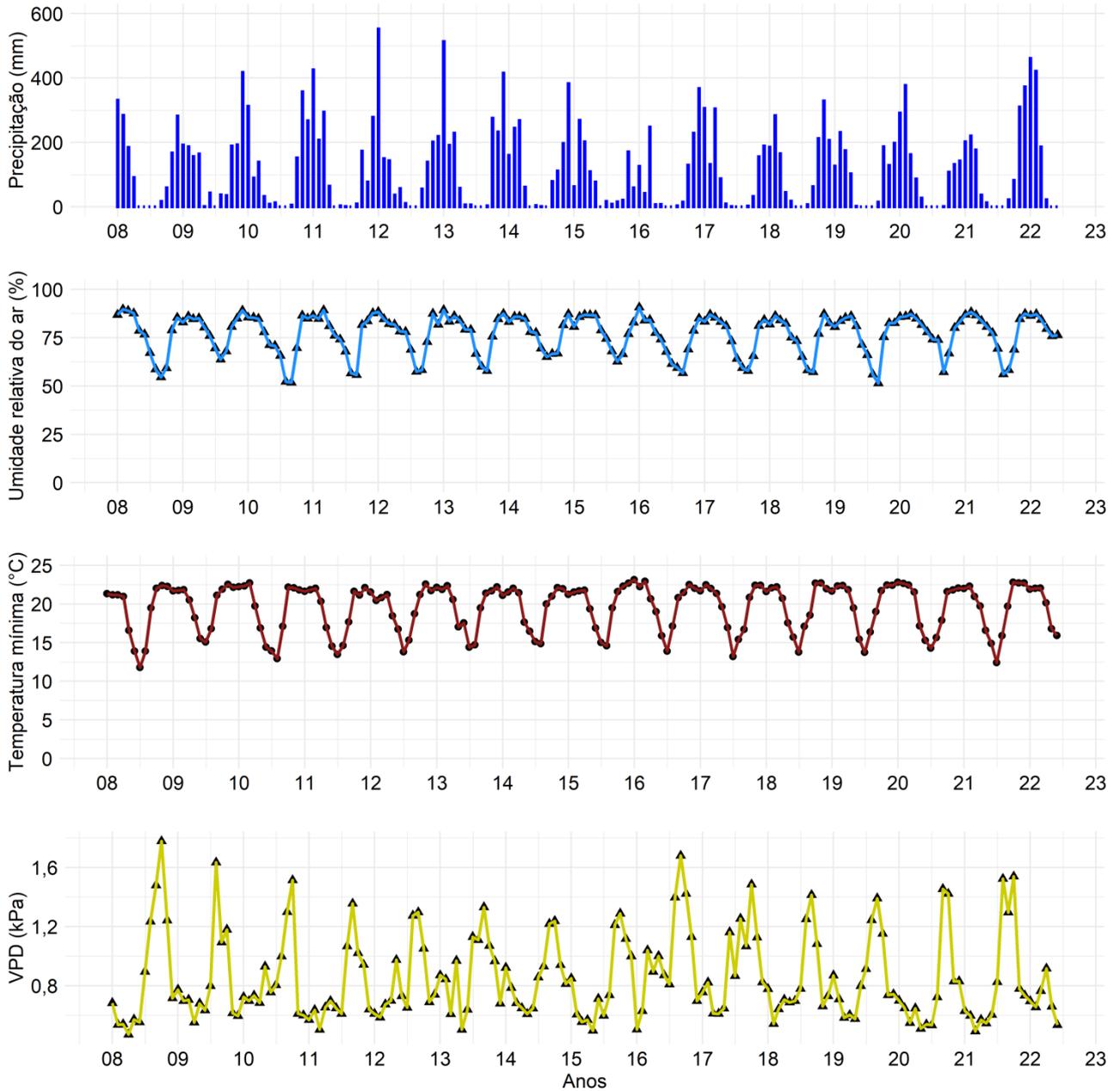


Figura 2. Dados climáticos entre 2008 e 2022, coletados na estação meteorológica localizada no Parque Municipal do Bacaba de Nova Xavantina - MT, Brasil. Código da estação: 83319. Os dados de temperatura foram coletados entre maio de 2020 e maio de 2022.

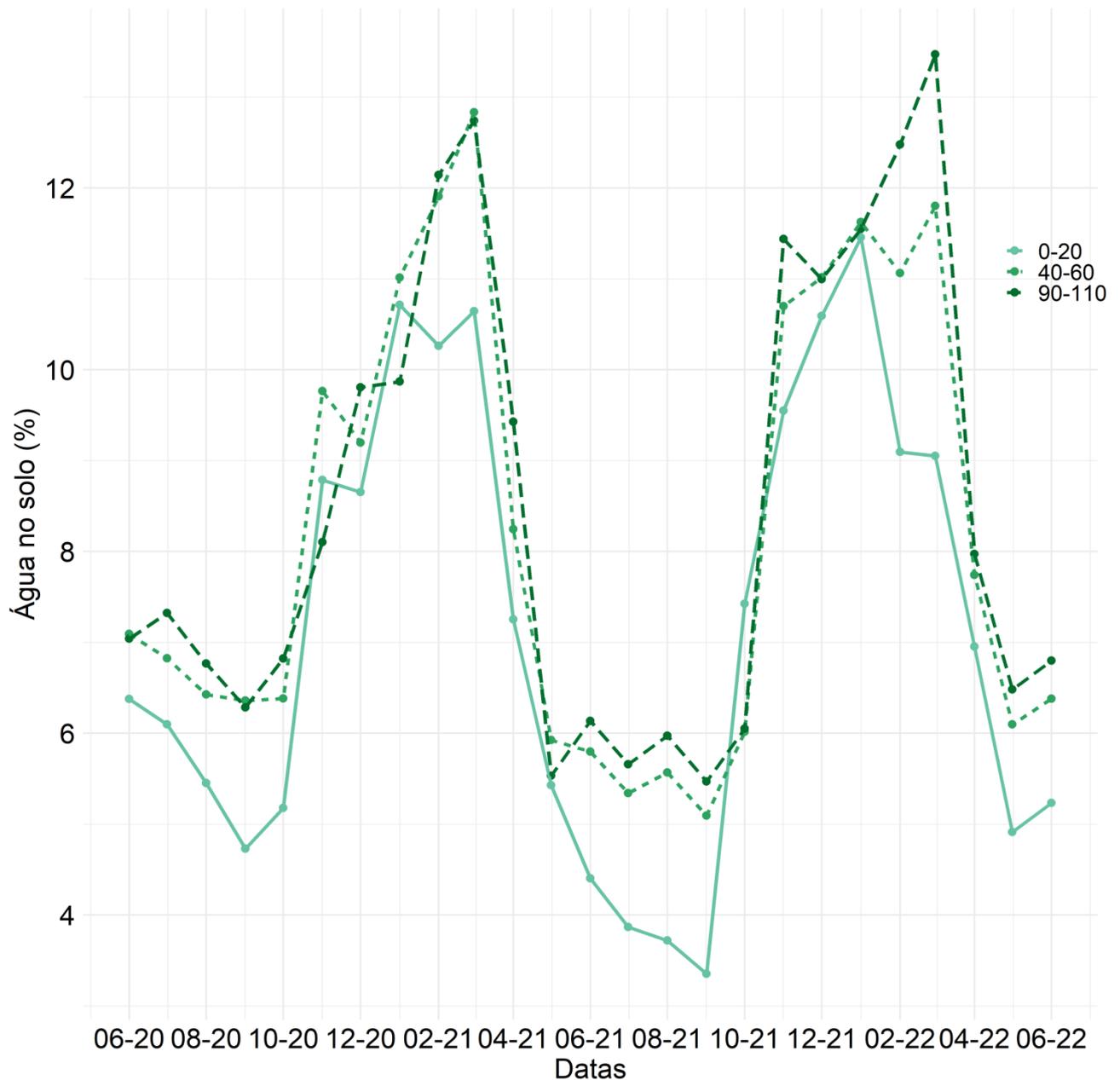


Figura 3. Umidade dos solos entre 2020 e 2022, as perfurações foram realizadas nas profundidades de 0-20 cm, 40-60 cm e 90-110 cm, coletados em um sítio de Cerrado Típico não queimado no Parque Municipal do Bacaba em Nova Xavantina-MT.

3.2. *Cobertura de folhas na copa.* O grau de deciduidade foliar variou amplamente entre as espécies estudadas, desde aquelas espécies sempre-verdes, ou seja, sem reduções evidentes na cobertura de folhas na copa ao longo do ano (p. ex. *Antonia ovata* e *Roupala montana*) até aquelas decíduas, com períodos prolongados de deciduidade completa (*Pseudobombax longiflorum* e *Kielmeyera rubriflora*) (**Figura 4**). Entre aquelas 12 espécies que ocorreram nos sítios queimado e não queimado, nós notamos efeitos imediatos do fogo sobre a redução de folhagem na copa apenas nas espécies sempre-verdes, uma vez que as espécies, semidecíduas e decíduas estavam sem folhas ou com reduzida folhagem na copa (**Figura 4**). Por exemplo, *R. montana* e *Myrcia lanuginosa* e

Ouratea spectabilis (espécies sempre-verdes) recompuseram a folhagem no sítio queimado entre três e quatro meses após a queimada de 2008 (**Figura 4**). Por outro lado, as espécies *K. rubriflora*, *Qualea multiflora*, *Q. parviflora* e *Q. grandiflora* (espécies decíduas) não notamos diferenças nos padrões de deciduidade foliar entre os sítios queimado e não queimado, tanto imediatamente após a queimada de 2008 quanto ao longo de todo o período de estudo (**Figura 4**).

3.3. Floração e frutificação. As 12 espécies que amostramos no sítio não queimado apresentaram ciclo anual de floração em ambos os períodos de observação. No entanto, algumas dessas espécies não floresceram até um ano (*Myrcia lanuginosa*, *Eugenia aurata*) ou dois anos (*Roupala mantana*) após a passagem do fogo no sítio queimado (**Figuras 5 e 6**). A ausência de floração até um ano após queimada foi também observada em quatro espécies (*Antonia ovata*, *Erythroxylum suberosum*, *Himatanthus obovatus*, *Tocoyena formosa*) das nove espécies amostradas apenas no Cerrado Típico queimado (**Figuras 5 e 6**). Essas sete espécies floresceram ao final do primeiro período (anos de 2011 e 2012) e no segundo período (anos de 2020 e 2021), sugerindo que a floração foi comprometida, em curto, mas não em médio e longo prazo pela ocorrência da queimada (**Figura 5**).

De modo semelhante ao que ocorreu com a floração, a frutificação foi anual e regular e algumas espécies não maturaram frutos após a passagem do fogo. Além daquelas espécies que não floresceram, há ainda aquelas que floresceram, mas não frutificaram no ano seguinte ao fogo (*Qualea grandiflora*, *Ouratea hexasperma*, *Ouratea spcetabilis*). Por outro lado, das 12 espécies amostradas nos dois sítios, apenas *Eugenia aurata* não maturou fruto no ano seguinte ao fogo de 2008 no sítio não queimado. Assim, parece que a ocorrência do fogo, comprometeu também a maturação de frutos em algumas espécies no sítio queimado, ou seja, o sucesso reprodutivo imediatamente após a passagem do fogo (**Figura 6**). No entanto, de maneira geral, notamos que a partir do ano de 2010, todas as 12 espécies comuns aos dois sítios floresceram e maturaram frutos e apresentaram intensidade semelhante de floração entre o sítio queimado e não queimado (**Figuras 5 e 6**), sugerindo a retomada do investimento reprodutivo das plantas a partir de um ano após a queimada.

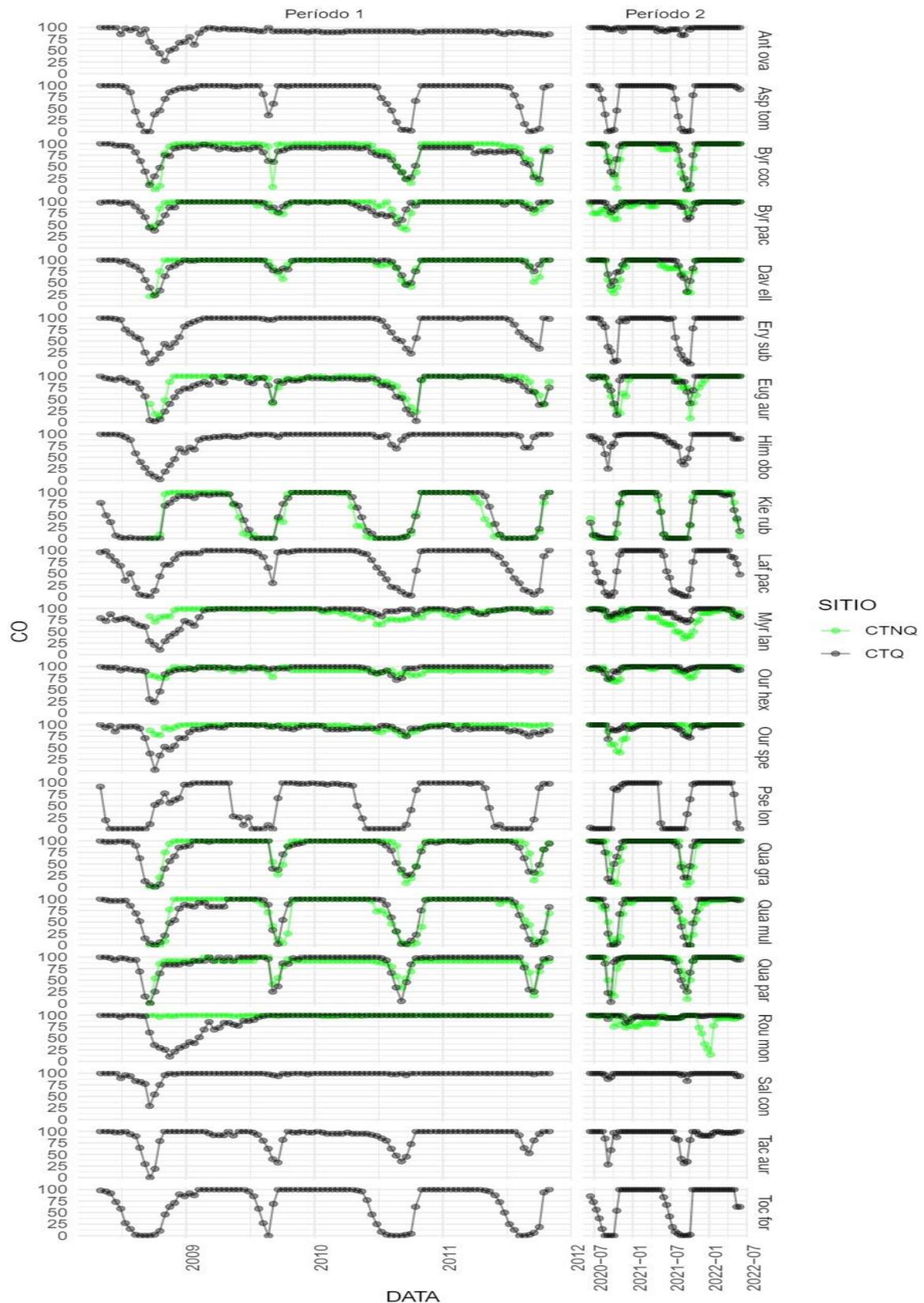


Figura 4. Fenograma de cobertura de folhagem na copa (CO) de 21 espécies estudadas no primeiro período entre (2008 a 2011) e segundo período entre (2020 a 2022) cujo comportamento fenológico foi acompanhado em um sítio de Cerrado Típico queimado (CTQ: linha de cor preta) e outro não queimado (CTNQ: linha de cor verde), na região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina-MT. Sigla das espécies (**Tabela 1**).

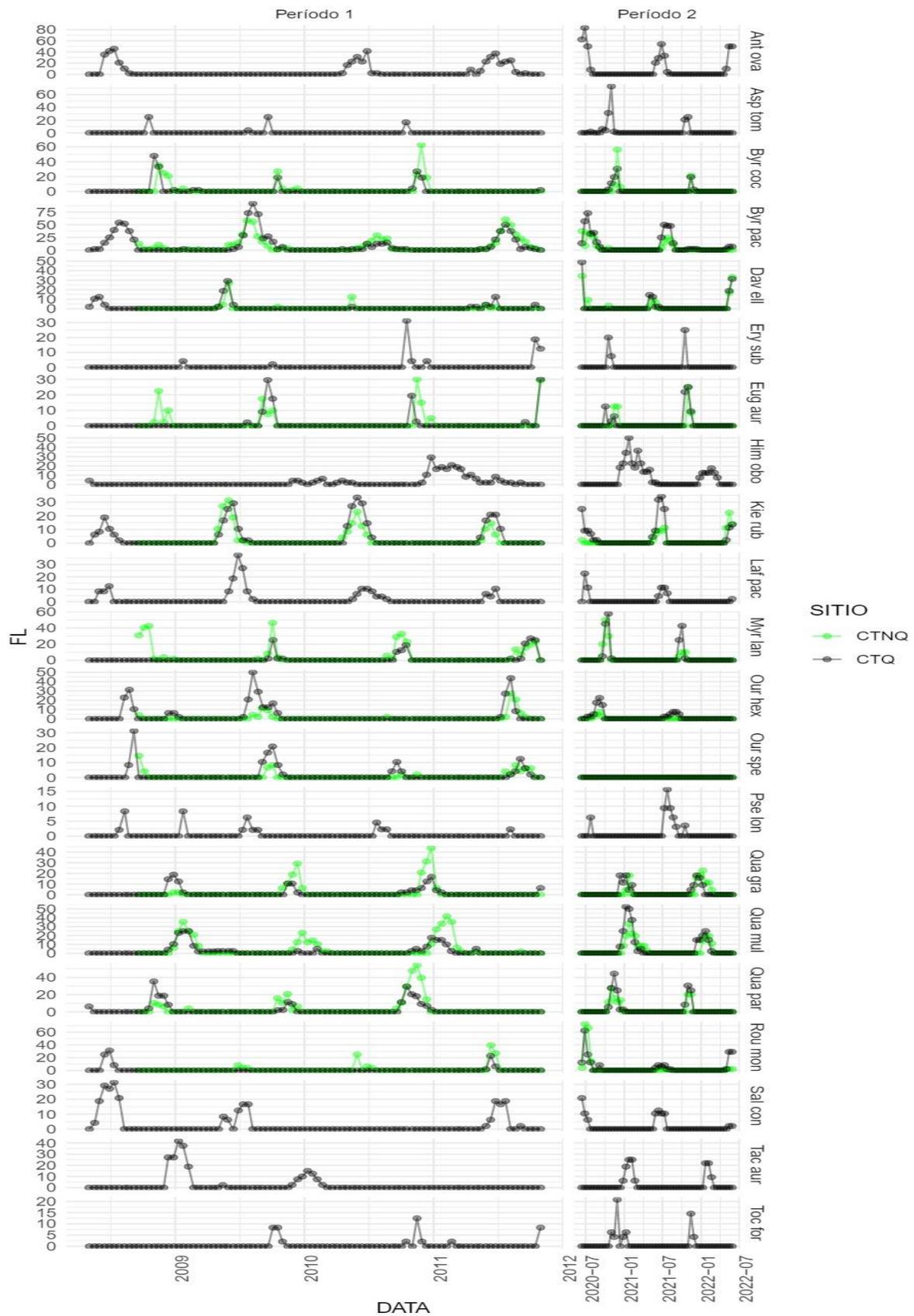


Figura 5. Fenograma de floração (FL) de 21 espécies estudadas no primeiro período entre (2008 a 2011) e segundo período entre (2020 a 2022) cujo comportamento fenológico foi acompanhado em um sítio de Cerrado Típico queimado (CTQ: linha de cor preta) e outro não queimado (CTNQ: linha de cor verde) na região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina-MT. Sigla das espécies (**Tabela 1**).

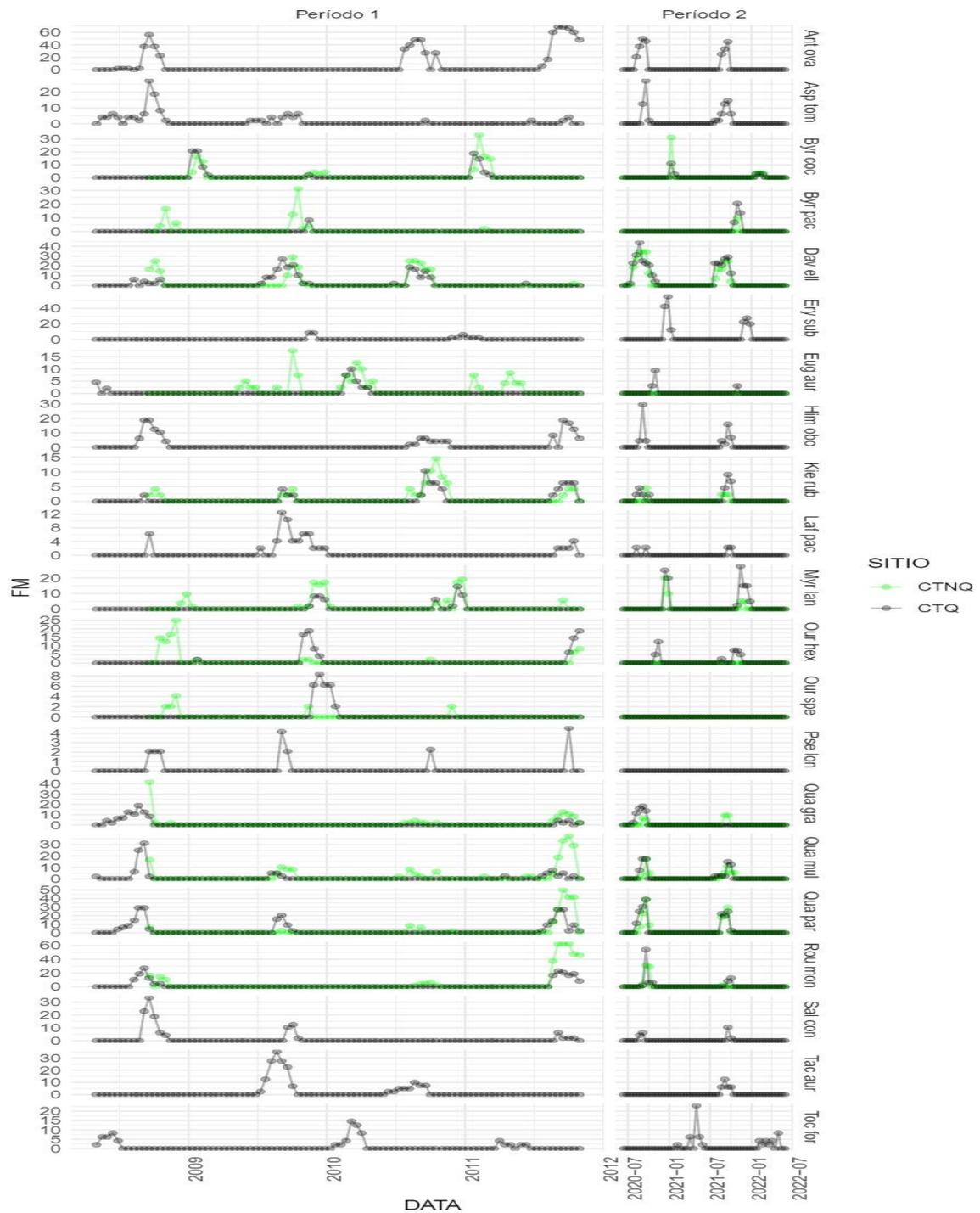


Figura 6. Fenograma de maturação dos frutos (FM) de 21 espécies estudadas no primeiro período entre (2008 a 2011) e segundo período entre (2020 a 2022) cujo comportamento fenológico foi acompanhado em um sítio de Cerrado Típico queimado (CTQ: linha de cor preta) e outro não queimado (CTNQ: linha de cor verde) na região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina-MT. Sigla das espécies (**Tabela 1**).

3.4. *Comparação da floração entre períodos de observação.* Ao compararmos o tempo médio de floração de dezoito espécies entre o primeiro (2008 a 2011) e segundo período (2020 a 2022), nós verificamos que nove espécies (50% do total) apresentaram diferença no tempo médio de floração das plantas (**Tabela 2, Figura 7**), das quais oito atrasaram e somente uma (*Byrsonima pachyphylla*) antecipou a floração no segundo período em relação ao primeiro. Para as outras nove espécies não houve diferença significativa quanto ao tempo médio de floração entre os dois períodos.

Tabela 2. Mudanças temporais no pico de floração de (antecipação ou atraso) de 18 espécies estudadas no primeiro período entre (2008 a 2011) e segundo período entre (2020 a 2022), cujo comportamento fenológico foi acompanhado em sítios de Cerrado Típico queimado e não queimado, na região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia, no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina-MT.

Grupos fenológicos vegetativos Espécies	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>df</i>
Sempre verde com crescimento contínuo (SVC)			
<i>Antonia ovata</i> (Pohl)	-0,907	0,416	4
<i>Himatanthus obovatus</i> (Muell. Arg.)Woodson	-1,452	0,190	7
<i>Myrcia lanuginosa</i> O. Berg.	-4,447	0,001	12
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill	-1,335	0,215	9
<i>Ouratea spectabilis</i> (Mart.) Engl.			
<i>Roupala montana</i> Aubl	-12,044	0,00	16
<i>Salvertia convallariodora</i> A. St.-Hily	1,019	0,355	5
Sempre verde com crescimento sazonal (SVS)			
<i>Tachigali aurea</i> Tul.			
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.	5,181	0,00	14
Brevidecídua (BDC)			
<i>Davilla elliptica</i> A. St.-Hill	-1,137	0,271	17
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	-2,7603	0,022	9
<i>Eugenia aurata</i> O.Berg.	-5,977	0,00	9
Decíduas (DEC)			
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	-6,389	0,00	13
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart. & Zucc.	-1,125	0,287	10
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	-0,600	0,568	7
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	-0,875	0,398	13
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	-2,488	0,024	17
<i>Lafoensia pacari</i> A. St.-Hil.	0,921	0,388	7
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltld.)K.Schum.	-2,878	0,035	5
<i>Kielmeyera rubriflora</i> Cambess	-5,190	0,00	12
<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart. & Zucc.) A.			

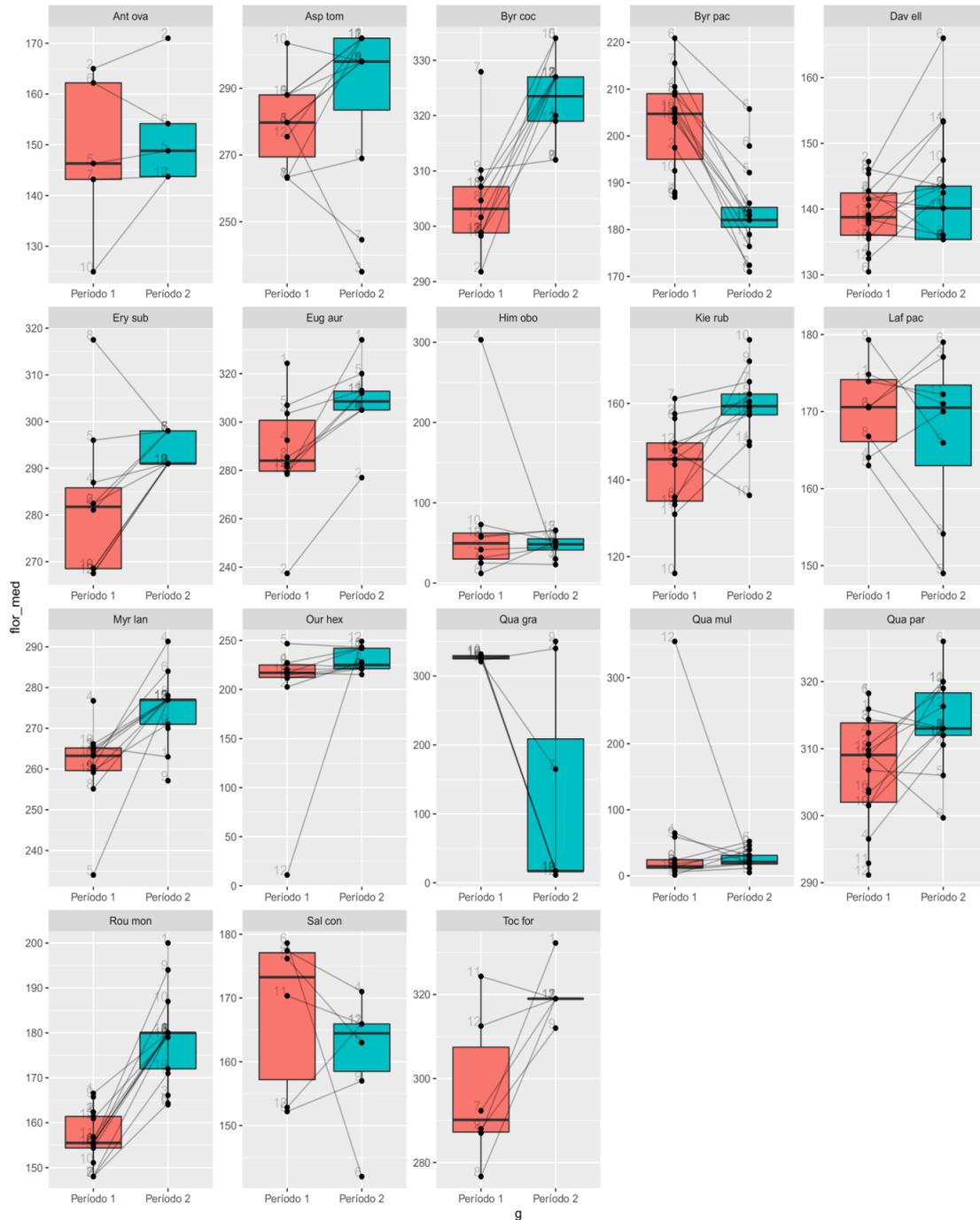


Figura 7. Mudanças temporais no ponto médio de floração (*flor_med*) de (antecipação ou atraso), de 18 espécies estudadas entre o primeiro período (*periodo1*) (2008 a 2011), e segundo período (*período 2*) (2020 a 2022), cujo comportamento fenológico foi acompanhado em sítios de Cerrado Típico queimado e não queimado, analisados conjuntamente, na região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia, no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina-MT.

3.5. Efeito do clima e da umidade do solo sobre os eventos fenológicos em curto prazo

3.5.1. *Cobertura de copa*. Em 10 das 12 espécies estudadas amostramos alta relação positiva ($r > 0,5$) entre a cobertura de copa e a umidade relativa do ar. Em seis dessas dez espécies também registramos alta relação positiva entre a cobertura de copa e o volume de água disponível para as plantas nas três camadas dos solos aqui analisadas (0-20 cm; 4-60 cm; 90-100 cm). Assim, independente do comportamento fenológico vegetativo das espécies, podemos afirmar que a cobertura de copa máxima das plantas ocorre predominantemente em momentos do ano com elevada umidade relativa do ar (nove espécies), mas também com maiores conteúdos de água nos solos (seis espécies) (**Tabela 3**). Por outro lado, houve baixa correlação entre a precipitação e a umidade relativa do ar e a cobertura de copa, com exceção das correlações positivas para *Kielmeyera rubriflora* e negativas para *Roupala montana*. Apenas em *Byrsonima pachyphylla* a relação entre todas as variáveis climáticas analisadas e a cobertura de copa foi baixa ($r < 0,5$), mas sempre foi positiva. Observamos alta e negativa relação entre todas as variáveis ambientais, apenas para *R. montana*. Nessa última espécie, registramos nos dois anos amostrais, intensa herbivoria das folhas jovens por lagartas de Lepidoptera (ainda não identificada), aspecto que será tratado em mais detalhes na discussão.

3.5.2. *Folhas senescentes*. A senescência foliar foi amplamente influenciada por todas as cinco variáveis ambientais. De modo geral, a senescência foliar foi induzida pela diminuição na precipitação e na umidade do solo nas três profundidades e pelo aumento na temperatura mínima. Não observamos esses efeitos do ambiente sobre a senescência foliar apenas em uma espécie decídua (*Kielmeyera rubriflora*). Assim, a senescência foliar das espécies dos distintos grupos fenológicos foi influenciada pelo aumento na temperatura e principalmente pela redução da disponibilidade de água.

3.5.3. *Folhas jovens*. Das 12 espécies estudadas, a produção de novas folhas foi positivamente associada a alguma das variáveis ambientais em cinco espécies, distribuídas entre os quatro grupos fenológicos. Assim, as variáveis que analisamos explicaram pouco a produção de folhas jovens e não estiveram associadas inequivocadamente a qualquer grupo fenológico. No entanto, assim como observamos para cobertura de copa nas plantas, quando houve associação essa foi sempre positiva, sugerindo que a produção de folhas novas e conseqüentemente a recomposição da copa, pode estar associada à diminuição do estresse hídrico para as plantas.

3.5.4. *Maturação dos frutos*. Das 12 espécies estudadas 3 não frutificaram (*Ouratea hexasperma*, *Ouratea spectabilis*, *Eugenia aurata*) e por isso não foram incluídas na análise. No entanto, das espécies que frutificaram, notamos menores efeitos do ambiente sobre a maturação dos frutos e menor relação com os grupos fenológicos vegetativos. De fato, a variável que melhor explicou o período de maturação dos frutos foi a umidade relativa do ar, e esteve mais relacionada com a

síndrome de dispersão do que ao grau de deciduidade das espécies. Por exemplo, cinco das doze espécies cuja maturação dos frutos foram associadas negativamente com a umidade relativa do ar são anemocóricas e apenas *Davilla elliptica* é zoócorica e produz fruto deiscente. Cinco apresentaram relação negativa com a umidade do solo, como *Kielmeyera rubriflora*, *Qualea multiflora*, *Qualea parviflora*, *Roupala montana* e *D. elliptica*. Ainda, entre as espécies zoocóricas, apenas uma apresentou relação positiva com a precipitação, *Byrsonomina coccolobifolia* que produz frutos carnosos e indeiscentes. Assim, a dispersão dos frutos parece estar primariamente sob o efeito da umidade relativa do ar e se limita às espécies com frutos anemocóricos ou zoocóricos deiscentes (**Tabela 3**).

Tabela 3. Correlação de Spearman (r) entre as variáveis ambientais (precipitação (ppt), temperatura mínima (tmin), umidade relativa do ar (url)) e a umidade dos solos em três profundidades (usol) (0-20 cm, 40-60 e 90-110 cm) e eventos fenológicos (cobertura de copa, folhas senescentes, folhas jovens e frutos maduros). Para esta análise utilizamos 24 meses e somente para o Cerrado Típico não queimado que consta 12 espécies, na região de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina-MT, Brasil. Consideramos relevantes aquelas relações entre ambiente e eventos fenológicos cujos coeficientes de Correlação foram superiores a 0,5. Grupo fenológico vegetativo (gfv), Dispersão (dis), não frutificou (NF), relação positivas (cor em azul), relação negativa (cor em vermelho). Sigla das espécies (**Tabela 1**).

Cobertura de folhas na copa									Folhas senescentes						Folhas jovens						Fruto maduro					
Espécies	gfv	dis	ppt	tmin	url	usol 0-20	usol 40-60	usol 90-110	ppt	tmin	url	usol 0-20	usol 40-60	usol 90-110	ppt	tmin	url	usol 0-20	usol 40-60	usol 90-110	ppt	tmin	url	usol 0-20	usol 40-60	usol 90-110
Byr coc	dec	zoo	0,4060	0,2525	0,7636	0,6675	0,7291	0,7558	-0,7303	-0,6950	-0,7798	-0,7400	-0,6274	-0,5948	0,1617	0,3198	-0,0086	0,1844	0,0619	0,0496	0,5137	0,2466	0,4478	0,4977	0,3857	0,3857
Byr pac	svs	zoo	0,2982	0,1911	0,4700	0,2138	0,2041	0,2357	-0,5533	-0,4091	-0,8179	-0,7111	-0,6732	-0,6586	0,2952	0,5050	0,1031	0,3171	0,1694	0,1456	0,0152	0,3465	-0,2259	0,0452	-0,1958	-0,2259
Dav ell	bdc	zoo	0,4006	0,2583	0,7617	0,6549	0,6981	0,7257	-0,6640	-0,5386	-0,8613	-0,7608	-0,7134	-0,6911	0,6778	0,7366	0,6011	0,7188	0,6111	0,5975	-0,5241	-0,4088	-0,8092	-0,6398	-0,5984	-0,6046
Eug aur	bdc	zoo	0,0339	-0,1988	0,5389	0,3036	0,3843	0,3899	-0,5485	-0,4921	-0,7590	-0,7315	-0,6250	-0,5975	0,5771	0,7107	0,1798	0,4399	0,3255	0,3322	NF	NF	NF	NF	NF	NF
Kie rub	dec	ane	0,8565	0,7723	0,9018	0,8873	0,8459	0,8450	-0,1904	-0,3053	0,0714	-0,1256	-0,1483	-0,1386	0,2233	0,4697	-0,1445	0,1139	-0,0184	-0,0147	-0,2675	-0,2224	-0,5703	-0,5310	-0,4553	-0,4584
Myr lan	svc	zoo	0,3166	0,2013	0,5943	0,6175	0,7200	0,7077	-0,6579	-0,5640	-0,8142	-0,6961	-0,6878	-0,7102	0,2309	0,3481	0,2540	0,3936	0,3443	0,3395	0,2585	0,3568	0,1713	0,1922	0,1505	0,2149
Our hex	svc	zoo	0,4335	0,2746	0,7542	0,5016	0,4933	0,5080	-0,6826	-0,5456	-0,8791	-0,7973	-0,7378	-0,7058	0,2537	0,4465	0,0220	0,2462	0,2292	0,2522	NF	NF	NF	NF	NF	NF
Our spe	svc	zoo	0,0148	-0,1212	0,5118	0,2853	0,3049	0,3465	-0,3813	-0,2198	-0,7188	-0,5240	-0,5175	-0,5240	0,5020	0,4607	0,4734	0,5919	0,5293	0,5288	NF	NF	NF	NF	NF	NF
Qua gra	dec	ane	0,0475	-0,1451	0,6019	0,3637	0,4125	0,4135	-0,6476	-0,6171	-0,7481	-0,6605	-0,5730	-0,5631	0,2286	0,3783	-0,1267	0,1890	0,0509	0,0314	-0,1288	-0,1297	-0,4343	-0,4170	-0,3545	-0,3753
Qua mul	dec	ane	-0,0179	-0,1964	0,5240	0,2350	0,2931	0,2913	-0,7619	-0,7256	-0,7813	-0,7614	-0,6575	-0,6308	0,7340	0,8209	0,5734	0,7418	0,6225	0,5966	-0,1851	0,0098	-0,6967	-0,4922	-0,5192	-0,5253
Qua par	dec	ane	0,3163	0,1509	0,7708	0,5614	0,5785	0,6029	-0,7870	-0,7511	-0,7888	-0,7732	-0,6795	-0,6474	0,0535	0,2963	-0,2572	-0,0440	-0,1381	-0,1611	-0,3257	-0,2670	-0,6820	-0,5828	-0,4775	-0,4788
Rou mon	svc	ane	-0,7451	-0,5683	-0,7261	-0,6903	-0,6680	-0,6728	-0,6180	-0,6211	-0,5438	-0,5626	-0,4244	-0,4657	-0,2044	-0,2745	-0,1065	-0,1035	-0,0970	-0,0513	-0,2126	-0,1708	-0,6417	-0,5520	-0,4495	-0,4361

5. DISCUSSÃO

4.1. *Variações no clima e na umidade dos solos.* Mostramos, ao longo de todo o período do nosso estudo, que a precipitação e a umidade relativa do ar foram sazonais, características marcantes do clima ao longo de todo bioma Cerrado (Sano et al., 2008; Silva et al., 2008). Também evidenciamos uma tendência de redução na precipitação na segunda metade do período de estudo, ou seja, entre 2015 e 2021. A redução foi evidente, tanto na precipitação total quanto na precipitação do período chuvoso. Esta redução drástica na precipitação pluviométrica foi também observada por De Souza, (2020) na mesma área de estudo. Segundo essa autora a precipitação entre os anos de 2015 e 2016 foi a menor registrada nos últimos 42 anos e coincidiu com o evento El Niño.

Uma das consequências diretas na redução dos índices pluviométricos é a diminuição da recarga de água nas diferentes camadas dos solos. Isso ficou evidente em nossos resultados da proporção de água até um metro de profundidade no solo do cerrado não queimado. Isso porque, notamos que no período seco de 2021 (seca mais severa) a proporção de água nas três camadas de solos aqui analisadas, foi inferior àquelas registrada no mesmo período do ano de 2020 (seca menos severa). De fato, estudos realizados na região mostram que as chuvas estão diminuindo, tornando o ambiente mais quente e seco (Araújo et al., 2021; De Souza, 2020), podendo ser consequência das mudanças climáticas que vem se agravando cada vez mais. A redução de disponibilidade de água no solo por sua vez, pode induzir a modificação ou promover ajustes dos eventos fenológicos vegetativos e reprodutivos das plantas lenhosas. Discutiremos mais adiante e em detalhes os efeitos das condições hídricas sobre os eventos fenológicos.

4.2. *Comportamento fenológico vegetativo.* As espécies lenhosas do Cerrado desenvolveram distintas estratégias fenológicas, relacionadas à folhagem, para lidar com a sazonalidade climática do Cerrado (Lenza e Klink, 2006; Morellato et al., 2016; Pirani et al., 2009). Esse foi o caso das 21 espécies aqui analisadas que apresentaram os quatro comportamentos fenológicos vegetativos descritos por outros autores (Franco et al., 2005; Lenza e Klink, 2006; Pirani et al., 2009; Silvério e Lenza, 2010). Por exemplo, considerando os grupos fenológicos vegetativos sugeridos por Lenza e Klink (2006) e Oliveira (2008), sete espécies foram sempre-verdes com crescimento contínuo (*Antonia ovata*, *Himatanthus obovatus*, *Myrcia lanuginosa*, *Ouratea hexasperma*, *O. spectabilis*, *Roupala montana* e *Salvertia convallariodora*), duas espécies sempre-verdes com crescimento sazonal (*Tachigali aurea* e *Byrsonima pachyphylla*), três espécies brevidecíduas (*Davilla elliptica*, *Erythroxylum suberosum* e *Eugenia aurata*) e nove decíduas (*B. coccolobifolia*, *Aspidosperma tomentosum*, *Qualea grandiflora*, *Q. multiflora*, *Q. parviflora*, *Lafoensia pacari*, *Tocoyena formosa*, *Kielmeyera rubriflora*, e *Pseudobombax longiflorum*). Apesar dessa ampla variação fenológica, a

substituição da folhagem das plantas dos três últimos grupos fenológicos ocorreu predominantemente ao longo do período seco, conforme evidenciado em outros estudos (Françoso et al., 2014; Lenza e Klink, 2006; Pirani et al., 2009; Silvério e Lenza, 2010). Isso sugere que a substituição da folhagem no período seco, seja ela gradual ou abrupta, é a estratégia fenológica vegetativa mais adequada para as plantas lidarem com a forte limitação hídrica durante o período seco. Esse fenômeno, de perda de folhagem na seca e recomposição da copa, via brotação na transição entre seca e chuva, foi também observado por inúmeros outros autores que estudaram a fenologia vegetativa de plantas lenhosas ao longo do Cerrado em Brasília (Lenza e Klink, 2006), Mato Grosso (Pirani et al., 2009; Silvério e Lenza, 2010), Rio Grande do Norte (Souza et al., 2014), São Paulo (Lucena et al., 2015), Mato Grosso do Sul (Ferreira et al., 2017), Píauí (Braga et al., 2019), sendo assim um padrão geral das espécies lenhosas desse bioma.

Um resultado importante do nosso estudo é que os diferentes comportamentos fenológicos vegetativos das plantas lenhosas do Cerrado, apesar de serem primariamente determinados pela disponibilidade de água, podem também ser alterados pelo fogo, um fenômeno histórico e determinante da estrutura da vegetação (Françoso et al., 2014; Lenza e Klink, 2006; Pirani et al., 2009; Silvério et al., 2015) e do funcionamento das plantas do Cerrado (Hoffmann, 1999; Silva e Batalha, 2010). Mostramos que as espécies sempre-verdes com crescimento contínuo têm seus eventos foliares mais fortemente afetados pela ocorrência das queimadas no final do período seco. Isso está de acordo com Lucena et al. (2015), segundo os quais após o fogo, as plantas queimadas de espécies sempre-verdes intensificaram a produção de folhas novas, enquanto que para as espécies decíduas não houve diferença na produção de folhas entre plantas queimadas e não queimadas. Esse efeito diferencial e de curto prazo sobre as fenofases vegetativas das plantas lenhosas do Cerrado foi também notado por Silvério et al. (2015). Assim, podemos afirmar que as variações no comportamento fenológico das plantas lenhosas do Cerrado são determinadas tanto pelo clima quanto pelo fogo. Nesse sentido, aquelas espécies cujas plantas apresentam menor grau de deciduidade foliar (p. ex. sempre-verdes com crescimento contínuo) teriam suas taxas fotossintéticas em curto intervalo de tempo mais comprometido pelas queimadas no final do período seco, devido à perda de folhas consumidas ou mortas pelas chamas. No entanto, esse efeito sobre dinâmica foliar das plantas sempre-verdes foi transitório, uma vez que não notamos diferenças evidentes na cobertura da copa entre as 12 espécies de plantas do sítio queimado e do não queimado, um ano após a ocorrência da queimada. Mostramos também evidente efeito da intensa herbivoria por lagartas de Lepidoptera sobre a produção e a queda de folhas e consequentemente, sobre a dinâmica de folhas na copa de *Roupala montana*. Esse fenômeno, também evidenciado por Lenza & Klink (2006) pode estar mascarando os efeitos do clima e do solo

o sobre a dinâmica foliar de *R. montana* e carece de estudos mais específicos para seu entendimento.

4.3. Comportamento fenológico reprodutivo: Mostramos que a maioria das espécies apresentam floração anual como é esperado no Cerrado, padrão esse também registrado em outros estudos (Lenza e Klink, 2006; Pirani et al., 2009; Silvério e Lenza, 2010), com uma intensa floração concentrada durante o período chuvoso (Silvério e Lenza, 2010; Valentin-Silva et al., 2021), podendo ocorrer também no período seco (Pirani et al., 2009), considerado comum para as plantas lenhosas de Cerrado (Lenza e Klink, 2006).

O fogo também exerceu um efeito supressor imediato (até um ano após a queimada) da floração de sete espécies. O fogo afeta de maneira distinta as fenofases das plantas lenhosas do Cerrado, variando sua intensidade entre as espécies e afetando a capacidade reprodutiva (Dodonov et al., 2018), podendo até inibir essa fenofase (Hoffmann, 1998). Por exemplo, em nosso estudo, a espécie *Myrcia lanuginosa* só floresceu no cerrado não queimado até um ano após a queimada de 2008. Ainda, após o fogo as espécies decíduas mudaram pouco seu comportamento em relação às espécies sempre-verdes que sofreram mais, tais como *Antonia ovata*, *Erythroxylum suberosum*, *Himatanthus obovatus* e *Salvertia convallariodora*, que não floresceram e diminuíram a intensidade dessa fenofase. Segundo Gomes et al. (2021), esse efeito supressor do fogo também ocorre sobre as rebrotas das plantas cuja parte área foi morta pela ação das chamas, ou seja, as rebrotas possuem menor capacidade reprodutiva do que aquela do tronco principal. No entanto Lucena et al. (2015) registraram que o fogo estimulou a floração e a frutificação de espécies lenhosas do Cerrado principalmente dos grupos fenológicos semidecíduas e sempre-verdes. Por outro lado, Palermo e Miranda (2012) também registraram esse estímulo em espécie lenhosa como *Qualea parviflora*, mas essa espécie não floresceu no ano seguinte, sugerindo mais tempo após a queima para retomar seu ciclo normal de reprodução. Esses resultados aparentemente incongruentes entre estudos já realizados até o momento podem depender do regime de queimadas (p. ex. intensidade, período e frequência de ocorrência) e das características estruturais das plantas (p. ex. altura da planta, diâmetro do tronco e espessura da casca) e merecem atenção em estudos futuros.

Em nosso estudo, o fogo afetou o sucesso reprodutivo de algumas espécies também por supressão da frutificação, uma vez que em algumas espécies as plantas floresceram após o fogo, mas não frutificaram. Acreditamos que esse fenômeno pode ser consequência do alto gasto de energia para produzir novas folhas após a queimada, restando assim menos energia para produzir flores e frutos. Segundo Valentin-Silva et al. (2021), após o fogo as espécies expressando as fenofases reprodutivas foram menos intensas na camada arbustivo-arbórea. De acordo com os resultados de Alvarado et al. (2014), o fogo afetou a fenologia ao reduzir a porcentagem de

indivíduos que participaram de cada evento, provocando impactos negativos sobre as estruturas reprodutivas das plantas. Essas respostas ao fogo podem alterar o período de ocorrência de alguma fenofase e afetar as interações planta-animal (Morellato et al., 2016), afetando assim a oferta de recursos. Menos espécies frutíferas pós-fogo diminui a disponibilidade de frutos para os frugívoros (Tunes et al., 2017), prejudicando a dispersão de sementes e seu sucesso de germinação (Schupp et al., 2010). Segundo Miller et al. (2019) a sazonalidade do fogo afeta a recuperação das plantas pós-incêndio e consequentemente as respostas fenológicas, comprometendo as fenofases reprodutivas. De fato, com a diminuição do sucesso reprodutivo das espécies aqui estudadas, a disponibilidade de recursos para polinizadores e frugívoros foi menor.

4.4. Comparação da floração entre períodos. Em oito das 18 espécies acompanhadas em longo prazo, nós mostramos um evidente atraso no momento de floração em períodos menos chuvosos (anos de 2020 e 2021) quando comparados a períodos mais chuvosos. Esta redução na precipitação pluviométrica foi observada por alguns autores (Araújo et al., 2021; Souza, 2020), o que está ocasionando o ambiente mais quente e seco (Hofmann et al., 2021). Assim, o atraso na floração das espécies sugere que em anos com menor pluviosidade e consequentemente menor disponibilidade da água para as plantas há um ajuste adaptativo das plantas para garantir o sucesso reprodutivo. Segundo Pirani et al. (2009); Silvério e Lenza (2010) e Valentin-Silva et al. (2021), a maioria das plantas lenhosas do Cerrado florescem ao final do período seco e/ou na transição com o período chuvoso. Dessa forma, em anos menos chuvosos e com períodos secos mais intensos e prolongados, como aqueles de 2020 e 2021, a floração um pouco mais tardia poderia impedir o dessecamento excessivo dos botões e flores. Segundo Jancoski et al. (2019), vegetação do Cerrado apresenta estratégias ecofisiológicas para maior resistência à seca. Esse parece ser o caso das espécies que retardaram a floração e sugere um ajuste comportamental as condições do ambiente. Apesar disso, ainda não sabemos como essa modificação no momento de floração poderia comprometer os mecanismos de polinização biótica e consequentemente o sucesso na produção de frutos. Isso porque todas as oito espécies que retardaram a floração são polinizadas por insetos e essa mudança no tempo de floração poderia quebrar o ajuste temporal entre floração e polinização. Por fim, com base nessas alterações no tempo de floração evidenciada em algumas espécies estudadas, podemos imaginar que o atual cenário de mudanças climáticas previstas por Masson-Delmotte et al. (2018) para a transição entre o Cerrado e a Amazônia (maiores temperaturas e menores índices pluviométricos) poderia modificar o tempo de floração das espécies, com consequências ainda não bem entendidas, tanto para o sucesso reprodutivo das comunidades lenhosas, quanto para fauna de polinizadores associados.

4.5. Efeitos do clima e da umidade dos solos sobre os eventos fenológicos em curto prazo:

Evidenciamos aqui que aumentos na cobertura de copa, e conseqüentemente de folhas adultas, foram associados a aumentos na umidade relativa do ar e na disponibilidade de água no solo independente do grupo fenológico analisado. Desse modo, apesar das plantas lenhosas do Cerrado apresentarem distintos níveis de perda e troca da folhagem elas parecem adotar estratégias semelhantes quanto ao período no qual intensificam a síntese de nutrientes. Isso porque em 10 das 12 espécies do Cerrado não queimado aqui estudadas a manutenção intensa das folhas durante o período chuvoso maximiza a aquisição de recursos, pois nesse momento as plantas teriam luz e água suficientes para a realização da fotossíntese. Essa sazonalidade da cobertura de copa foi também evidenciadas por outros estudos realizados com maior número de espécies lenhosas do Cerrado (Pirani et al., 2009; Pilon et al., 2015) e parece ser a melhor estratégia vegetativa, na ausência de fogo e de herbivoria.

Nesse sentido, os efeitos da herbivoria foram notados apenas em *Roupala montana*, cujas plantas apresentaram um padrão inesperado de redução da copa em momentos de maior umidade do ar e do solo. No Cerrado não queimado, observamos intenso consumo das folhas recém-formadas no período chuvoso nos dois anos de estudo. Assim, como descrito anteriormente, a associação mais curada entre ambiente e a fenologia vegetativa de *Roupala montana* fica comprometida em função desses elevados níveis de herbivoria. No entanto, podemos afirmar que essa herbivoria modificou o tempo de produção e queda de folhas, fazendo com que *R. montana* tenha sido a única espécie na qual a cobertura máxima de folhas da copa tenha ocorrido no auge do período seco no cerrado não queimado. Outros estudos fenológicos com essa espécie na ausência de herbivoria, mostraram que a maior cobertura de copa ocorre ao longo do período chuvoso (Lenza e Klink, 2006; Pirani et al., 2009), confirmando o efeito intenso da herbivoria sobre a sazonalidade esperada para essa espécie.

A senescência foliar, ou seja, fenômeno no qual as folhas das plantas modificam sua cor e caem logo em seguida (Pedroni et al., 2002) foi fortemente associada a redução na disponibilidade de água para as plantas na atmosfera e no solo em 11 das 12 espécies analisada, independentemente do grau de decíduidade das espécies. Assim, a senescência foliar ocorre quando os valores de todas as variáveis diminuem esse período corresponde a seca, ou seja, a senescência das espécies do Cerrado é influenciada pelo déficit hídrico e temperatura, resultados também encontrado por outros autores (Lenza e Klink, 2006). Esses autores relatam que a troca de folhas para espécies lenhosas de Cerrado é comum nesse período sendo assim uma estratégia adaptativa para suprir a falta de água. Em um estudo realizado por Braga e colaboradores (Braga et al., 2019), com as espécies *Copaifera*

langsdorffii e *Swartzia flaemingii*, ambas tiveram correlações fortes entre a queda foliar e temperatura, mas para precipitação apresentaram correlação fraca e não significativa. Por outro lado, Bílio et al., (2021) mostraram forte correlação entre a abscisão foliar e a diminuição da pluviosidade e correlação negativa com a temperatura mínima e a precipitação. Pirani et al., (2009), trabalhando com algumas espécie lenhosas do Cerrado e que também estão presentes em nossa pesquisa, tais como *Ouratea spectabilis*, *Davilla elliptica*, *Kielmeyera rubriflora*, entre outras, mostraram que a perda de folhas foi mais fortemente correlacionada com os índices pluviométricos e fotoperíodo e que as espécies apresentaram características decíduas ou brevidecíduas, ou seja, a fenofase vegetativa que apresentou maior relação com a precipitação foi abscisão foliar. Nossos resultados mostram que para a senescência não há diferentes respostas dos diferentes grupos fenológicos. De maneira geral todas essas variáveis têm o mesmo efeito, exceto para uma espécie decídua *K. rubriflora*, que perde suas folhas quando ainda há uma considerada umidade relativa do ar e água no solo.

Diferente do que observamos para a senescência e abscisão foliar, a produção de folhas jovens parece ser menos influenciada pela disponibilidade de água para as plantas, uma vez que apenas em cinco espécies, de diferentes grupos fenológicos, notamos algum tipo de relação com o ambiente. Assim, em nossa análise o ambiente exerce efeitos variáveis sobre as distintas espécies e também não registramos efeitos diferentes sobre espécies dos distintos grupos fenológicos. É sabido que a vegetação lenhosa do Cerrado apresenta forte sazonalidade na produção de folhas, que se concentra na transição entre a seca e a chuva (Lenza e Klink, 2006, Pirani et al., 2009, Pilon et al., 2015). No entanto, esperávamos encontrar distintos momentos na produção de folhas entre as espécies sempre-verdes com crescimento contínuo e aquelas dos demais grupos, mas isso não ocorreu. Esse resultado foi observado por Lenza e Klink, (2006) em estudo com espécies de Cerrado. Ainda não somos capazes de explicar as discrepâncias entre esses dois resultados, mas podemos sugerir: que eles sejam consequência do pequeno número de espécies estudadas. Os dois sítios em questão estão sob diferentes regimes pluviométricos (Silva et al., 2008), uma vez que o sítio de Lenza e Klink, (2006) se localiza no planalto central e o nosso sítio na transição com Cerrado Amazônia. Por isso, essa parece ser ainda uma questão não resolvida e carece de estudos com maior número de espécies e de maior alcance geográfico e variação climática.

Assim como para os demais eventos fenológicos, nós não mostramos uma relação clara entre o ambiente e o grupo fenológico e sim uma relação entre o ambiente e o tipo de dispersão, como as espécies anemocóricas *Kielmeyera rubriflora*, *Qualea parviflora*, *Qualea multiflora*. Estas espécies dispersam suas sementes através do vento no final do período seco, exceto *Davilla elliptica*, que apesar de ser uma espécie zoocórica abre os frutos, sendo assim deiscentes, mas respondeu de maneira semelhantes as espécies anemocóricas. No entanto, a espécie *Qualea*

grandiflora, não apresentou nenhum tipo de relação com as variáveis estudadas. De acordo com Silvério e Lenza, (2010) em sua pesquisa, as espécies *Qualea grandiflora*, *Byrsonima pachyphylla*, e *Ouratea spectabilis* não frutificaram durante os 12 meses. Nossos resultados mostram que as espécies anemocóricas dispersaram suas sementes na seca com baixa umidade relativa do ar, resultados este também observado por (Lenza e Klink, 2006 e Pirani et al., 2009). Pirani et al., (2009) observaram que a produção de frutos das espécies anemocóricas foi correlacionada negativamente com a precipitação que ocorreu nos dois meses anteriores ao evento fenológico e positivamente com a temperatura no mês do evento, e que as espécies anemocóricas apresentaram correlação com as variáveis ambientais. Sendo assim, em nossos resultados a variável que mais influenciou na dispersão, foi a umidade relativa do ar, e esse efeito foi sentido nas espécies anemocóricas e para uma única espécie zoócorica cujo fruto é deiscente. Segundo Batalha e Mantovani, (2000) a baixa umidade relativa do ar promove a abertura dos frutos o que facilita a dispersão do diásporo. Esse evento ocorre no início da estação chuvosa, o que favorece o crescimento e a sobrevivência das plântulas (Pirani et al., 2009). Ao contrário Bílio et al., (2021), em sua pesquisa com árvores lenhosas de Cerrado no Mato Grosso, verificou que a maturação dos frutos não apresentou correlação com nenhuma das variáveis ambientais analisadas tais como: precipitação total mensal, temperatura máxima, temperatura mínima e umidade relativa.

6. CONCLUSÃO

As espécies estudadas apresentaram comportamento fenológico distinto marcadamente sazonais com diferentes estratégias fenológicas como, por exemplo, a deciduidade foliar no período seco para evitar a perda de água. Em longo prazo, houve uma redução na disponibilidade de água para as plantas o que pode ter ocasionado um atraso na floração de algumas espécies. No entanto, as variações no comportamento fenológico vegetativos e reprodutivos dessas plantas são determinadas tanto pelo clima quanto pelo fogo. As espécies sempre-verdes foram mais afetadas pelo fogo do que as decíduas, mas foi apenas um efeito imediato na fenofase vegetativa, uma vez que um ano após a ocorrência da queimada, não apresentaram diferenças evidentes na cobertura da copa entre as 12 espécies de plantas do sítio queimado e do não queimado. Já em algumas espécies o fogo exerceu um efeito supressor imediato da floração de sete espécies (até um ano após a queimada). Em nosso estudo de curto prazo, ao contrário das nossas expectativas, nós mostramos que os efeitos do ambiente sobre a cobertura de copa, senescência foliar, produção de folhas jovens e dispersão dos frutos não diferiu entre as espécies com distintos grupos fenológicos. Embora não tenha sido o

objetivo desse estudo, nós mostramos que intensos eventos de herbivoria, como aquele por lagartas de lepidópteros, altera sobremaneira o comportamento fenológico das plantas.

Assim, por mais que as plantas lenhosas do Cerrado sejam capazes de se ajustar ao ambiente relacionado à restrição hídrica, isso pode afetar o comportamento fenológico dessa vegetação. Ao longo do tempo enfrentando temperaturas máximas e menores índices pluviométricos, essa vegetação pode não conseguir mais se ajustar e entrar em colapso. O presente estudo fornece informações sobre as respostas das plantas lenhosas de Cerrado às queimadas e as mudanças climáticas que permitirá no futuro avaliar se o comportamento fenológico da comunidade lenhosa de Cerrado será alterado frente a mudanças climáticas vigentes e futuras.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad, J.C.S., Marimon, B.S., 2008. Caracterização e diagnóstico ambiental do Parque Municipal do Bacaba (Nova Xavantina, MT), Gestão e educação ambiental: água, biodiversidade e cultura (JE Santos & C. Galbiati, orgs.). Rima, São Carlos, v. 1.
- Alvarado, S.T., Buisson, E., Rabarison, H., Rajeriarison, C., Birkinshaw, C., Lowry, P.P., Morellato, L.P.C., 2014. Fire and the reproductive phenology of endangered Madagascar sclerophyllous tapia woodlands. *South African J. Bot.* 94, 79–87. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.06.001>
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., De Moraes Gonçalves, J.L., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol. Zeitschrift* 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Antonelli, A., Sanmartín, I., 2011. Why are there so many plant species in the Neotropics? *Taxon*. <https://doi.org/10.1002/tax.602010>
- Araújo, I., Marimon, B.S., Scalon, M.C., Fauset, S., Marimon, B.H., Tiwari, R., Galbraith, D.R., Gloor, M.U., 2021. Trees at the Amazonia-Cerrado transition are approaching high temperature thresholds. *Environ. Res. Lett.* 16. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe3b9>
- Batalha, M.A., Aragaki, S., Mantovani, W., 1997. Variações fenológicas das espécies do cerrado em Emas (Pirassununga, SP). *Acta Bot. Brasilica* 11, 61–78. <https://doi.org/10.1590/S0102-33061997000100007>
- Batalha, M.A., Mantovani, W., 2000. 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. *Rev. Bras. Biol.* 60, 129–145. <https://doi.org/10.1590/S0034-71082000000100016>

- Bílio, R. de S., Coelho, M. de F.B., Camili, E.C., Pirani, F.R., da Silva, S.D.S., 2021. Fenology of lafoensia pacari st. Hill. in two vegetation types of cerrado mato-grossense. *Cienc. Florest.* 31, 1147–1166. <https://doi.org/10.5902/1980509835718>
- Braga, A.M.S., Lima, G. de A., Teodoro, M.S., Lemos, J.R., 2019. Fenologia de três espécies arbóreas em um trecho de vegetação subcaducifolia no norte do Piauí, Brasil. *Biotemas* 32, 33–44. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2019v32n2p33>
- Brooklyn, M.N., Power, N.C.R., Abreu, R.C.R., Durigan, G., Rossatto, D., And Hoffmann, W.A., 2020. Flammability thresholds or flammability gradients? Determinants of fire across savanna–forest transitions. *New Phytol.* 228, 910–921. <https://doi.org/10.1111/nph.16742>
- Carvalho, F.M.V., De Marco, P., Ferreira, L.G., 2009. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biol. Conserv.* 142, 1392–1403. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.01.031>
- Coutinho, A.C., 2005. Dinâmica das queimadas no Estado de Mato Grosso e suas relações com as atividades antrópicas e a economia local.
- Coutinho, L.M., 1978. Aspectos Ecológicos do Fogo no Cerrado. A temperatura do Solo durante as queimadas. *Rev. Bras. Botânica* 1, 93–96.
- Dodonov, P., Zanelli, C.B., Silva-Matos, D.M., 2018. Effects of an accidental dry-season fire on the reproductive phenology of two neotropical savanna shrubs. *Brazilian J. Biol.* 78, 564–573. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.174660>
- Durigan, G., 2020. Zero-fire: Not possible nor desirable in the Cerrado of Brazil. *Flora* 268, 151612. <https://doi.org/10.1016/J.FLORA.2020.151612>
- Eiten, G., 1972. The cerrado vegetation of Brazil. *Bot. Rev.* 38, 201–341. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>
- Fernandes, P.A., Pessôa, V.L.S., 2011. O Cerrado e suas atividades impactantes: uma leitura sobre o garimpo, a mineração e a agricultura mecanizada. *Rev. Eletrônica Geogr.* 3, 19–37.
- Ferreira, K.R., Fina, B.G., Rêgo, N.H., Da Rui, R.F., Kusano, D.M., 2017. FENOLOGIA DE *QUALEA PARVIFLORA* MART. (VOCHYSIACEAE) EM UM REMANESCENTE DE CERRADO SENSU STRICTO. *Rev. Agric. Neotrop.* 4, 15–22. <https://doi.org/10.32404/rean.v4i3.1534>
- Fournier, L.A., 1974. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas de árboles. *Turrialba*. 24: 422–423.
- Franco, A., 2002. A. Ecophysiology of woody plants., in: Oliveira, P. S.; Marquis, R. J. (Ed). *The Cerrados of Brasil: Ecology Na Natural History of a Neotropical Savanna*. Washington: Columbia University Press. pp. 178–197.
- Franco, A.C., Bustamante, M., Caldas, L.S., Goldstein, G., Meinzer, F.C., Kozovits, A.R., Rundel,

- P., Coradin, V.T.R., 2005. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. *Trees - Struct. Funct.* 19, 326–335. <https://doi.org/10.1007/S00468-004-0394-Z>
- Françoso, R., Guaraldo, A. de C., Prada, M., Paiva, A.O., Mota, E.H., Pinto, J.R.R., 2014. Fenologia e produção de frutos de *Caryocar brasiliense* Cambess. E *Enterolobium gummiferum* (Mart.) J.F.Macbr. em diferentes regimes de queima. *Rev. Árvore* 38, 579–590. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622014000400001>
- Furst, H., da Silva, R.P., Wilson Fernandes, G., Galuppo, L.Z., Machado, I.C.A., Villar, P., Negreiros, D., 2017. Rebrotamento pós-fogo em arbusto ameaçado e microendêmico dos campos rupestres da Serra do Cipó, sudeste do Brasil. *Neotrop. Biol. Conserv.* 12, 143–149. <https://doi.org/10.4013/nbc.2017.122.07>
- Gomes, L., Lenza, E., Souchie, F.F., Pinto, J.R.R., Maracahipes-Santos, L., Furtado, M.T., Maracahipes, L., Silvério, D., 2021. Long-term post-fire resprouting dynamics and reproduction of woody species in a Brazilian savanna. *Basic Appl. Ecol.* 56, 58–71. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.06.005>
- Gomes, L., Miranda, H.S., Bustamante, M.M. da C., 2018. How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome? *For. Ecol. Manage.* 417, 281–290. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.02.032>
- Gomes, L., Miranda, H.S., Silvério, D. V., Bustamante, M.M.C., 2020a. Effects and behaviour of experimental fires in grasslands, savannas, and forests of the Brazilian Cerrado. *For. Ecol. Manage.* 458. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117804>
- Gomes, L., Miranda, H.S., Soares-Filho, B., Rodrigues, L., Oliveira, U., Bustamante, M.M.C., 2020b. Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. *Front. For. Glob. Chang.* 3, 1–11. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.507710>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.* 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hoffmann, W.A., 1999. Fire and population dynamics of woody plants in a neotropical savanna: matrix model projections. *Ecology* v. 80, 1354–1369.
- Hoffmann, W.A., 1998. Post-burn reproduction of woody plants in a neotropical savanna: The relative importance of sexual and vegetative reproduction. *J. Appl. Ecol.* 35, 422–433. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1998.00321.x>
- Hofmann, G.S., Cardoso, M.F., Alves, R.J.V., Weber, E.J., Barbosa, A.A., de Toledo, P.M., Pontual, F.B., Salles, L. de O., Hasenack, H., Cordeiro, J.L.P., Aquino, F.E., de Oliveira, L.F.B., 2021. The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. *Glob. Chang. Biol.* 27,

4060–4073. <https://doi.org/10.1111/gcb.15712>

- Jancoski, H.S., Pinto, J.R.R., Nogueira, D.S., Mews, H.A., Abad, J.C.S., Scalon, M.C., Marimon, B.S., 2019. Fine-scale effects of fire on non-woody species in a southern Amazonian seasonal wetland. *Wetlands Ecology and Management* v. 27, 267–281.
- Klink, C.A., Machado, R.B., 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. *Megadiversidade*. <https://doi.org/10.1590/S0100-69912009000400001>
- Lenza, E., Klink, A., 2006a. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF 1, 627–638.
- Lenza, E., Klink, C.A., 2006b. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. *Brazilian J. Bot.* 29, 627–638. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042006000400013>
- Lima Pilon, N.A., Udulutsch¹, R.G., Durigan³, G., 2015. Padrões fenológicos de 111 espécies de Cerrado em condições de cultivo. *Hoehnea* 42, 425–443. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-07/2015>
- Lira, F.S., Araujo, R.V., De Melo, L.J., Costa, R.B., De Sousa, R.R., 2020. VARIAÇÃO DAS TEMPERATURAS E DA UMIDADE RELATIVA DO AR NO EXTREMO INVERNO E VERÃO NA CIDADE DE BARRA DO GARÇAS-MT. *Rev. Bras. Climatol.* 26. <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.71985>
- Lucena, I.C., Leite, M.B., Matos, D.M. da S., 2015. A deciduidade foliar indica a vulnerabilidade de espécies lenhosas ao fogo. *Rev. Arvore* 39, 59–68. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000100006>
- Machado, w de J., 2018. Fenologia da vegetação em áreas de areias brancas no Parque Nacional Serra de Itabaiana, Sergipe, Brasil, Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de São Carlos.
- Mantovani, W., Martins, F.R., 1988. Variações fenológicas das espécies do cerrado da Reserva Biológica de Moji Guaçu, Estado de São Paulo. *Acta Bot. Brasilica* 11, 101–112.
- Marimon, B.S., Felfili, J.M., Lima, E. de S., Duarte, W.M.G., Marimon-Júnior, B.H., 2010. Environmental determinants for natural regeneration of gallery forest at the Cerrado/Amazonia boundaries in Brazil. *Acta Amaz.* 40, 107–118. <https://doi.org/10.1590/s0044-59672010000100014>
- Marimon Junior, B.H., Haridasan, M., 2005. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. *Acta Bot. Brasilica* 19, 913–926. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000400026>
- Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W.

- Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T.W., 2018. Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, Ipcc - Sr15.
- Mendonça, R. C, Felfili, J. M., Walter, B. M. T., Silva Junior, M. C., Rezende, A. V., Filgueiras, T. S., Nogueira, P. E. & FAGG, C.W., 2008. Flora Vascular do Bioma Cerrado. SANO, S. M., ALMEIDA, S. P. & RIBEIRO, J. F. (eds), in: Cerrado: Ecologia e Flora. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília,. pp. 422–442.
- Miller, R.G., Tangney, R., Enright, N.J., Fontaine, J.B., Merritt, D.J., Ooi, M.K.J., Ruthrof, K.X., Miller, B.P., 2019. Mechanisms of Fire Seasonality Effects on Plant Populations. *Trends Ecol. Evol.* <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.07.009>
- Miranda, H.S., C, B.M.M., Miranda, A.C., 2002. The Fire Factor, in: *The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, Edited by Paulo S. Oliveira and Robert J. Marquis, New York Chichester, West Sussex: Columbia University Press. pp. 51–68. <https://doi.org/https://doi.org/10.7312/oliv12042-003>
- Miranda, I.S., 1995. Fenologia do estrato arbóreo de uma comunidade de cerrado em Alter-do-Chão, PA. *Rev. Bras. Botânica* 18, 235–240.
- Morellato, L.P.C., Alberton, B., Alvarado, S.T., Borges, B., Buisson, E., Camargo, M.G.G., Cancian, L.F., Carstensen, D.W., Escobar, D.F.E., Leite, P.T.P., Mendoza, I., Rocha, N.M.W.B., Soares, N.C., Silva, T.S.F., Staggemeier, V.G., Streher, A.S., Vargas, B.C., Peres, C.A., 2016. Linking plant phenology to conservation biology. *Biol. Conserv.* 195, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.12.033>
- Murphy, B.P., Andersen, A.N., Parr, C.L., 2016. The underestimated biodiversity of tropical grassy biomes. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 371. <https://doi.org/10.1098/RSTB.2015.0319>
- Myers, N., Mittermeyer, R.A., Mittermeyer, C.G., Da Fonseca, G.A.B., Kent, J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Oliveira.R, 2005. The forgotten ecosystem, *Nature* 437: 944-945.
- Oliveira, P.E., 2008. Fenologia e Biologia Reprodutiva das de cerrado. In: *Cerrado: ecologia e flora* (S. M. Sano; S. P. Almeida & J. F. Ribeiro, eds.). Embrapa Cerrados, Brasília, in: *Cerrado: Ecologia e Flora*. pp. 273–287.
- Oliveira, R.S., 2004. Comparative water use and water acquisition strategies of trees from the Brazilian Cerrado and Amazônia. University of California, Berkeley.
- Palermo, A.C., Miranda, H.S., 2012. Efeito do fogo na produção de frutos de *Qualea parviflora* mart. (Vochysiaceae) em cerrado sensu stricto. *Rev. Arvore* 36, 685–693.

<https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000400010>

- Pirani, F.R., Sanchez, M., Pedroni, F., 2009. Phenology of a tree community in a cerrado sensu stricto, Barra do Garças, Mato Grosso state, Brasil. *Acta Bot. Brasilica* 23, 1096–1109. <https://doi.org/10.1590/s0102-33062009000400019>
- Ribeiro, J.F., Walter, B.M.T., 2008. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado, in: Sano, S.M., Almeida, Semiramis P. de, Ribeiro, José F. (Eds.), *Cerrado: Ecologia e Flora*. Embrapa Cerrados, pp. 152–212.
- Sano, S.M., Almeida, S.P. de, Ribeiro, J.F., 2008. *Cerrado: ecologia e flora*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina.
- Santana, N.C., 2018. Fire recurrence and normalized difference vegetation index (NDVI) dynamics in brazilian savanna. *Fire* 2, 1–17. <https://doi.org/10.3390/fire2010001>
- Santos, F.A.M., Pedroni, F., Sanchez, M., 2002. Fenologia da copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf. – Leguminosae, Caesalpinioideae) em uma floresta semidecídua no sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Botânica* 25, 183–194.
- Sarmiento, G., 1984. *The Ecology of Neotropical Savannas*. Harvard University Press. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674418554>
- Schupp, E.W., Jordano, P., Gómez, J.M., 2010. Seed dispersal effectiveness revisited: a conceptual review. *New Phytol.* 188, 333–353. <https://doi.org/10.1111/J.1469-8137.2010.03402.X>
- Silva, F.M., Assad, E.D., Evangelista, B.A., 2008. Caracterização climática do bioma Cerrado in Cerrado: ecologia e flora. *EMBRAPA: Informação Tecnológica Brasília* 1, 69–88.
- Silva, I.A., Batalha, M.A., 2010. Woody plant species co-occurrence in Brazilian savannas under different fire frequencies. *Acta Oecologica* 36, 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2009.10.004>
- Silvério, D.V., Lenza, E., 2010. Fenologia de espécies lenhosas em um cerrado típico no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina, Mato Grosso, Brasil. *Biota Neotrop.* 10, 205–216. <https://doi.org/10.1590/s1676-06032010000300024>
- Silvério, D.V., Pereira, O.R., Mews, H.A., Maracahipes-Santos, L., Santos, J.O. dos, Lenza, E., 2015. Surface fire drives short-term changes in the vegetative phenology of woody species in a Brazilian savanna. *Biota Neotrop.* 15, 1–9. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-bn-2014-0077>
- Simon, M.F., Grether, R., De Queiroz, L.P., Skemae, C., Pennington, R.T., Hughes, C.E., 2009. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106, 20359–20364. <https://doi.org/10.1073/pnas.0903410106>
- Souchie, F.F., Pinto, J.R.R., Lenza, E., Gomes, L., Maracahipes-Santos, L., Silvério, D.V., 2017. Post-fire resprouting strategies of woody vegetation in the Brazilian savanna. *Acta Bot.*

Brasílica 31, 260–266. <https://doi.org/10.1590/0102-33062016abb0376>

Souza, D.N.N., Valera Camacho, R.G., Miranda de Melo, J.I., Galdino da Rocha, L.N., Silva, N.F., 2014. Estudo fenológico de espécies arbóreas nativas em uma unidade de conservação de caatinga no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Biotemas* 27, 31. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2014v27n2p31>

Souza, L.J., 2020. Efeitos da seca no dossel de vegetações na transição Amazônia-Cerrado.

Tunes, P., Alves, V.N., Valentin-Silva, A., Batalha, M.A., Guimarães, E., 2017. Does fire affect the temporal pattern of trophic resource supply to pollinators and seed-dispersing frugivores in a Brazilian savanna community? *Plant Ecol.* 218, 345–357. <https://doi.org/10.1007/s11258-016-0695-5>

Valentin-Silva, A., Alves, V.N., Tunes, P., Guimarães, E., 2021. Fire does not change sprouting nor flowering, but affects fruiting phenology in a Neotropical savanna community. *Flora Morphol. Distrib. Funct. Ecol. Plants* 283. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151901>

Zar, J.H., 1999. *Biostatistical analysis*, 4th edn Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.

