SCIENTIA PLENA
www.scientiaplena.org.br
VOL. 22, NUM. 10 2026
doi: 10.14808/sci.plena.2026.101201

Dinâmica reprodutiva em três espécies de Myrtaceae: sincronia fenológica e respostas a variáveis ambientais

Reproductive dynamics in three Myrtaceae species: phenological synchrony and responses to environmental variables

D. R. da Silva; E. F. dos Reis; R. Matias*

Instituto de Biociências, Universidade Federal de Jataí, Campus Jatobá, 75801-615, Jataí-Goiás, Brasil

**raphael.silva@ufj.edu.br*
(Recebido em 20 de março de 2026; aceito em 03 de outubro de 2026)

A fenologia reprodutiva é essencial para compreender a disponibilidade de recursos e a dinâmica das interações planta-animal. O objetivo deste estudo foi analisar o período de floração e frutificação de *Campomanesia adamantium*, *Campomanesia pubescens* e *Psidium basanthum* em uma área de cultivo no Brasil Central, verificando a sobreposição fenológica entre as espécies e a influência de fatores abióticos nas fenofases. Para isso, realizaram-se monitoramentos quinzenais (junho/2024 a junho/2025), avaliando a presença e o número de botões, flores e frutos em 35 indivíduos por espécie. A sobreposição das fenofases foi avaliada pelo índice de Pianka, enquanto dados de temperatura, pluviosidade e fotoperíodo foram coletados para testar a relação entre as variáveis ambientais e a intensidade reprodutiva. Os picos de floração ocorreram entre setembro e outubro (transição entre as estações seca e chuvosa) para as três espécies, enquanto a frutificação concentrou-se entre novembro e janeiro. Houve elevada sobreposição na maioria das fenofases, especialmente entre as *Campomanesia*. A pluviosidade e, principalmente, a temperatura atuaram como os principais gatilhos para a floração das espécies de *Campomanesia*, enquanto *P. basanthum* não respondeu às variáveis climáticas nessa fase. Em contrapartida, a frutificação foi regida pela temperatura e fotoperíodo em *C. adamantium* e *P. basanthum*, enquanto *C. pubescens* não apresentou resposta climática na frutificação. Conclui-se que a dinâmica reprodutiva dessas Myrtaceae é altamente sensível às variações climáticas, e a coexistência dessas espécies garante uma oferta prolongada de recursos, sendo vital para a sustentabilidade do ecossistema e para estratégias de conservação e exploração econômica.
Palavras-chave: *Campomanesia*, Cerrado, *Psidium*.

Reproductive phenology is essential for understanding resource availability and plant-animal interaction dynamics. This study aimed to analyze the flowering and fruiting periods of *Campomanesia adamantium*, *Campomanesia pubescens*, and *Psidium basanthum* in a cultivation area in Central Brazil, assessing the phenological overlap among species and the influence of abiotic factors on reproductive phenophases. Fortnightly monitoring was conducted from June 2024 to June 2025, recording the presence and abundance of buds, flowers, and fruits in 35 individuals of each species. Phenological overlap was evaluated using the Pianka index, and data on temperature, rainfall, and photoperiod were used to test the relationship between environmental variables and reproductive intensity. Flowering peaks occurred between September and October (the transition between the dry and rainy seasons) for all three species, whereas fruiting was concentrated between November and January. High overlap was observed across most phenophases, particularly within the *Campomanesia* genus. Rainfall and, particularly, temperature were the main drivers of flowering in *Campomanesia* species, whereas *P. basanthum* showed no response to climatic variables during this phase. Conversely, fruiting was driven by temperature and photoperiod in *C. adamantium* and *P. basanthum*, while *C. pubescens* exhibited no climatic response during fruiting. We conclude that the reproductive dynamics of these Myrtaceae species are highly sensitive to climatic variation. Furthermore, the coexistence of these species ensures a prolonged supply of resources, which is vital for ecosystem sustainability, conservation efforts, and economic exploitation.
Keywords: *Campomanesia*, Cerrado, *Psidium*.

1. INTRODUÇÃO

A fenologia é um ramo da ecologia que se dedica a estudar os ciclos biológicos dos organismos, incluindo as plantas [1]. Os estudos buscam compreender as relações desses ciclos

com os fatores abióticos, como os níveis de precipitação, temperatura e fotoperíodo [2, 3]. Esses estudos ajudam a determinar quais fatores influenciam, por exemplo, no período e intensidade de floração, frutificação, brotamento ou queda foliar [2-4]. São essenciais para compreender o comportamento de uma espécie, de uma população em específico ou de uma comunidade, permitindo assim definir estratégias de conservação [5]. Além disso, estudos de fenologia permitem estabelecer os aspectos temporais de disponibilidade de recursos, como folhas, flores, frutos e sementes, que podem influenciar a dinâmica populacional de animais que utilizam esses recursos, tais como herbívoros, polinizadores, dispersores e predadores de sementes [6, 7].

A família Myrtaceae possui cerca de 140 gêneros e 6000 espécies [8], ocorrendo nas regiões tropicais e subtropicais, com picos de diversidade na América do Sul, Austrália, Sudeste da Ásia e uma certa representatividade na África [9]. O Cerrado abrange uma expressiva biodiversidade, com cerca de 69 famílias, incluindo Myrtaceae [9]. Neste bioma, Myrtaceae se caracteriza por ser uma das famílias com maior riqueza, com 15 gêneros e cerca de 250 espécies, sendo importante em termos econômicos e ecológicos [9]. Muitas espécies têm grande importância em indústrias de papel e celulose, paisagismo, pesticidas naturais, perfumes, especiarias, fabricação de produtos medicinais e como fonte de alimento para os seres humanos, como as jabuticabas (*Plinia* spp.), goiabeiras (*Psidium* spp.) e gabirobas (*Campomanesia* spp.) [9].

As flores das espécies de Myrtaceae são visitadas principalmente por abelhas, e os frutos são dispersos por animais [10]. A fenologia reprodutiva dentro da família exibe uma certa variação. A maioria das espécies é altamente sazonal, principalmente quanto ao período de floração, que geralmente ocorre na estação mais quente e úmida do ano [4, 11-13]. No entanto, existem algumas variações na frequência e na duração das fenofases reprodutivas. Embora a maioria das espécies floresçam e frutifiquem apenas uma vez no ano, algumas outras podem florescer e frutificar duas vezes ao ano [14, 15]. Em termos de duração, a fenofase de floração ou frutificação pode ser curta, durando de um a dois meses, ou mais prolongada, durando seis meses ou mais [14, 15]. Espécies que apresentam fenofases com maior duração e que florescem ou frutificam mais de uma vez ao ano são ecologicamente importantes por auxiliarem na manutenção local da fauna polinizadora e dispersora.

Embora o período reprodutivo já tenha sido investigado para muitas Myrtaceae [11-17], a elevada diversidade taxonômica da família resulta em lacunas expressivas no conhecimento fenológico do grupo. Por exemplo, não existem informações sobre a fenologia de *Psidium basanthum* O.Berg e como sua reprodução reage de acordo com fatores abióticos. Além disso, os fatores que influenciam na intensidade das fenofases foram investigados para um número restrito de espécies. Em um cenário de rápidas mudanças climáticas globais, os padrões fenológicos de espécies vegetais se tornam altamente plásticos, exigindo monitoramento constante, atualizado e em diferentes localidades. A replicação de estudos fenológicos, mesmo para espécies já estudadas anteriormente, como *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O.Berg [18-20] e *Campomanesia pubescens* (Mart. ex DC.) O.Berg [21], é fundamental para detectar o impacto temporal e espacial nas alterações nos ciclos de vida. Assim, a fenologia assume cada vez mais importância. O conhecimento aprofundado da dinâmica reprodutiva das plantas é vital para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas e a segurança alimentar, visto que muitas Myrtaceae são fontes de alimento para os seres humanos [22].

O objetivo deste estudo foi analisar o período de emissão de botões, flores abertas e a produção de frutos verdes e maduros em *Campomanesia adamantium*, *Campomanesia pubescens* e *Psidium basanthum* em uma área onde as três espécies são cultivadas, verificando o nível de sobreposição no período de floração e frutificação entre as espécies. Além disso, foi investigado se a intensidade de cada fenofase possui relação com fatores abióticos locais, especificamente as médias de pluviosidade, temperatura e fotoperíodo (comprimento do dia). Espera-se que as fenofases de floração e frutificação das três espécies ocorram em períodos semelhantes e que haja uma maior sobreposição fenológica entre as duas espécies de *Campomanesia* devido à maior proximidade filogenética entre elas, conforme sugerido em outros estudos com Myrtaceae [15, 23, 24]. Espera-se também um efeito significativo das variáveis climáticas sobre a fenologia das espécies, de modo que ocorra uma maior intensidade das fenofases de floração associada a períodos mais quentes, chuvosos e com fotoperíodo mais longo, enquanto uma maior intensidade na produção e maturação dos frutos esteja associada ao encurtamento do fotoperíodo, assim como registrado em outros estudos com espécies de Myrtaceae [11, 21, 24].

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido no campo de Recursos Genéticos situado na Universidade Federal de Jataí, Campus Jatobá, no município de Jataí, Goiás, Brasil (17°55'16"S e 51°42'56"W). Na área está situada uma plantação, que engloba indivíduos das espécies estudadas com a mesma idade (plantados em 2011-2012) provenientes de coletas feitas de 17 municípios de Goiás, onde são realizados experimentos com esses indivíduos. Para as duas espécies de *Campomanesia*, a coleção foi estabelecida sob o espaçamento de 2 m entre linhas e 1 m entre plantas, disposta em um delineamento experimental de blocos casualizados. Já os indivíduos de *P. basanthum* estão dispostos em uma única linha de plantio adjacente, paralela às linhas de *Campomanesia*. O clima na área de estudo é do tipo Aw – tropical de savana, segundo a classificação de Köppen-Geiger, apresentando duas estações bem definidas, sendo elas: verão quente e chuvoso, de outubro a março, e um inverno seco e frio, de abril a setembro [25]. A precipitação média anual da região está entre 1300 e 1500 mm, tendo os meses de junho e julho com menores índices de precipitação [26]. Já a temperatura média anual é de aproximadamente 23,6 °C [26].

2.2 Espécies estudadas

As três espécies estudadas são nativas do Brasil, tendo distribuição no Cerrado, na Mata Atlântica e na Caatinga [9]. Apesar da ampla distribuição geográfica e da origem diversa das matrizes, o cultivo ex situ limita os resultados à plasticidade reprodutiva dessas espécies sob as condições específicas da região de estudo, diferindo potencialmente de populações estritamente naturais. As espécies apresentam hábito arbustivo, embora alguns indivíduos de *C. pubescens* possam atingir o hábito arbóreo [9]. As espécies compartilham similaridades em suas flores, com dimensões aproximadas entre si (*C. adamantium*: diâmetro médio de 25,7 ± 1,4 mm; *C. pubescens*: 26,8 ± 3,6 mm; *P. basanthum*: 29,1 ± 1,4 mm; obs. pessoal). Suas flores possuem cinco pétalas livres de coloração branca, odor adocicado, numerosos estames, ovário ínfero e liberam pólen como principal recurso aos polinizadores (Figura 1).



Figura 1: Botões florais, flores e frutos de Campomanesia pubescens (A e D), Campomanesia adamantium (B e E) e Psidium basanthum (C e F).

Nas espécies de *Campomanesia* os frutos são bagas globosas (Figuras 1D e 1E), com coloração verde quando imaturo e amarelo-alaranjado quando maduro. Os frutos maduros de *C. adamantium* possuem cerca de 20,1 ± 2,3 mm de largura e 18,8 ± 2,5 mm de comprimento (obs. pessoal). Já os frutos maduros de *C. pubescens* têm largura média de 16,2 ± 2,9 mm e comprimento de 15,2 ± 2,8 mm (obs. pessoal). Em *P. basanthum*, os frutos são bagas ovoides, com coloração verde quando imaturo e amarelo quando maduro (Figura 1F). Os frutos maduros de *P. basanthum* possuem uma largura média de 20,2 ± 1,3 mm e comprimento de 23,8 ± 1,7 mm (obs. pessoal), sendo relativamente maiores do que as espécies de *Campomanesia*.

2.3 Coleta de dados fenológicos

As observações fenológicas foram realizadas em 35 indivíduos de cada espécie, os quais foram marcados com fita e numerados. Os indivíduos foram escolhidos ao acaso, adotando-se como critério de inclusão espécimes adultos em bom estado fitossanitário e com porte vegetativo semelhante, e monitorados quinzenalmente entre junho de 2024 e junho de 2025. Em cada amostragem, registrou-se o número de indivíduos que apresentavam uma respectiva fenofase (determinando a atividade de cada fenofase) e a abundância total de botões florais, flores abertas, frutos imaturos e frutos maduros por meio da contagem direta de todas as estruturas presentes em cada indivíduo (determinando a intensidade de cada fenofase).

2.4 Coleta das variáveis climáticas

Dados de temperatura (ºC) e pluviosidade (mm) foram obtidos da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET – Estação Jataí, A016) [26], localizada a cerca de 300 metros da área de estudo, durante o período de amostragem (Figura 2). Os dados de fotoperíodo, considerando o comprimento do dia, foram obtidos do Departamento de Aplicações Astronômicas do Observatório Naval dos EUA (https://aa.usno.navy.mil/data/Dur_OneYear), informando-se a localidade (Jataí, Goiás), as coordenadas geográficas da área de estudo e o fuso horário local (3 horas a oeste de Greenwich; UTC-3). Para cada data amostrada em campo, de fenologia, foram obtidos dados climáticos dos 15 dias que antecederam a amostragem, ou seja, o período entre uma amostragem e outra. Os dados de temperatura e pluviosidade são disponibilizados de hora em hora, pelo Instituto Nacional de Meteorologia [26]. Assim, foram calculadas a temperatura e pluviosidade média por hora, a partir destes dados quinzenais acumulados, para cada data amostrada. Para o fotoperíodo, foram obtidos os valores diários do comprimento do dia e calculada a sua média diária para o mesmo intervalo de 15 dias (Figura 2).

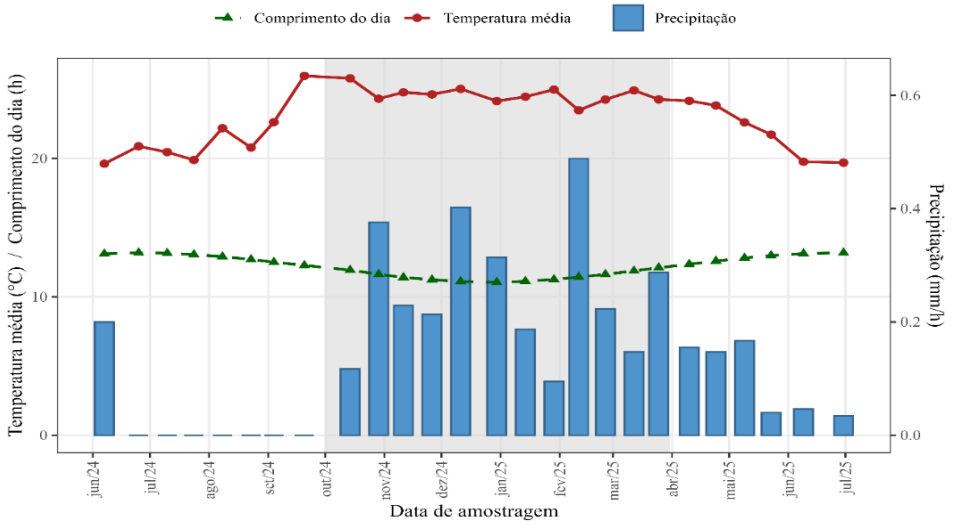


Figura 2: Variação da precipitação média (mm/h), temperatura média (°C) e comprimento do dia (h) durante o período de amostragem (junho de 2024 a junho de 2025) no município de Jataí, Goiás, Brasil. A área sombreada em cinza indica a estação chuvosa (outubro a março), característica do clima tropical de savana (Aw) da região, segundo a classificação de Köppen-Geiger.

2.5 Análise estatística

O nível de sobreposição no período de floração e frutificação entre pares de espécies foi avaliado pelo índice de sobreposição de nicho de Pianka, utilizando a função "niche.overlap" do pacote spaa [27] no software R [28]. O índice de Pianka varia de 0 a 1, sendo que valores próximos de 0 indicam baixa sobreposição e valores próximos de 1 indicam maior sobreposição da fenofase. Para cada par de espécies e fenofase, foram calculados dois valores de sobreposição, sendo que um considerou a porcentagem de indivíduos com a fenofase (valor de atividade) e o outro o número de unidades reprodutivas (botões, flores ou frutos – valor de intensidade). Para determinar se os valores do índice de sobreposição de nicho de Pianka diferiam estatisticamente do esperado ao acaso, foi realizada uma análise de modelo nulo com 1000 simulações Monte Carlo [29]. As simulações foram executadas via algoritmo de modelo nulo RA4 [29], o qual mantém a estrutura de zeros da matriz (preservando o período e a duração de cada fenofase) e permuta aleatoriamente os valores observados apenas entre as datas em que a fenofase esteve ativa, de forma independente para cada espécie.

A relação entre os fatores abióticos (temperatura, pluviosidade e fotoperíodo) e a fenologia reprodutiva das três espécies foi avaliada no nível populacional a partir de Modelos Lineares Generalizados (GLMs) e Mistos (GLMMs), usando a função "glmmTMB" do pacote glmmTMB [30] no R [28]. Foram ajustados modelos considerando cada evento amostral/data de amostragem (N = 26) como unidade de análise. Para cada espécie e fenofase, testou-se o efeito das variáveis abióticas sobre duas métricas fenológicas independentes: (1) a proporção de indivíduos apresentando a fenofase, modelada como a razão entre indivíduos em atividade (sucessos) e não ativos (fracassos) por meio da distribuição Beta-Binomial (função de ligação logit); e (2) o número total de estruturas reprodutivas (somatória populacional por amostragem), modelado usando distribuição Binomial Negativa (função de ligação log). As distribuições Beta-Binomial e Binomial Negativa foram adotadas para incorporar a variabilidade excessiva (superdispersão ou overdispersion) dos dados fenológicos. Portanto, para cada espécie, fenofase e métrica fenológica, ajustou-se um modelo independente com a seguinte estrutura: Métrica Fenológica ~ Temperatura + Pluviosidade + Fotoperíodo. Essa estratégia inferencial considerou que espécies e fenofases são biologicamente distintas, tratando cada modelo como uma hipótese independente a priori e sem aplicação de correções para múltiplos testes, de modo a não ocultar respostas específicas de cada espécie e fenofase.

A escolha entre a estrutura de GLMs ou GLMMs foi baseada na independência temporal dos resíduos. Para cada modelo, a ausência de autocorrelação temporal nos resíduos foi testada pelo teste de Durbin-Watson via função "testTemporalAutocorrelation" do pacote DHARMa [31], complementada pela inspeção gráfica de autocorrelação parcial (PACF). Nos casos em que a dependência temporal foi estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$), incorporou-se nos modelos uma estrutura de autocorrelação residual autorregressiva de primeira ordem [AR(1)], configurando um GLMM, para corrigir a dependência sequencial e evitar a inflação do erro do Tipo I. Quando o teste confirmou a independência temporal dos resíduos ($p > 0,05$), mantiveram-se os GLMs simples.

Após a definição da estrutura temporal e o ajuste dos modelos finais, realizou-se a validação diagnóstica dos modelos e a avaliação de sua qualidade de ajuste. A adequação das distribuições escolhidas (Beta-Binomial e Binomial Negativa) e a ausência de superdispersão residual nos modelos finais foram testadas por meio de simulações de resíduos padronizados (função "simulateResiduals") e testes não paramétricos de razão de dispersão (função "testDispersion"), ambos usando o pacote DHARMa [31] (confirmados via função "check_overdispersion" do pacote performance [32]). Valores de $p > 0,05$ e razão de dispersão próxima a 1 confirmaram o ajuste adequado das distribuições e a ausência de superdispersão, assegurando a obtenção de erros-padrão não viesados. A ausência de colinearidade entre as variáveis abióticas foi avaliada pelo Fator de Inflação da Variância (VIF) com a função "check_collinearity" do pacote performance [32], adotando-se os seguintes limiares de classificação [32, 33]: colinearidade baixa ($VIF < 5$), moderada ($VIF \geq 5$ e < 10) e alta ($VIF \geq 10$). A grande maioria das relações analisadas apresentou colinearidade baixa (95,8% dos casos), enquanto uma pequena fração manteve-se na categoria moderada (4,2% dos casos), sem nenhum registro de multicolinearidade alta (Tabela 1), confirmando a estabilidade dos coeficientes regressivos nos modelos finais. Por fim, a capacidade

explicativa global de cada modelo foi quantificada pela porcentagem de deviance explicada ($\%D^2$), que expressa a proporção da variabilidade fenológica explicada pelo conjunto das variáveis abióticas em relação a um modelo nulo contendo apenas o intercepto [34].

Tabela 1: Fatores de Inflação de Variância (VIF) para avaliação de multicolinearidade entre as variáveis abióticas nos modelos fenológicos de três espécies de Myrtaceae. A colinearidade foi classificada com base nos limiares de VIF: baixa (VIF < 5), moderada (VIF ≥ 5 e < 10) e alta (VIF ≥ 10).

Fenofases / **Variáveis**	Espécies					
	C. adamantium		*C. pubescens*		*P. basanthum*	
	VIF	Classificação de colinearidade	VIF	Classificação de colinearidade	VIF	Classificação de colinearidade
Botões florais						
% de indivíduos						
Temperatura	2,07	Baixa	1,33	Baixa	1,67	Baixa
Pluviosidade	1,85	Baixa	1,77	Baixa	1,36	Baixa
Fotoperíodo	3,23	Baixa	1,87	Baixa	1,95	Baixa
N° total de botões						
Temperatura	1,61	Baixa	2,01	Baixa	1,61	Baixa
Pluviosidade	1,36	Baixa	1,37	Baixa	1,34	Baixa
Fotoperíodo	1,95	Baixa	2,42	Baixa	1,73	Baixa
Flores						
% de indivíduos						
Temperatura	1,63	Baixa	1,38	Baixa	1,93	Baixa
Pluviosidade	1,65	Baixa	1,79	Baixa	1,52	Baixa
Fotoperíodo	2,34	Baixa	2,01	Baixa	2,53	Baixa
N° total de flores						
Temperatura	1,37	Baixa	1,75	Baixa	2,14	Baixa
Pluviosidade	1,42	Baixa	1,91	Baixa	1,42	Baixa
Fotoperíodo	1,19	Baixa	2,87	Baixa	2,63	Baixa
Frutos verdes						
% de indivíduos						
Temperatura	1,51	Baixa	2,05	Baixa	2,91	Baixa
Pluviosidade	1,38	Baixa	1,42	Baixa	1,88	Baixa
Fotoperíodo	1,57	Baixa	2,42	Baixa	4,23	Baixa
N° total de frutos verdes						
Temperatura	1,39	Baixa	1,90	Baixa	1,69	Baixa
Pluviosidade	1,35	Baixa	1,42	Baixa	1,34	Baixa
Fotoperíodo	1,33	Baixa	2,09	Baixa	1,82	Baixa
Frutos maduros						
% de indivíduos						
Temperatura	3,44	Baixa	2,47	Baixa	3,57	Baixa
Pluviosidade	1,89	Baixa	1,48	Baixa	3,06	Baixa
Fotoperíodo	4,80	Baixa	3,16	Baixa	6,85	Moderada
N° total de frutos maduros						
Temperatura	3,57	Baixa	2,29	Baixa	1,93	Baixa
Pluviosidade	5,53	Moderada	1,35	Baixa	1,40	Baixa
Fotoperíodo	9,34	Moderada	2,42	Baixa	2,03	Baixa

Com os modelos validados, a significância dos efeitos parciais de cada variável abiótica, dentro de cada modelo, foi avaliada pelo teste de Wald ($\alpha = 0,05$), reportando-se o valor da estatística z e seu respectivo valor de p na tabela de resultados. Para a visualização e comparação das curvas de resposta preditas (efeitos marginais) obtidas via pacote ggeffects [35], os resultados foram apresentados em escala relativa (0–100%). Essa padronização permitiu a comparação direta da dinâmica fenológica entre espécies com diferentes ordens de grandeza no número de estruturas reprodutivas e variáveis abióticas com distintas unidades de medida.

3. RESULTADOS

3.1 Fenologia reprodutiva

Campomanesia adamantium apresentou botões florais ou flores abertas em diversos meses do ano. No entanto, na maioria das datas amostradas, havia um número reduzido de botões (< 5), flores (< 5) e uma baixa porcentagem de indivíduos (< 10%) nessas fenofases (Figuras 3A e 3D). O pico de botões florais, tanto em número de botões quanto em porcentagem de indivíduos, ocorreu na segunda quinzena de setembro e em outubro (> 40% de indivíduos, > 10000 botões; Figura 3A). De forma similar, a maior intensidade para a porcentagem de indivíduos com flores abertas (> 35%) foi no final de setembro e início de outubro, com um pico no número total de flores no final de setembro (> 1000 flores; Figura 3D), que corresponde com o final da estação seca. O período de frutificação de *C. adamantium* também se estendeu ao longo do ano, embora o número total (< 5) e a porcentagem de indivíduos com frutos verdes e maduros (< 10%) tenham sido baixos na maioria das datas amostradas (Figuras 3G e 3J). O maior número total de frutos verdes (> 1600), assim como a maior porcentagem de indivíduos com essa fenofase (> 60%), foi registrada no final de outubro e em novembro (Figura 3G), que é o começo da estação chuvosa. Indivíduos com frutos maduros tiveram seu pico na segunda quinzena de novembro (> 37%), assim como o número total de frutos maduros (> 103), que praticamente manteve sua intensidade por todo o mês de dezembro (Figura 3J).

Campomanesia pubescens apresentou botões florais de setembro a maio, com ausência nos meses de junho a agosto (Figura 3B). O pico de botões florais ocorreu na segunda quinzena de outubro, tanto para a porcentagem de indivíduos quanto para o número total de botões (Figura 3B). A floração teve seu pico em outubro, com a maior incidência de indivíduos com flores (> 45%) e o maior número de flores abertas (> 400; Figura 3E). A presença de frutos verdes ocorreu em boa parte do ano, de outubro a julho. Novembro foi o período de maior ocorrência, com mais de 70% dos indivíduos com essa fenofase e mais de 7500 frutos verdes nos indivíduos amostrados (Figura 3H). Indivíduos com frutos maduros foram registrados entre a segunda quinzena de novembro e o final de abril, e nos meses de junho e julho (Figura 3K). O pico na porcentagem de indivíduos com frutos maduros foi na segunda quinzena de fevereiro, com mais de 30% dos indivíduos nessa fase reprodutiva. No entanto, dezembro foi o mês com o maior número de frutos maduros, com mais de 120 frutos registrados (Figura 3K).

Psidium basanthum apresentou indivíduos com botões florais, flores abertas e frutos verdes durante todos os meses amostrados (Figuras 3C, 3F e 3I). Houve um pico mais acentuado na produção de botões florais, tanto em porcentagem de indivíduos quanto em número total, em novembro (> 70% dos indivíduos e > 1100 botões no início de novembro). Um segundo pico, de menor intensidade, ocorreu no final de abril até junho de 2025 (> 39% dos indivíduos no final de junho e > 400 botões no final de abril e em maio; Figura 3C). A floração também teve dois picos. O primeiro, e mais intenso, foi registrado em outubro (em porcentagem de indivíduos; > 25%) e no final de novembro (em número total de flores; > 100). Um segundo período de floração, com menor intensidade, ocorreu entre final de abril e junho de 2025 (máximo de 14% indivíduos com flores e 20 flores abertas; Figura 3F). Embora a presença de frutos verdes tenha sido registrada em todos os meses amostrados, essa fenofase exibiu maior intensidade entre novembro e janeiro (Figura 3I). A maior porcentagem de indivíduos com frutos verdes (> 88%) foi observada na primeira quinzena de janeiro, enquanto o maior número de frutos verdes (> 3000) foi registrado no final de novembro (Figura 3I). Os frutos maduros tiveram seu pico, tanto em porcentagem de indivíduos quanto em número total, na segunda quinzena de janeiro, ainda na estação chuvosa (> 42% dos indivíduos e > 200 frutos maduros; Figura 3L).

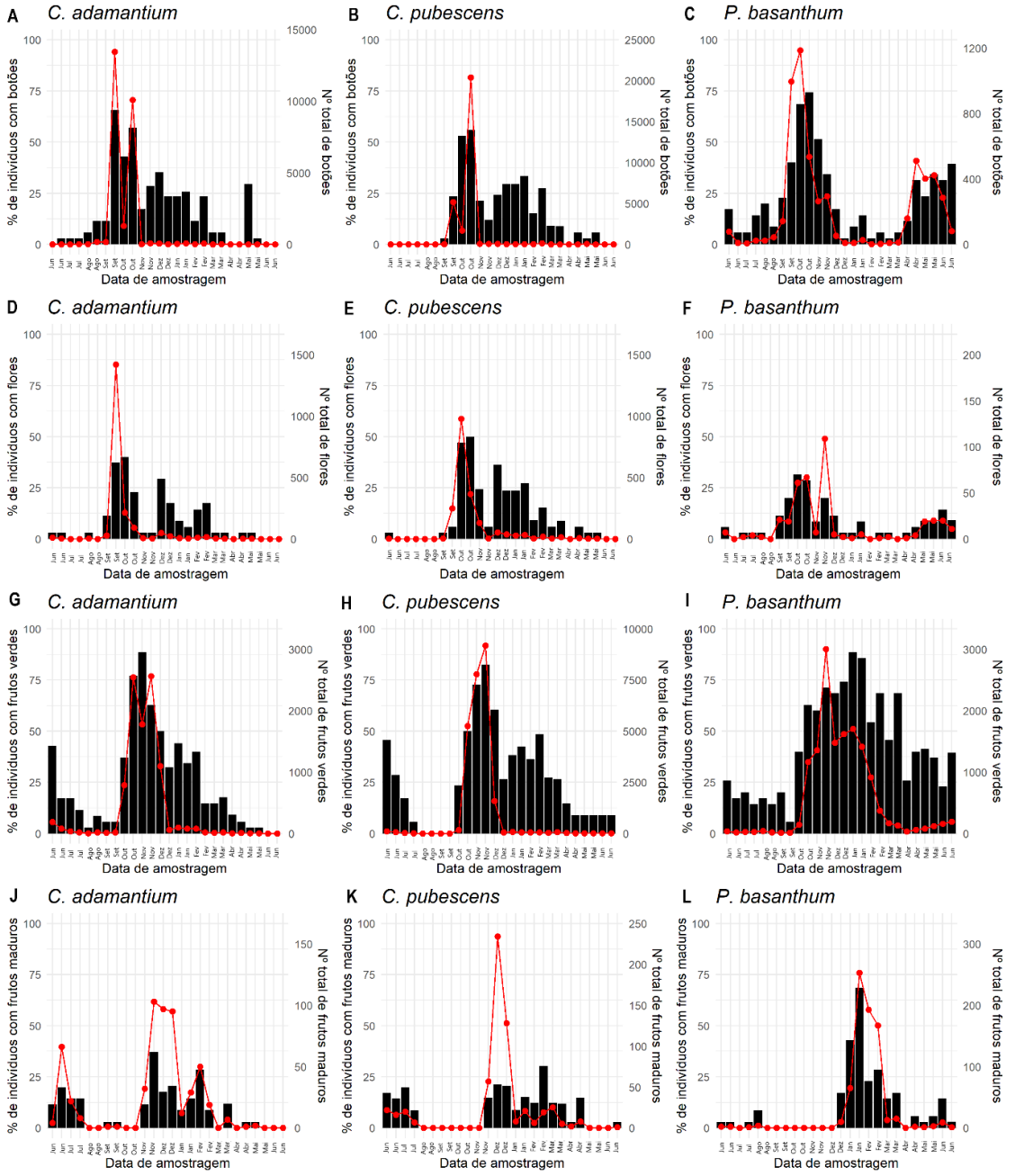


Figura 3: Fenologia reprodutiva de três espécies de Myrtaceae, considerando a porcentagem de indivíduos e o número total de botões (A, B, C), flores abertas (D, E, F), frutos verdes (G, H, I) e frutos maduros (J, K, L). A porcentagem de indivíduos é representada pelas barras pretas e o número total de botões, flores ou frutos é representada pelos pontos vermelhos, ligados pela linha vermelha.

3.2 Sobreposição fenológica

As duas espécies de *Campomanesia* exibiram alta sobreposição em todas as fenofases, com valores do índice de Pianka significativamente maiores do que o esperado ao acaso (Tabela 2). A única exceção foi no número total de flores abertas, cujo valor de Pianka (0,38) não diferiu estatisticamente dos valores do modelo nulo (Tabela 2).

Na comparação entre *C. adamantium* e *P. basanthum*, os valores de sobreposição foram maiores que o esperado ao acaso para as fenofases de botões florais e frutos verdes, tanto para a porcentagem de indivíduos quanto para o número total (Tabela 2). Para flores abertas, a sobreposição foi maior do que o esperado ao acaso apenas para a porcentagem de indivíduos (Tabela 2). Já para frutos maduros, o valor de sobreposição de Pianka não diferiu do esperado ao acaso para a porcentagem de indivíduos e para o número total de frutos (Tabela 2).

Tabela 2: Valores do índice de Pianka para o nível de sobreposição das fenofases reprodutivas de três espécies de Myrtaceae. São apresentados os valores dos intervalos (inferior e superior) obtidos via modelos nulos. Valores em negrito indicam diferenças significativas (p ≤ 0,05) entre o índice de Pianka e o modelo nulo; todas as diferenças indicaram sobreposição maior do que o esperado ao acaso.

Fenofases **Métricas** Combinações de espécies	Índice de Pianka	Valores do modelo nulo		P valor
		Intervalo inferior	Intervalo superior	
Botões florais				
% de indivíduos				
C. adamantium & *C. pubescens*	**0,88**	**0,34**	**0,73**	**< 0,01**
C. adamantium & *P. basanthum*	**0,76**	**0,36**	**0,72**	**0,01**
C. pubescens & *P. basanthum*	**0,74**	**0,31**	**0,69**	**0,01**
N° total de botões				
C. adamantium & *C. pubescens*	**0,78**	**0,00**	**0,77**	**0,01**
C. adamantium & *P. basanthum*	**0,64**	**0,01**	**0,57**	**0,01**
C. pubescens & *P. basanthum*	0,45	0,01	0,62	0,08
Flores				
% de indivíduos				
C. adamantium & *C. pubescens*	**0,81**	**0,29**	**0,74**	**< 0,01**
C. adamantium & *P. basanthum*	**0,78**	**0,24**	**0,69**	**< 0,01**
C. pubescens & *P. basanthum*	**0,76**	**0,28**	**0,69**	**0,01**
N° total de flores				
C. adamantium & *C. pubescens*	0,38	0,01	0,90	0,06
C. adamantium & *P. basanthum*	0,22	0,01	0,74	0,14
C. pubescens & *P. basanthum*	0,56	0,03	0,70	0,06
Frutos verdes				
% de indivíduos				
C. adamantium & *C. pubescens*	**0,94**	**0,38**	**0,71**	**< 0,01**
C. adamantium & *P. basanthum*	**0,83**	**0,50**	**0,76**	**< 0,01**
C. pubescens & *P. basanthum*	**0,89**	**0,55**	**0,79**	**< 0,01**
N° total de frutos verdes				
C. adamantium & *C. pubescens*	**0,94**	**0,01**	**0,53**	**< 0,01**
C. adamantium & *P. basanthum*	**0,75**	**0,04**	**0,60**	**< 0,01**
C. pubescens & *P. basanthum*	**0,74**	**0,02**	**0,59**	**< 0,01**
Frutos maduros				
% de indivíduos				
C. adamantium & *C. pubescens*	**0,79**	**0,44**	**0,76**	**0,01**
C. adamantium & *P. basanthum*	0,46	0,19	0,64	0,24
C. pubescens & *P. basanthum*	0,58	0,26	0,69	0,14
N° total de frutos maduros				
C. adamantium & *C. pubescens*	**0,80**	**0,08**	**0,66**	**< 0,01**
C. adamantium & *P. basanthum*	0,31	0,03	0,61	0,28
C. pubescens & *P. basanthum*	0,12	0,03	0,65	0,50

A sobreposição da floração (botões florais e flores) entre *C. pubescens* e *P. basanthum* foi significativamente maior do que o esperado ao acaso considerando a porcentagem de indivíduos, mas não para o número total (Tabela 2). Quanto à frutificação, houve sobreposição significativamente maior do que o esperado ao acaso para frutos verdes em ambas as variáveis (Tabela 2). Contudo, para frutos maduros, os valores de sobreposição de Pianka não diferiram dos valores gerados pelo modelo nulo, tanto para a porcentagem de indivíduos quanto para o número total de frutos (Tabela 2).

3.3 Efeito dos fatores climáticos nas fenofases

A temperatura influenciou positivamente a porcentagem de indivíduos em floração (botões e flores) para *C. adamantium* e *C. pubescens* (Tabela 3; Figura 4). Quanto à abundância de estruturas, a temperatura apresentou efeito positivo sobre o número de botões em *C. pubescens* e sobre o número total de flores em *C. adamantium* e *C. pubescens* (Tabela 3; Figura 5). A

pluviosidade afetou positivamente apenas o número de flores de *C. adamantium* e *C. pubescens* (Tabela 3; Figura 5). O fotoperíodo não exerceu efeito significativo sobre a floração de nenhuma espécie, sendo que para *P. basanthum* nenhuma variável abiótica apresentou efeito significativo (Tabela 3; Figuras 4 e 5). No conjunto, as variáveis abióticas dentro dos modelos de floração explicaram entre 4,5% e 27,2% da variabilidade fenológica (%D^2), com os maiores poderes explicativos observados para a porcentagem de indivíduos de *C. pubescens* (27,2% para botões e 23,4% para flores) e para a abundância de flores em *C. adamantium* (18,9%; Tabela 3).

Tabela 3: Resultados dos modelos estatísticos (GLMs e GLMMs) testando o efeito da temperatura média (°C), pluviosidade média (mm) e fotoperíodo sobre quatro fenofases reprodutivas em três espécies de Myrtaceae. Para cada modelo, a porcentagem de deviance explicada (%D^2) reflete a capacidade explicativa global da regressão. Valores de %D^2 marcados com asterisco (*) indicam modelos em que foi incorporada uma estrutura autorregressiva de primeira ordem [AR(1)] devido à autocorrelação temporal significativa nos resíduos (configurando GLMMs). Valores de %D^2 sem asterisco não tiveram autocorrelação temporal, por isso foram analisados via GLMs sem termo autorregressivo. Os valores de z (estatística de Wald) e p (p-valor) reportam o efeito parcial de cada variável abiótica dentro de cada modelo, com valores em negrito indicando relações estatisticamente significativas (p ≤ 0,05).

Fenofases	Espécies								
Métricas	*C. adamantium*			*C. pubescens*			*P. basanthum*		
Variáveis	z valor	P valor	%D^2	z valor	P valor	%D^2	z valor	P valor	%D^2
Botões florais									
% de indivíduos			12,4%			27,2%			13,2%*
Temperatura	**3,11**	**0,03**		**3,40**	**< 0,001**		1,30	0,19	
Pluviosidade	-0,72	0,47		0,88	0,38		0,38	0,70	
Fotoperíodo	-1,10	0,27		-1,35	0,18		0,95	0,34	
N° total de botões			10,2%*			13,0%*			8,9%*
Temperatura	1,48	0,14		**2,16**	**0,03**		1,42	0,16	
Pluviosidade	0,05	0,96		0,43	0,67		-0,63	0,53	
Fotoperíodo	-0,46	0,64		-0,58	0,56		0,89	0,37	
Flores									
% de indivíduos			15,9%			23,4%			10,4%*
Temperatura	**3,05**	**< 0,01**		**2,56**	**0,01**		1,16	0,24	
Pluviosidade	1,32	0,19		1,58	0,11		-0,04	0,96	
Fotoperíodo	0,69	0,49		-1,28	0,22		0,34	0,73	
N° total de flores			18,9%*			16,4%			4,5%*
Temperatura	**4,91**	**< 0,001**		**5,79**	**< 0,001**		0,16	0,87	
Pluviosidade	**3,44**	**< 0,001**		**1,99**	**0,046**		-0,65	0,52	
Fotoperíodo	1,69	0,09		1,11	0,27		-0,11	0,91	
Frutos verdes									
% de indivíduos			21,6%*			15,8%*			17,9%
Temperatura	-0,67	0,51		-0,73	0,47		-1,61	0,11	
Pluviosidade	1,50	0,13		0,30	0,76		0,93	0,35	
Fotoperíodo	**-2,06**	**0,04**		-1,86	0,06		**-4,14**	**< 0,001**	
N° total de frutos verdes			14,6%*			11,8%*			15,3%*
Temperatura	-0,29	0,77		-0,36	0,72		**-2,05**	**0,04**	
Pluviosidade	1,39	0,16		0,96	0,34		0,40	0,69	
Fotoperíodo	-1,89	0,06		-1,48	0,14		**-4,15**	**< 0,001**	
Frutos maduros									
% de indivíduos			9,3%			9,2%*			1,0%*
Temperatura	**-1,98**	**0,047**		-1,00	0,31		-0,54	0,59	
Pluviosidade	0,56	0,58		0,06	0,95		0,35	0,73	
Fotoperíodo	**-2,50**	**0,01**		-1,21	0,22		-0,19	0,85	
N° total de frutos maduros			4,3%			6,2%*			12,0%*
Temperatura	**-2,42**	**0,02**		0,37	0,71		-0,86	0,39	
Pluviosidade	-0,27	0,79		0,09	0,93		-0,48	0,63	
Fotoperíodo	**-2,48**	**0,01**		-0,01	0,99		-1,04	0,30	

Considerando as fenofases de frutificação, a temperatura exerceu efeito negativo significativo sobre a porcentagem de indivíduos e o número total de frutos maduros de *C. adamantium*, bem como sobre o número de frutos verdes em *P. basanthum* (Tabela 3; Figuras 4 e 5). O fotoperíodo também apresentou efeito negativo significativo, reduzindo a porcentagem de indivíduos com frutos verdes, a porcentagem com frutos maduros e o número total de frutos maduros em *C. adamantium*, bem como a porcentagem de indivíduos e o número total de frutos verdes em *P. basanthum* (Tabela 3; Figuras 4 e 5). A pluviosidade não afetou significativamente a frutificação de nenhuma das espécies (Tabela 3; Figuras 4 e 5). Em *C. pubescens*, nenhuma variável abiótica apresentou efeito significativo isolado nas fenofases de frutificação (Tabela 3; Figuras 4 e 5). No conjunto, as variáveis abióticas dentro dos modelos de frutificação explicaram entre 1,0% e 21,6% da variabilidade fenológica (%D²), com o maior poder explicativo observado para a porcentagem de indivíduos com frutos verdes em *C. adamantium* (21,6%; Tabela 3).

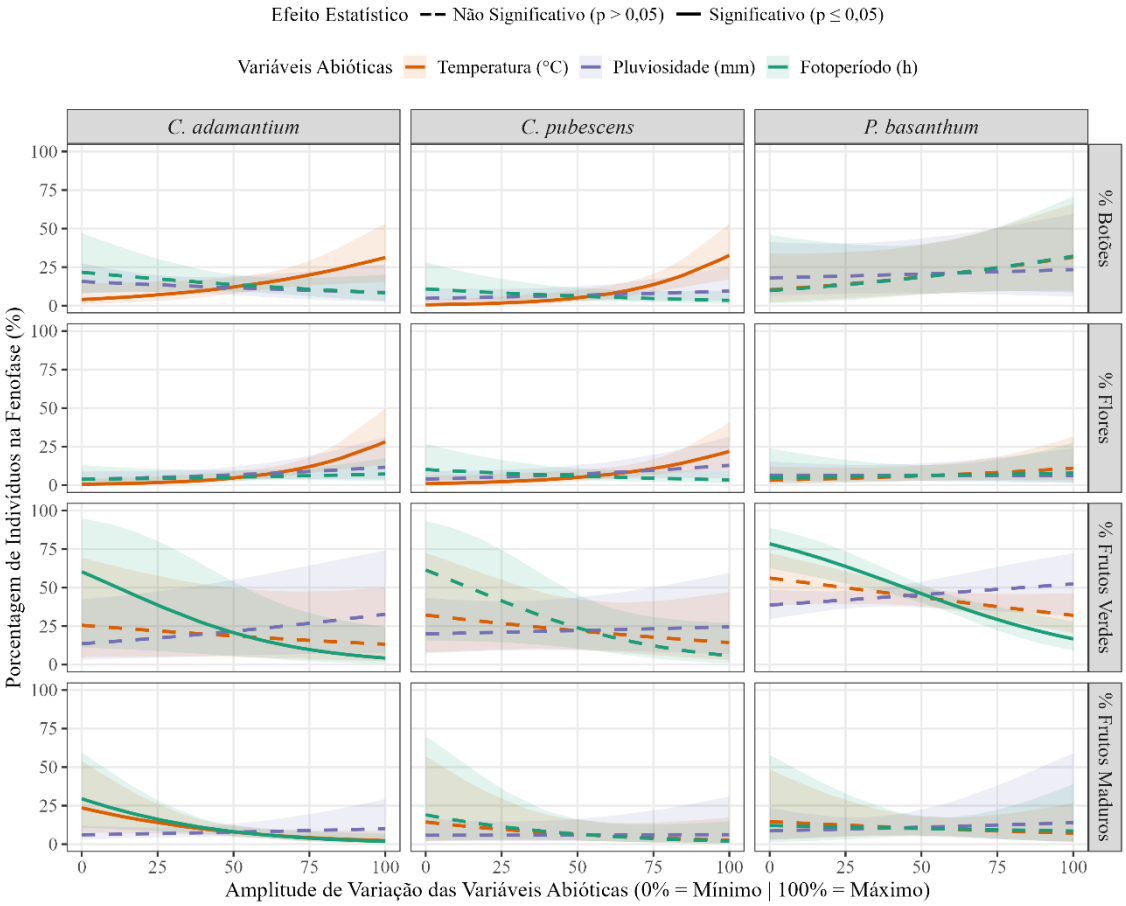


Figura 4: Efeitos parciais preditos (efeitos marginais) das variáveis abióticas (temperatura, pluviosidade e fotoperíodo) sobre a porcentagem de indivíduos com botões, flores, frutos verdes e frutos maduros em três espécies de Myrtaceae. Cada painel corresponde a um modelo estatístico individual (GLM ou GLMM, conforme especificado na Tabela 3). O eixo X representa a amplitude de variação relativa de cada preditor abiótico (0% = valor mínimo observado; 100% = valor máximo observado) dentro de seu respectivo modelo. Linhas contínuas indicam relações estatisticamente significativas (p ≤ 0,05) e linhas tracejadas indicam relações não significativas (p > 0,05). As áreas sombreadas correspondem aos intervalos de confiança (95%).

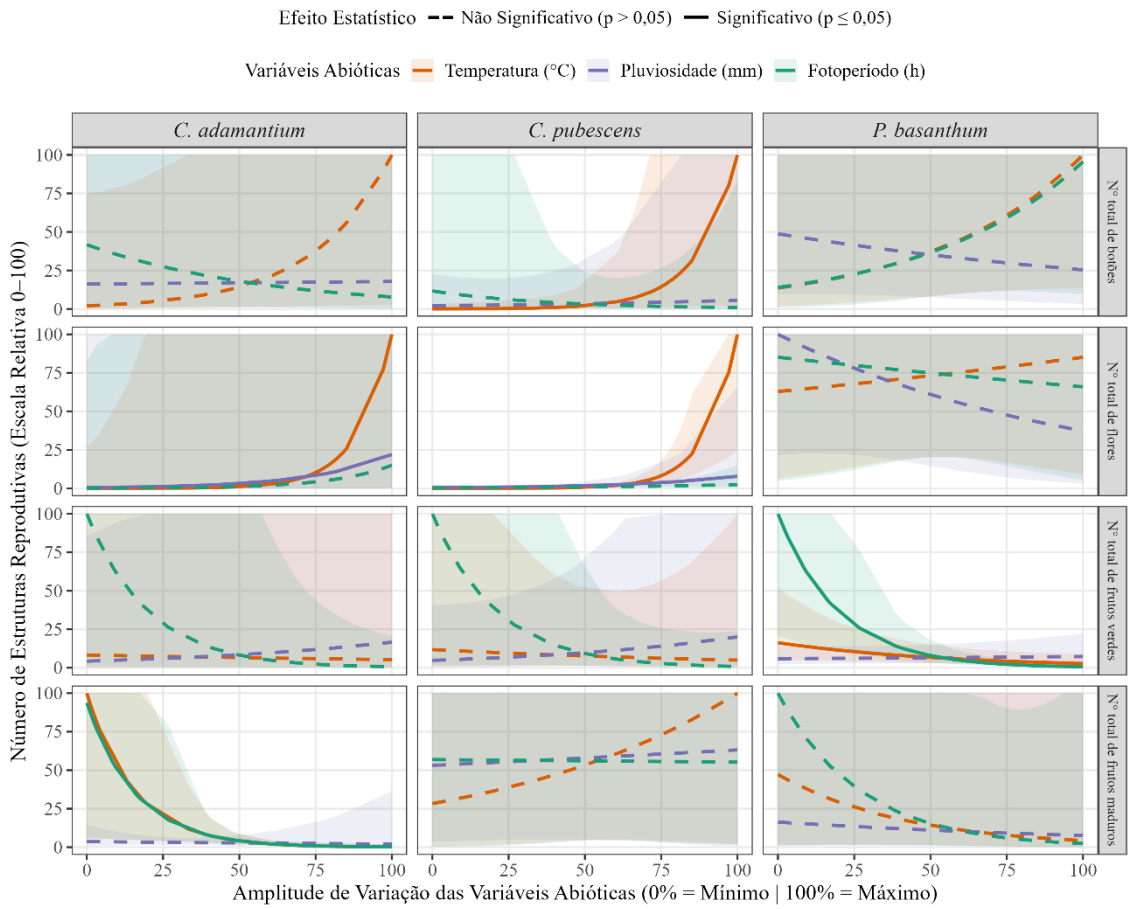


Figura 5: Efeitos parciais preditos (efeitos marginais) das variáveis abióticas (temperatura, pluviosidade e fotoperíodo) sobre o número total de botões, flores, frutos verdes e frutos maduros em três espécies de Myrtaceae. Cada painel corresponde a um modelo estatístico individual (GLM ou GLMM, conforme especificado na Tabela 3). O eixo X representa a amplitude de variação relativa de cada preditor abiótico (0% = valor mínimo observado; 100% = valor máximo observado) dentro de seu respectivo modelo. O eixo Y foi padronizado em uma escala relativa (0–100% do valor máximo de estruturas reprodutivas registradas para cada espécie e fenofase) para permitir a comparação direta da dinâmica de resposta entre espécies com diferentes magnitudes absolutas de produção. Linhas contínuas indicam relações estatisticamente significativas (p ≤ 0,05) e linhas tracejadas indicam relações não significativas (p > 0,05). As áreas sombreadas correspondem aos intervalos de confiança (95%).

4. DISCUSSÃO

4.1 Padrões de floração e fatores climáticos

Embora as duas espécies de *Campomanesia* tenham apresentado padrões de floração semelhantes, com alta sobreposição na maioria dos resultados, os picos de botões e, principalmente, de flores abertas ocorreram em momentos ligeiramente distintos. Estudos anteriores com populações de ambas as espécies mostraram períodos de floração similares, com *C. adamantium* florescendo de setembro a novembro [18, 19, 20] e *C. pubescens* de setembro a outubro [21]. Esse período é marcado por uma alta sazonalidade nas áreas estudadas, coincidindo com o final da estação seca, quando as temperaturas são mais elevadas, e o início das chuvas, condição que favorece o desenvolvimento subsequente dos frutos [18, 20, 21]. A floração no período de transição entre as estações seca e chuvosa é um padrão encontrado também em outros gêneros de Myrtaceae [36, 37].

Essa estreita relação com a sazonalidade é corroborada pelos nossos resultados, uma vez que a floração das duas espécies de *Campomanesia* foi influenciada predominantemente pelo aumento da temperatura, cuja única exceção foi o número total de botões em *C. adamantium*. Em contraste,

a pluviosidade teve um efeito apenas sobre o número total de flores nas duas espécies de *Campomanesia*. O aumento da temperatura associado ao final da estação seca atua na quebra de dormência das gemas florais. Esse processo é mediado pela alteração do balanço hormonal interno, caracterizado pela redução nos níveis de ácido abscísico (indutor de dormência) em paralelo ao aumento na síntese de giberelinas e citocininas, fatores que estimulam de forma integrada a divisão, diferenciação e expansão celular necessárias para o desenvolvimento das flores [38]. Já o fotoperíodo não exerceu influência significativa sobre a floração de ambas as espécies de *Campomanesia*, sugerindo que as mudanças na duração da luz do dia não atuam como gatilho para o início da floração nesses táxons. Outro estudo que avaliou a fenologia de *C. adamantium* por dois anos demonstrou que a temperatura, a pluviosidade e a umidade relativa do ar não tiveram relação com a intensidade de floração [19]. Tais divergências entre estudos com a mesma espécie (e.g., ausência ou presença de efeito da temperatura e da pluviosidade na floração de *C. adamantium*) reforçam a importância de se investigar diferentes populações em contextos geográficos distintos. Até o momento, não foram encontrados estudos que avaliassem a relação das variáveis climáticas com a intensidade de floração em *C. pubescens*. Todavia, estudos fenológicos envolvendo essa espécie sugerem que o desenvolvimento da floração está associado à variação da temperatura e da pluviosidade [21], embora tal relação não tenha sido testada formalmente até o presente estudo. A influência da temperatura, da pluviosidade, do fotoperíodo e de outros fatores climáticos sobre o desenvolvimento de botões e flores também foi observada em outros gêneros de Myrtaceae [36, 39, 40].

Em contraste com as espécies de *Campomanesia*, *P. basanthum* apresenta um padrão de floração bimodal, com uma grande porcentagem de indivíduos com formação de muitos botões ou flores entre final de setembro e outubro, coincidindo com as duas *Campomanesia*, e um segundo pico, de menor intensidade, indo de abril a junho. Esse comportamento bimodal assemelha-se ao observado em *P. cattleyanum* Sabine, que floresce de novembro a janeiro e, posteriormente, de março a maio [15]. No entanto, o padrão de floração pode variar temporal e espacialmente dentro de uma mesma espécie, visto que outro estudo de dois anos com *P. cattleyanum* registrou apenas um evento anual de floração por ano (outubro a dezembro) [17], padrão também relatado para *P. brownianum* Mart. ex DC. [37]. No presente estudo, a floração de *P. basanthum* não foi influenciada por nenhuma das variáveis climáticas testadas. Essa ausência de efeito aproxima-se dos achados para *P. cattleyanum*, em que a intensidade da floração também não esteve relacionada à temperatura, pluviosidade ou fotoperíodo [17]. Por outro lado, contrasta com *P. brownianum*, cuja floração foi influenciada pelo fotoperíodo [37]. As semelhanças na baixa sensibilidade ao clima entre espécies do mesmo gênero, como *P. basanthum* e *P. cattleyanum*, reforçam que o gênero *Psidium* parece manter um padrão de floração pouco dependente das oscilações climáticas locais. Dessa forma, a emissão de botões e flores em *P. basanthum* pode, dentre outros fatores, responder ao tempo necessário para a recuperação de recursos da planta ou a pressões seletivas ligadas à atração de polinizadores [41], embora tais aspectos ainda precisem ser testados.

4.2 Padrões de frutificação e fatores climáticos

O desenvolvimento dos frutos das três espécies intensificou-se no início da estação chuvosa (outubro-novembro), padrão já demonstrado para outras Myrtaceae, como *Psidium cattleyanum* [17], *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O.Berg [11] e *Myrcia guianensis* (Aubl.) DC. [36]. Os resultados estatísticos, no entanto, indicam que a pluviosidade não atuou como fator determinante na atividade e na intensidade da frutificação; em vez disso, essa fenofase foi regida pela temperatura e pelo fotoperíodo, que exerceram efeitos significativos e negativos em *C. adamantium* e *P. basanthum*, ao passo que *C. pubescens* não apresentou resposta às variáveis climáticas testadas. A influência da temperatura e do fotoperíodo operou de forma distinta entre as fases de frutificação: em *C. adamantium*, ambas as variáveis relacionaram predominantemente com a fase de maturação (frutos maduros), enquanto em *P. basanthum* a influência concentrou-se na fase inicial de formação (frutos verdes). O efeito negativo dessas variáveis indica que a produção e o amadurecimento dos frutos em *C. adamantium* e *P. basanthum* progridem à medida que a temperatura e o comprimento dos dias diminuem, funcionando como um sinalizador sazonal preciso para o sincronismo reprodutivo. A relação entre fatores climáticos

e o desenvolvimento dos frutos (verdes e maduros) também foi relatada anteriormente para *C. adamantium* e outras espécies de *Psidium* [17, 19, 42]. Nesse contexto, enquanto a estação chuvosa fornece o suporte hídrico indispensável para o desenvolvimento dos frutos carnosos e a atratividade da fauna zoocórica no Cerrado [43-45], o controle mediado pela temperatura e pelo fotoperíodo atua como o mecanismo de ajuste fino em algumas espécies. Embora a sensibilidade à dessecação não esteja documentada para todas as espécies avaliadas, muitas Myrtaceae possuem sementes recalcitrantes [46], como é o caso de *C. adamantium* [47]. Desse modo, o controle mediado pela temperatura e pelo fotoperíodo assegura uma sincronização estrita com o clima, garantindo que a dispersão das sementes ocorra no auge das chuvas para permitir a germinação imediata e evitar a perda da viabilidade das sementes antes da próxima estação seca.

Embora as espécies tenham começado a frutificar no mesmo período, o amadurecimento dos frutos de *P. basanthum* ocorreu posteriormente, reduzindo o nível de sobreposição com as duas espécies de *Campomanesia*. A diferença no tempo de desenvolvimento e maturação dos frutos entre as espécies pode estar relacionada com o tamanho dos frutos e à energia necessária para seu desenvolvimento [23, 24, 48]. Frutos de maiores dimensões, como os de *Psidium*, exigem um período estendido de desenvolvimento para o investimento metabólico e acúmulo contínuo de matéria seca e fotoassimilados até a maturação completa [49]. Diferenças no tempo de maturação, relacionado ao tamanho do fruto ou da semente, já foram observadas em outros estudos [23, 24, 48]. O fato de *P. basanthum* ter o pico de frutos maduros (janeiro) em momento diferente das espécies de *Campomanesia* (novembro-dezembro) pode garantir alimento de forma mais contínua para diversos animais, o que contribui para a permanência desses dispersores no local por mais tempo [50].

4.3 Sobreposição fenológica e implicações ecológicas

As três espécies apresentaram uma sobreposição significativamente maior do que o esperado ao acaso para a porcentagem de indivíduos em botões florais e flores abertas, evidenciando expressiva sincronia interespecífica na atividade de floração. Esse resultado reflete um forte componente filogenético, uma vez que a época de floração é uma característica funcional conservada em muitas Myrtaceae neotropicais [15, 23]. Do ponto de vista ecológico, a elevada sobreposição na floração entre espécies pode potencializar a atração de polinizadores, especialmente abelhas, cuja atividade é favorecida pelo ganho na termorregulação em temperaturas mais elevadas [51]. Por outro lado, ao analisar a sobreposição quanto ao número total de botões ou flores, observou-se uma sobreposição maior do que o esperado ao acaso apenas para a emissão de botões florais entre as espécies congenéricas de *Campomanesia* e entre *C. adamantium* e *P. basanthum*. Isso indica que, embora muitos indivíduos das três espécies floresçam simultaneamente, existe uma segregação temporal da produção de flores (picos de intensidade distintos). Essa segregação temporal na oferta de recursos florais possivelmente reduz a competição por polinizadores, garantindo a eficiência reprodutiva das espécies em simpatria.

A sobreposição da fenofase de frutos verdes foi significativamente maior do que o esperado ao acaso para todas as combinações de espécies, tanto para a porcentagem de indivíduos quanto para o número total de frutos. No entanto, para frutos maduros, esse nível de sobreposição foi superior ao acaso apenas entre as duas espécies de *Campomanesia*. Espécies zoocóricas com alta sincronia interespecífica na maturação dos frutos, como observado nas *Campomanesia*, podem aumentar a disponibilidade de recursos e atrair mais frugívoros, facilitando a dispersão [52], embora tal padrão também possa gerar competição [53]. A elevada sobreposição fenológica entre espécies congêneres sugere que a proximidade filogenética exerce forte influência na época de frutificação [23]. Contudo, como demonstrado por este e outros estudos com Myrtaceae [15, 54], fatores abióticos também são determinantes no desenvolvimento dos frutos. A menor sobreposição de frutos maduros entre *P. basanthum* e as espécies de *Campomanesia* pode estar relacionada ao maior tempo de maturação exigido pelos frutos de *P. basanthum*, que são relativamente maiores, apesar de o início da formação dos frutos verdes coincidir entre as três espécies.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo permitiu caracterizar a dinâmica fenológica reprodutiva de três espécies cultivadas de Myrtaceae. As expectativas iniciais foram parcialmente confirmadas. De fato, houve alta sobreposição fenológica, especialmente entre as duas espécies de *Campomanesia*, que concentraram suas atividades de floração e frutificação na transição entre as estações seca e chuvosa. Esse padrão síncrono sugere que a proximidade filogenética atua como um forte determinante do ritmo biológico nesses táxons, embora a ocorrência dos picos de floração em momentos ligeiramente distintos possa indicar mecanismos sutis para reduzir a competição por polinizadores. Dada a acentuada sobreposição reprodutiva, estudos futuros tornam-se necessários para testar a existência de competição por polinizadores e dispersores na área. Além disso, torna-se evidente a necessidade de monitoramentos fenológicos contínuos de longo prazo, idealmente cobrindo três ou mais anos consecutivos, para mitigar os efeitos de variações interanuais atípicas e detectar com maior precisão a estabilidade fenológica dessas populações. Quanto aos fatores abióticos, o aumento da pluviosidade e, principalmente, da temperatura atuaram como gatilhos para a floração nas espécies de *Campomanesia*, enquanto a redução da temperatura e do fotoperíodo atuaram como determinantes para a frutificação de *C. adamantium* e *P. basanthum*, evidenciando um controle climático espécie-específico e fase-dependente. Tais relações evidenciam a sensibilidade das plantas às variações climáticas locais, sugerindo que alterações nos regimes de temperatura e na estabilidade climática regional causadas pelas mudanças globais podem desestabilizar a oferta de recursos e as interações planta-animal. No entanto, a capacidade explicativa dos modelos variou de acordo com a espécie e a fenofase (1,0% a 27,2% de deviance explicada), demonstrando que, embora as variáveis analisadas exerçam papel modulador essencial, a dinâmica reprodutiva também pode ser influenciada por outros fatores, como processos fisiológicos, interações bióticas ou variáveis microclimáticas não mensuradas.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa PIBIC-AF fornecida para D. R. da Silva. Esta pesquisa foi apoiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) através do PELD-CEMA (Processo n.º 2021/10267000959) e do Programa de Financiamento à Pesquisa Científica e Tecnológica (Processo n.º 2025/10267000580).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lieth H. Phenology and seasonality modeling. New York (NY): Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1974.
2. Pires JP, Marino NA, Silva AG, Rodrigues PJ, Freitas L. Tree community phenodynamics and its relationship with climatic conditions in a lowland tropical rainforest. Forests. 2018;9(3):114. doi: 10.3390/f9030114
3. Campelo MF, Lameira AO, Moreira RKVPP, Ramires ACS. Reproductive phenology of *Carapichea ipecauanha* (Brot.) L. Andersson and its correlation with average air temperature and rainfall. Res Soc Dev. 2021;10(5):e7610514625. doi: 10.33448/rsd-v10i5.14625
4. Cortés-Flores J, Cornejo-Tenorio G, Urrea-Galeano LA, Andresen E, Gonzaléz-Rodrígues A, Ibarra-Manríquez G. Phylogeny, fruit traits, and ecological correlates of fruiting phenology in a Neotropical dry forest. Oecologia. 2019;189:159-69. doi: 10.1007/s00442-018-4295-z
5. Morellato LPC, Alberton B, Alvarado ST, Borges B, Buisson E, Camargo MGG, et al. Linking plant phenology to conservation biology. Biol Conserv. 2016 Mar;195:60-72. doi: 10.1016/j.biocon.2015.12.033
6. Aide TM. Dry Season leaf production: An escape from herbivory. Biotropica. 1992 Dec;24(4):532-7. doi: 10.2307/2389016
7. de Castro ER, Côrtes MC, Navarro L, Galetti M, Morellato LPC. Temporal variation in the abundance of two species of thrushes in relation to fruiting phenology in the Atlantic rainforest. Emu. 2012;112(2):137-48. doi: 10.1071/MU11023

8. Wilson PG. Myrtaceae. In: Kubitzki K, editor. The families and genera of vascular plants, flowering plants - Eudicots Sapindales, Cucurbitales, Myrtaceae. Berlin: Springer Berlin Heidelberg; 2010. p. 212-71.
9. Flora e Funga do Brasil [Internet]. Rio de Janeiro (RJ): Jardim Botânico do Rio de Janeiro; 2026 [citado em 26 jan 2026]. Disponível em: http://floradobrasil.jbrj.gov.br/.
10. Borgiani R, Grombone-Guaratini MT, Vargas BDC, Martins AE, Camargo MGG, Morellato LPC. Floristic composition, pollination and seed-dispersal systems in a target cerrado conservation area. Biota Neotrop. 2022;22(2):e20211318. doi: 10.1590/1676-0611-BN-2021-1318
11. Luz IJ, Kupek RA. Fenologia reprodutiva, biometria do fruto e semente de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg. (Myrtaceae). Estud Biol. 2014;36(88):115-24. doi: 10.7213/estud.biol.36.086.AO12
12. Semensato LR, Vendruscolo EP, Seleguini A, Batista Filho PA, da Silva ECM, da Silva TP. Fenologia, produtividade e qualidade de frutos de jabuticabeiras de diferentes idades das plantas. Iheringia, Sér. Bot. 2020;75:e2020013. doi: 10.21826/2446-82312020v75e2020013
13. Orellana JT, Nascimento JOV, Grilo J, Neves SPS, Miranda LDAPD, Funch LS. Seasonality and the relationships between reproductive and leaf phenophases in Myrtaceae using field and herbarium data. Floresta e Ambient. 2021;28(1):e20200035. doi: 10.1590/2179-8087-FLORAM-2020-0035
14. Talora DC, Morellato PC. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. Braz J Bot. 2000 Mar;23(1):13-26. doi: 10.1590/S0100-84042000000100002
15. Staggemeier VG, Morellato LPC, Galetti M. Fenologia reprodutiva de Myrtaceae em uma ilha continental de Floresta Atlântica. Rev Bras Biocienc. 2007;5(S1):423-5.
16. Falcão MA, Paraluppi ND, Clement CR. Fenologia e produtividade do jambo (*Syzygium malaccensis*) na Amazônia Central. Acta Amazon. 2002;32(1):3-8. doi: 10.1590/1809-43922002321008
17. Bauer D, Müller A, Goetz MNB, Schmitt JL. Fenologia de *Ocotea pulchella, Myrcia brasiliensis* e *Psidium cattleyanum*, em floresta semidecídua do sul do Brasil. Floresta. 2014;44(4):657-68. doi: 10.5380/rf.v44i4.31410
18. Gondim EX, dos Santos Ferreira BH, Reis LK, Guerra A, Abranhão M, Ajalla AC, et al. Growth, flowering and fruiting of *Campomanesia adamantium* (Cambess) O. Berg intercropped with green manure species in Agroforestry Systems. Agroforest Syst. 2021;95:1261-73. doi: 10.1007/s10457-020-00533-2
19. Leão-Araújo ÉF, Souza ERB, Naves RV, Peixoto N. Phenology of *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg in Brazilian Cerrado. Rev Bras Frutic. 2019;41(2):e-121. doi: 10.1590/0100-29452019121
20. Nucci M, Alves-Junior VV. Biologia floral e sistema reprodutivo de *Campomanesia adamantium* (CAMBESS.) O. Berg-Myrtaceae em área de Cerrado no sul do Mato Grosso do sul, Brasil. Interciencia. 2017 Feb;42(2):127-31.
21. Rodrigues SS, Fidalgo AO, Barbedo CJ. Reproductive biology and production of seeds and seedlings of *Campomanesia pubescens* (DC.) O. Berg. J Seed Sci. 2017;39(03):272-9. doi: 10.1590/2317-1545v39n3174807
22. Vieira RF, Camillo J, Coradin L. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro-região centro-oeste. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente; 2018.
23. Staggemeier VG, Diniz-Filho JAF, Zipparro VB, Gressler E, de Castro ER, Mazine F, et al. Clade-specific responses regulate phenological patterns in Neotropical Myrtaceae. Perspect Plant Ecol Evol Syst. 2015;17(6):476-90. doi: 10.1016/j.ppees.2015.07.004
24. Staggemeier VG, Diniz-Filho JAF, Morellato LPC. The shared influence of phylogeny and ecology on the reproductive patterns of Myrteae (Myrtaceae). J Ecol. 2010;98(6):1409-21. doi: 10.1111/j.1365-2745.2010.01717.x
25. Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JDM, Sparovek G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorol Z. 2013;22(6):711-28. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
26. Brasil. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP): Estação Automática de Jataí-GO (A016) [Internet]. Brasília (DF): INMET; 2025 [citado em 15 set 2025]. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/.
27. Zhang J. spaa: SPecies Association Analysis. R package version 0.2.2; 2016. Available from: https://CRAN.R-project.org/package=spaa.
28. R Core Team. R: The R Project for Statistical Computing. Vienna (AT): R Foundation for Statistical Computing; 2026. Available from: https://www.r-project.org/.
29. Gotelli NJ, Graves GR. Null models in ecology. Washington (DC, US): Smithsonian Institution Press; 1996.
30. Brooks ME, Kristensen K, van Benthem KJ, Magnusson A, Berg CW, Nielsen A, et al. glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated generalized linear mixed modeling. The R Journal. 2017;9(2):378-400. doi: 10.32614/RJ-2017-066
31. Hartig F. DHARMa: Residual diagnostics for hierarchical (multi-level / mixed) regression models. R package version 0.4.6; 2022. Available from: https://CRAN.R-project.org/package=DHARMa.

32. Lüdecke D, Ben-Shakhar MS, Patil I, Waggoner P, Makowski D. performance: An R package for assessment, comparison and testing of statistical models. J Open Source Softw. 2021;6(60):3139. doi: 10.21105/joss.03139
33. Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, Saveliev AA, Smith GM. Mixed effects models and extensions in ecology with R. New York (US): Springer; 2009. doi: 10.1007/978-0-387-87458-6
34. Guisan A, Zimmermann NE. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecol Model. 2000;135(2-3):147-86. doi: 10.1016/S0304-3800(00)00354-9
35. Lüdecke D. ggeffects: Tidy data frames of marginal effects from regression models. J Open Source Softw. 2018;3(26):772. doi: 10.21105/joss.00772
36. Vogado NO, de Camargo MGG, Locosselli GM, Morellato LPC. Edge effects on the phenology of the guamirim, *Myrcia guianensis* (Myrtaceae), a cerrado tree, Brazil. Trop Conserv Sci. 2016;9(1):291-312. doi: 10.1177/194008291600900115
37. Fonseca RBS, Nunes EMB, Costa JSD, Menezes IS, Miranda LDAPD, Borba EL, et al. Myrtaceae flowering strategies in a gallery forest, Chapada Diamantina, Brazil. Rodriguésia, 2024;75:e00042023. doi: 10.1590/2175-7860202475042
38. Sabir IA, Hu X, Khan I, Qin Y. Regulatory mechanisms of bud dormancy: Environmental, hormonal, and genetic perspectives. Int J Mol Sci. 2025;26(6):2517. doi: 10.3390/ijms26062517
39. Bailey T, Reardon-Smith K, Kath J. Phenology responses of Myrtaceae, specifically *Eucalyptus* species, in a variable and changing climate. Austral Ecol. 2025;50(11):e70141. doi: 10.1111/aec.70141
40. dos Santos-Neto A, Farias ABS, Amorim B, Santos JC. Environmental factors, not phylogenetic relationships, drive reproductive phenology of closely related *Myrcia* species (Myrtaceae) in Brazilian coastal forest. Plant Ecol. 2026;227(2):16. doi: 10.1007/s11258-025-01579-x
41. Sakai S. Phenological diversity in tropical forests. Pop Ecol. 2001;43(1):77-86. doi: 10.1007/PL00012018
42. dos Santos MA, Costa AC, Megguer CA, da Silva Lima J, dos Reis Magalhães PAN, Soares MP, et al. Phenology and fruit biometrics in different positions of reproductive branches of *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg. Rev Ciênc Agrár. 2020;43(1):39-51. doi: 10.19084/rca.18153
43. Oliveira PE. Aspectos da reprodução de plantas de cerrado e conservação. Bol Herb Ezechias Paulo Heringer. 1994;1:34-45.
44. Silveira FA, Santos JC, Franceschinelli EV, Morellato LPC, Wilson Fernandes G. Costs and benefits of reproducing under unfavorable conditions: an integrated view of ecological and physiological constraints in a cerrado shrub. Plant Ecol. 2015 May;216(7):963-74. doi: 10.1007/s11258-015-0482-8
45. Pilon NAL, Udulutsch RG, Durigan G. Phenological patterns of 111 Cerrado species under cultivation. Hoehnea. 2015;42:425-43. doi: 10.1590/2236-8906-07/2015
46. Baskin CC, Baskin JM. Seed dormancy and germination in Myrtaceae: a palaeohistory, tribe, life cycle and geographical distribution perspective. Seed Sci Res. 2025;35:89-119. doi: 10.1017/S0960258525000066
47. Dresch DM, Scalon SDPQ, Masetto TE, Mussury RM. Storage of *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg seeds: influence of water content and environmental temperature. Am J Plant Sci. 2014;5(17):2555-65. doi: 10.4236/ajps.2014.517269
48. Primack RB. Relationships among flowers, fruits, and seeds. Annu Rev Ecol Syst. 1987;18:409-30.
49. Marcelis LFM. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. J Exp Bot. 1996 Aug;47:1281-91. doi: 10.1093/jxb/47.Special_Issue.1281
50. Morellato LPC, Talora DC, Takahasi A, Bencke CC, Romera EC, Zipparro VB. Phenology of Atlantic rain forest trees: a comparative study. Biotropica. 2000 Dec;32(4b):811-23. doi: 10.1111/j.1744-7429.2000.tb00620.x
51. Kovac H, Stabentheiner A. Thermoregulation of foraging honeybees on flowering plants: seasonal variability and influence of radiative heat gain. Ecol Entomol. 2011 Oct;36(6):686-99. doi: 10.1111/j.1365-2311.2011.01313.x
52. García D, Ortiz-Pulido R. Patterns of resource tracking by avian frugivores at multiple spatial scales: two case studies on discordance among scales. Ecography. 2004;27(2):187-96. doi: 10.1111/j.0906-7590.2004.03751.x
53. Manasse RS, Howe HF. Competition for dispersal agents among tropical trees: influences of neighbors. Oecologia 1983 Sep;59(2):185-90. doi: 10.1007/BF00378836
54. Ferreira GAC, Barnett APA, Krug C. Phenology and fruit set comparison of camu-camu (*Myrciaria dubia*) in a natural population and a plantation in the central Amazon, Brazil. Acta Amaz. 2021;51(2):91-101. doi: 10.1590/1809-4392202000581