



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE BIOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA  
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Márjori Thays da Silva

**FENOLOGIA REPRODUTIVA DE *Cereus jamacaru* DC. (CACTACEAE)  
UTILIZANDO DADOS DE HERBÁRIOS E A CORRELAÇÃO COM AS VARIÁVEIS  
CLIMÁTICAS**

Recife

2023

Márjori Thays da Silva

**FENOLOGIA REPRODUTIVA DE *Cereus jamacaru* DC. (CACTACEAE)  
UTILIZANDO DADOS DE HERBÁRIOS E A CORRELAÇÃO COM AS VARIÁVEIS  
CLIMÁTICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado à Coordenação do Curso de  
Bacharelado em Ciências Biológicas da  
Universidade Federal de Pernambuco -  
UFPE, como requisito parcial à obtenção  
do título em Bacharel em Ciências  
Biológicas

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Isabel Cristina Sobreira Machado

Coorientador: Dr. Sinzinando Albuquerque de Lima

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Márjori Thays da.

Fenologia reprodutiva de *Cereus jamacaru* DC. (Cactaceae) utilizando dados de herbários e a correlação com as variáveis climáticas / Márjori Thays da Silva. - Recife, 2023.

59 p. : il., tab.

Orientador(a): Isabel Cristina Sobreira Machado

Cooorientador(a): Sinzinando Albuquerque de Lima

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas - Bacharelado, 2023.

1. Cactaceae. 2. Exsicata. 3. Floração. 4. Frutificação. 5. Mudanças climáticas.  
I. Sobreira Machado, Isabel Cristina . (Orientação). II. Albuquerque de Lima, Sinzinando . (Coorientação). III. Título.

580 CDD (22.ed.)

**Márjori Thays da Silva**

**FENOLOGIA REPRODUTIVA DE *Cereus jamacaru* DC. (CACTACEAE)  
UTILIZANDO DADOS DE HERBÁRIOS E A CORRELAÇÃO COM AS VARIÁVEIS  
CLIMÁTICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do curso de Bacharelado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título em Bacharel em Ciências Biológicas.

Aprovada em: 11/04/2023

Nota: \_\_\_\_\_

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Dr<sup>a</sup>. Isabel Cristina Sobreira Machado/UFPE

---

Dr<sup>a</sup>. Tarcila Correia de Lima Nadia/UFPE

---

Me. Aleksandro Bezerra da Silva/UEFS

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, principalmente a minha mãe por todo o esforço feito para que eu chegasse até aqui e por sempre acreditarem no meu potencial.

Aos meus irmãos, em especial a minha irmã, Kaline Driele da Silva, por todo o apoio e amizade. Por cada incentivo e conselho que me deu e acima de tudo por sempre estar do meu lado, me dando apoio emocional e psicológico.

A minha orientadora, Dr<sup>a</sup>. Isabel Cristina Machado por ter me dado a oportunidade de começar a minha jornada na ciência e no mundo das flores. Por toda paciência, apoio e sugestões que foram sempre pertinentes e valiosas, e que me permitiram aprimorar meu trabalho.

Ao meu coorientador, Dr. Sinzinando Albuquerque-Lima por sua disposição em compartilhar comigo seu conhecimento, por toda a ajuda e orientação que me proporcionou. Por toda dedicação, paciência e sobretudo sua amizade.

A todos os membros do Laboratório Polinizar que diretamente ou indiretamente me ajudaram nessa caminhada.

A todos os amigos incríveis que fiz e que me apoiaram e me ajudaram durante toda a graduação. Por todos os momentos e risadas que compartilhamos e que tornaram minha vida acadêmica mais leve.

Aos meus melhores amigos e ouvintes, Almir, Bruna e Pedro por toda amizade e sempre estarem ao meu lado me apoiando. Por toda paciência e companheirismo em meus piores e melhores momentos, muito obrigada por estarem na minha vida.

Ao programa de Iniciação Científica da Propesqi e pelo financiamento do CNPq ao meu projeto de pesquisa.

Por fim, agradeço a mim mesma por toda resiliência e por correr atrás dos meus sonhos e objetivos durante a graduação mesmo parecendo não ser para mim. Agradeço a pessoa que fui no começo do curso por ter saído da zona de conforto e me feito chegar onde estou hoje, por não ter nenhum arrependimento acadêmico, por saber que fiz tudo ao meu alcance.

“Um passo à frente e você não está mais no mesmo lugar”.  
(Chico Science)

## RESUMO

A floração e a frutificação são dois dos indicadores para averiguar as respostas das plantas às mudanças climáticas e a coleta desses dados fenológicos pode ser feita através de informações contidas em fichas de herbários. O “Mandacaru” (*Cereus jamacaru* DC.) é uma Cactaceae muito conhecida entre os brasileiros, no entanto existem poucos estudos sobre os fatores determinantes da fenologia reprodutiva dessa espécie, como a relação com as variáveis climáticas. Assim, o objetivo deste trabalho foi investigar se a fenologia reprodutiva da espécie é regulada por variáveis climáticas, usando espécimes depositados em herbários. A coleta de dados fenológicos e geográficos foi feita através dos herbários virtuais SpeciesLink e Reflora que compreenderam registros de 1930-2021. Dados referentes à precipitação, temperatura média, máxima e mínima mensal foram extraídos a partir do *Climate Change Knowledge Portal*. Para analisar a sazonalidade dos registros, foi utilizada a análise circular através do software Oriana v. 4.02 juntamente com o teste de Rayleigh. Para as análises de correlação do clima com a fenologia foram usados testes de correlações gerais através dos pacotes GGally e ggplot2 do RStudio v4.2.2 e o teste de correlação de Pearson para testar as correlações individualmente. A distribuição geográfica dos dados fenológicos aponta predominância dessas coletas na região da Caatinga, principalmente nos estados de Pernambuco e da Paraíba. Os resultados sobre a fenologia reprodutiva indicam que existe uma sazonalidade nos registros da floração e frutificação. As correlações com as variáveis climáticas apontaram que ambas as fenofases reprodutivas tiveram correlação com a precipitação ao longo dos meses e também tiveram correlações com a temperatura. A floração apresentou correlação com a temperatura máxima ao longo dos meses e com a temperatura média e máxima ao longo dos anos, enquanto a frutificação mostrou correlação com a temperatura média e mínima ao longo dos meses. Este trabalho contribuiu para o conhecimento da correlação entre a fenologia reprodutiva de *C. jamacaru* e as condições climáticas, utilizando dados de herbários.

**Palavras-chave:** Cactaceae; Exsicata, Floração; Frutificação; Mudanças climáticas; Sazonalidade.

## ABSTRACT

Flowering and fruiting are two of the indicators to assess plant responses to climate change and the collection of these phenological data can be accessed through information contained in herbarium data. The “Mandacaru” (*Cereus jamacaru* DC.) is a very well-known Cactaceae among Brazilians, however there are few studies regarding the determinant factors of reproductive phenology such as the relationship with climate variables. Thus, the objective of this work was to investigate whether the reproductive phenology of the species is regulated by climatic variables, using specimens deposited in herbaria. The collection of phenological and geographic data was done through the SpeciesLink and Re flora virtual herbaria that comprise records from 1930-2021. Data referring to precipitation, average temperature, maximum and minimum monthly were extracted from the *Climate Change Knowledge Portal*. A circular analysis using the Oriana v. 4.02 program along with the Rayleigh test were used to analyze the seasonality of the records. For the analyzes of climate variables and the correlation with the reproductive phenology, general correlation tests were made through the GGally and ggplot2 packages of RStudio v4.2.2 and the Pearson test in order to test the correlations individually. The geographic distribution of the phenological data indicates a predominance of these collections in the Caatinga region, mainly in Pernambuco and Paraíba state. The results on the reproductive phenology indicate that there is a seasonality in the records of flowering and fruiting. The correlations with the climatic variables showed that both reproductive phenophases were correlated with precipitation over the months and also correlated with temperature. The flowering phenophase shows correlation with the maximum temperature over the months and correlation with the average and maximum temperature over the years. Regarding the fruiting phenophase correlations, there was a correlation with the average and minimum temperatures over the months. This work contributed to the knowledge of the correlation between the reproductive phenology of *C. jamacaru* and the climatic conditions, using herbarium data.

**Keywords:** Cactaceae; Climate change; Exsiccate: Flowering; Fruiting; Seasonality.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Exemplo de uma exsicata de *Cereus jamacaru* registrada no Reflora. 19
- Figura 2 – Traços reprodutivos analisados na fenologia de *Cereus jamacaru*. A - Indivíduo de *Cereus jamacaru* (Cactaceae); B - Detalhe de flores na cor branca; C - Detalhe do fruto vermelho. 23
- Figura 3 – Fluxograma das filtragens utilizadas na seleção dos dados fenológicos de *Cereus jamacaru*. 25
- Figura 4 – Mapa de distribuição geográfica das principais coletas da fenologia reprodutiva de *Cereus jamacaru* de acordo com registros do SpeciesLink e Reflora entre o período de 1930-2021. 28
- Figura 5 – Principais herbários com maior volume de depósitos da fenologia reprodutiva de *Cereus jamacaru* entre o período de 1930 - 2021 no SpeciesLink e Reflora. 30
- Figura 6 – Registros gerais da fenologia reprodutiva de *Cereus jamacaru* ao longo dos meses nos diferentes locais de ocorrência entre o período de 1930 - 2021 no SpeciesLink e Reflora. 31
- Figura 7 – Distribuição circular dos registros da fenologia reprodutiva de *C. jamacaru* ao longo dos meses nos diferentes locais de ocorrência no SpeciesLink e Reflora durante o período de 1930 - 2021 entre os três intervalos de tempo: Intervalo I - 1930-2000; Intervalo II - 2001-2011; Intervalo III - 2012-2021. 32
- Figura 8 – Correlações entre os registros da fenofase de floração de *Cereus jamacaru* e as variáveis climáticas. A - Correlação entre a floração ao longo dos meses com a precipitação; B - Correlação entre a floração ao longo dos meses com a temperatura máxima; C - Correlação entre a floração ao longo dos anos com a temperatura média; D - Correlação entre a floração ao longo dos anos com a temperatura máxima. 36
- Figura 9 – Correlações entre os registros da fenofase de floração de *Cereus jamacaru* e as variáveis climáticas de um mês anterior aos registros feitos. A - Correlação entre a floração ao longo dos meses com a precipitação de dados do mês anterior à coleta; B - Correlação entre a floração ao longo 38

dos anos com a temperatura média de dados do mês anterior à coleta.

Figura 10 – Correlações entre os registros da fenofase de frutificação de *Cereus jamacaru* e as variáveis climáticas. A - Correlação entre a frutificação ao longo dos meses com a temperatura média; B - Correlação entre a frutificação ao longo dos meses com a temperatura mínima; C - Correlação entre a frutificação ao longo dos meses com a precipitação. 40

Figura 11 – Correlações entre os registros da fenofase de frutificação de *Cereus jamacaru* e as variáveis climáticas de um mês anterior aos registros feitos. A - Correlação entre a frutificação ao longo dos meses com a temperatura média de dados do mês anterior à coleta; B - Correlação entre a frutificação ao longo dos meses com a precipitação de dados do mês anterior à coleta. 42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Alguns estudos sobre fenologia reprodutiva e correlação de variáveis climáticas em Cactaceae.	18
Tabela 2 –	Resultado dos números e porcentagem de coletas da fenologia reprodutiva de <i>Cereus jamacaru</i> por estado do Brasil de acordo com registros do SpeciesLink e Re flora entre o período de 1930-2021.	29
Tabela 3 –	Resultados da análise circular com o teste de Rayleigh para a ocorrência de sazonalidade na floração e frutificação de <i>Cereus jamacaru</i> no período de tempo total e durante os três intervalos de tempo: Intervalo I - 1930-2000; Intervalo II - 2001-2011; Intervalo III - 2012-2021.	33
Tabela 4 –	Resultados das análises de testes de correlações gerais entre a fenologia reprodutiva de <i>Cereus jamacaru</i> e as variáveis climáticas.	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>15</b>
2.1	FENOLOGIA E CLIMA	15
2.2	FAMÍLIA CACTACEAE	17
<b>2.2.1</b>	<b>Fenologia de Cactaceae e variáveis climáticas</b>	<b>17</b>
2.3	REGISTROS DE HERBÁRIOS E FENOLOGIA	18
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>21</b>
3.1	OBJETIVO GERAL	21
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>22</b>
4.1	ESPÉCIE ESTUDADA	22
4.2	DADOS FENOLÓGICOS E GEOGRÁFICOS	23
4.3	DADOS CLIMATOLÓGICOS	26
4.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	26
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>28</b>
5.1	DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS REGISTROS	28
5.2	FENOLOGIA REPRODUTIVA E SAZONALIDADE	29
5.3	RELAÇÃO FENOLOGIA E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	33
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b>	<b>42</b>
6.1	DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA	42
6.2	SAZONALIDADE FENOLÓGICA	43
6.3	RELAÇÃO FENOLOGIA E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	44
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos eventos naturais abordados pela biologia em geral e que pode ser aplicado à biologia vegetal é a fenologia, termo que em grego significa *phainomai* (aparecer), ramo da ciência que estuda os fenômenos biológicos cíclicos ao longo do tempo, associado às passagens das estações (FENNER, 1998; FORREST & MILLER-RUSHING, 2010). Em regiões tropicais, as estações são marcadas frequentemente pela ocorrência de variação na precipitação, com eventos no ciclo de vida da planta acontecendo em resposta à disponibilidade de água (FENNER, 1998; CUEVAS *et al.*, 2013; ESQUIVEL-MUELBERT *et al.*, 2017). Esse fator abiótico é considerado o mais importante para o controle de disponibilidade de recursos nessas regiões (BORCHERT 1994, 1996; FENNER, 1998). Além disso, o recurso floral em florestas tropicais secas tende a se concentrar no final da estação seca e início da estação chuvosa (MURALI & SUKUMAR 1994; FENNER, 1998; SILVA *et al.*, 2011). Ainda, outro fator que influencia a floração em regiões tropicais é a relação com os polinizadores (ELZINGA *et al.*, 2007; CORTÉS-FLORES *et al.*, 2017). Bem como, a relação mutualista da planta com o agente dispersor também pode influenciar na produção de frutos (FENNER, 1998; CORTES-FLORES *et al.*, 2019).

Os estudos de fenologia em plantas podem levar em consideração os ciclos vegetativos, relacionados à emissão e queda de folhas, como também os reprodutivos, incluindo o florescimento e a frutificação (FENNER, 1998; WILLIS *et al.*, 2017a). O período floral dentro da fenologia consiste em estudar desde a formação dos botões florais até a senescência das flores do indivíduo e em estudos fenológicos, é importante reportar o início dessa fenofase, a maior incidência de emissão, chamado de pico de floração, bem como sua ausência, já que estas observações são importantes para identificar e descrever os padrões fenológicos da floração (GENTRY, 1974; NEWSTROM *et al.*, 1994; RECH *et al.*, 2014). Diferentemente dos conhecidos domínios fitogeográficos da Amazônia e Mata Atlântica, na Caatinga as plantas desenvolveram adaptações singulares para ocupar um ambiente adverso, imposto por chuvas irregulares e secas estendidas (SILVA *et al.*, 2017). Essas plantas respondem eficientemente aos mínimos níveis de precipitação (300-1000 mm/ ano) e esta resposta é exteriorizada por picos de emissão de folhas (MACHADO *et al.*, 1997) que acontece no início da curta estação

chuvosa que normalmente são coordenadas e sincronizadas com a floração (QUIRINO & MACHADO, 2014; SILVA *et al.*, 2017). Em um estudo realizado em uma área de transição desses domínios fitogeográficos, a precipitação sazonal foi apontada como importante fator para as características vegetativas, sinalizando o papel importante da água para as plantas nessas áreas (TERRA *et al.*, 2018).

A coleta dos dados fenológicos tradicionalmente tem requerido observações de campo a longo prazo que são difíceis de abranger as informações sobre fenologia, de forma que registrem uma maior quantidade de espécies (NADIA *et al.*, 2012; WOLKOVICH *et al.*, 2014; TANG *et al.*, 2016; WILLIS *et al.*, 2017a). Porém uma importante ferramenta que vem sendo utilizada particularmente nos últimos anos para estudos fenológicos são as informações presentes nas coleções dos herbários (BORCHERT 1996; MENGISU 2022; PARK 2019, 2023). Os espécimes depositados no herbário são cada vez mais reconhecidos e valorizados como uma fonte confiável para estimar o comportamento de diversas espécies de plantas, bem como, esses espécimes representam eventos fenológicos instantâneos e têm sido usados de forma confiável para caracterizar as respostas fenológicas ao clima (DAVIS *et al.*, 2015; WILLIS *et al.*, 2017a, b). Os dados de herbário digitalizados são muito importantes nesses estudos, pois podem expandir os dados disponíveis para avaliar de forma mais abrangente as respostas fenológicas ao clima e às mudanças climáticas nos trópicos (PARK *et al.*, 2023).

Alguns estudos sobre a relação da fenologia reprodutiva e as variáveis climáticas foram feitos com a família Cactaceae, porém esses trabalhos foram conduzidos através de observação de campo e em um curto período de tempo (QUIRINO, 2006; ROCHA, 2007; FONSECA *et al.*, 2008; MUNGUÍA-ROSAS & SOSA, 2010; ROJAS-SANDOVAL & MELÉNDEZ-ACKERMAN, 2011; GOMES *et al.*, 2014, 2019; COSTA *et al.*, 2020). Esses estudos são importantes na família, visto que espécies de Cactaceae são apontadas tendo os padrões fenológicos reprodutivos afetados em sua maioria por variações na precipitação e temperatura (QUIRINO, 2006; GOMES *et al.*, 2014, 2017).

Nenhum estudo, porém, usou dados de herbários abrangendo um período grande de tempo, de forma a possibilitar relacionar a fenologia com as variáveis climáticas na família. As coleções botânicas depositadas em herbários podem expandir os estudos da fenologia associados com o clima e ajudam a entender como as espécies responderão às mudanças climáticas recentes, bem como a importância

das variáveis climáticas nas fenofases (DAVIS *et al.*, 2013, 2015). Esses dados de herbários possuem mais amostras em diferentes fitofisionomias e, no Brasil, especialmente as formações vegetacionais da Caatinga, do Cerrado e da Mata Atlântica (DAVIS *et al.*, 2022; PARK *et al.*, 2023).

Neste cenário, nenhum estudo em *Cereus jamacaru* fez uso dessa ferramenta para análises da fenologia e clima, assim, este estudo pretende investigar utilizando dados de herbários a relação da condição climática e a fenologia reprodutiva de *C. jamacaru* DC., uma espécie de Cactaceae conhecida entre os brasileiros (ALBUQUERQUE-LIMA *et al.*, 2023a) que já serviu de inspiração para composições de músicas, sendo sua floração associada ao início da estação chuvosa na Caatinga (LUIZ GONZAGA & ZÉ DANTAS, 1953). Apesar de ser uma espécie com muitos depósitos em herbários e do seu apelo ecológico e cultural, pouco se sabe sobre sua fenologia e ainda menos estudos que expliquem de fato a relação da precipitação e de outras variáveis climáticas com a fenologia reprodutiva de *C. jamacaru*, vulgarmente conhecida como “Mandacaru”.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 FENOLOGIA E CLIMA

A fenologia estuda os eventos biológicos que se repetem no tempo e as causas da sua ocorrência é promovida por fatores bióticos e abióticos e sua relação entre as fases desse evento em uma ou mais espécies (LIETH, 1974, TALORA & MORELLATO, 2000). Dessa forma, a fenologia contribui para o entendimento do sucesso reprodutivo das populações vegetais, visto que o momento que a planta apresenta sua floração, implica em mecanismos como a polinização, que tem uma grande importância ecológica sobre as espécies envolvidas (REICH *et al.*, 2014). A fenologia é um dos melhores indicadores para averiguar as respostas das plantas às mudanças climáticas e prever mudanças futuras nas comunidades vegetais, além disso, as amostras de herbários podem ser aliadas importantes nesses estudos, pois permitem identificar respostas para as variáveis climáticas (HUFFT *et al.*, 2018).

Mudanças climáticas são definidas como alterações recentes nas estatísticas dos padrões climáticos ao longo do tempo, podendo ser de décadas a milhões de anos, e que pode ser uma mudança na média das condições climáticas (REDDY *et al.*, 2012). As mudanças climáticas globais alteram a dinâmica natural dos ecossistemas e afetam diretamente a biodiversidade e distribuição das espécies e os impactos dessas mudanças climáticas podem incluir modificações nas interações bióticas, como a polinização e dispersão de sementes (SILVA *et al.*, 2019). As condições climáticas influenciam nas interações entre planta-animal (GIANNINI *et al.*, 2012; MARON *et al.*, 2014) e essa influência se mostra importante visto que esses animais também influenciam na fenologia reprodutiva das plantas (FENNER, 1998; ELZINGA *et al.*, 2007; CORTÉS-FLORES *et al.*, 2017; CORTES-FLORES *et al.*, 2019).

Um dos efeitos das mudanças climáticas nos serviços de polinização está na produção e disponibilidade de néctar pelas flores, podendo ser afetada pelas variações da temperatura (TAKKIS *et al.*, 2015). Em estudos feitos por Piao *et al.* (2019) foi possível encontrar impactos na dinâmica das comunidades e ecossistemas, como as diferentes respostas fenológicas ao aumento da temperatura entre plantas e animais, que podem resultar em espécies de aves que não se

alimentam do suprimento máximo de alimentos ou causam redução na produção de sementes pelas espécies de plantas. Nesse sentido, vários estudos vêm sugerindo o papel importante da temperatura sobre as fenofases de plantas em vários ecossistemas (ZHOU *et al.*, 2019).

Os registros fenológicos possibilitam que os cientistas examinem tendências do passado e se tornem cautelosos com as previsões sobre o que pode ocorrer nas espécies no futuro e espera-se que as mudanças climáticas afetem os fenômenos sazonais biológicos, como a floração das plantas (KHANDURI *et al.*, 2008; PIAO *et al.*, 2019; FU *et al.*, 2020). Essas mudanças fenológicas de ano para ano podem ser um sensível e fácil indicador observável de mudanças ambientais (KHANDURI *et al.*, 2008). Nos trópicos e ambientes áridos, a variação da precipitação é mais provável de conduzir os padrões fenológicos do que a temperatura (FORREST & MILLER-RUSHING, 2010).

De acordo com os estudos feitos por Silva *et al.* (2017), projeções do clima do futuro indicam desertificação na Caatinga com potencial no impacto da biodiversidade, suprimento de recursos hídricos e outros serviços ecossistêmicos. As espécies de plantas endêmicas da Caatinga são vulneráveis até a mais conservadora projeção futura de mudanças climáticas, e essas mudanças são ainda maiores para as espécies endêmicas com sistemas reprodutivos especializados. Sendo assim, as mudanças climáticas podem afetar interações ecológicas como a polinização e comprometer a manutenção na dinâmica das comunidades de plantas na Caatinga (SILVA *et al.*, 2017).

O aumento da precipitação pode acarretar o adiamento da floração através da redução da temperatura do solo em um ecossistema como a Caatinga (MOORE & LAUENROTH, 2017). Dessa maneira, espera-se que o aumento da precipitação possa ter efeitos na fenologia das plantas (MOORE & LAUENROTH, 2017; ZHOU *et al.*, 2019). Estudos de fenologia feitos na Caatinga indicam que a precipitação é o principal fator que regula as fenofases (MACHADO *et al.*, 1997; BARBOSA *et al.*, 2003; LIMA & MACHADO, 2010). A precipitação controla a fenologia de várias espécies, embora algumas outras espécies iniciem suas fenofases independentemente da incidência da chuva (AMORIM & ARAUJO, 2009; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012). Apesar disso, as respostas fenológicas das espécies de plantas tropicais às mudanças climáticas são pouco estudadas (PARK *et al.*, 2023).

## 2.2 FAMÍLIA CACTACEAE

A família Cactaceae compreende aproximadamente 1500 a 1800 espécies (ANDERSON, 2001; MAJURE, 2012) que são divididas entre 4 subfamílias (HUNT, 2006; BÁRCENAS *et al.*, 2011). A distribuição geográfica é quase exclusivamente no continente americano, tendo o Brasil como terceiro centro de diversidade da família, especificamente o leste do país (TAYLOR, 1997; TAYLOR & ZAPPI, 2004; MENEZES *et al.*, 2011). A maior diversidade e endemismo está concentrada nos estados do Ceará, Piauí, Pernambuco, Sergipe, Bahia, Espírito Santo e Minas Gerais (TAYLOR & ZAPPI, 2004; MENEZES *et al.*, 2011). As Cactaceae estão entre as famílias que mais representam o ambiente de Caatinga, contendo 25 gêneros e 97 espécies (FLORA DO BRASIL, 2023), sendo metade das espécies endêmicas da região (SILVA *et al.*, 2017).

Espécies de Cactaceae são suculentas com diversos hábitos e formas, com folhas geralmente modificadas em espinhos, com flores usualmente bissexuais solitárias (BARTHLOTT, 1993). Os frutos das Cactaceae são em geral carnosos apresentando coloração diversa, incluindo vermelho e possuindo muitas sementes (BARTHLOTT, 1993; TAYLOR & ZAPPI, 2004; SILVA *et al.*, 2017).

### 2.2.1 Fenologia de Cactaceae e variáveis climáticas

Alguns estudos conduzidos em campo foram feitos sobre a fenologia reprodutiva em Cactaceae, os quais foram correlacionados com as variáveis climáticas (Tabela 1). Um dos trabalhos como o de Fonseca *et al.* (2008) estudou a fenologia reprodutiva de *Melocactus*, obtendo resultados variados acerca das fenofases reprodutivas e adicionalmente também estudaram a correlação com as variáveis climáticas. Dentre os estudos sobre a fenologia reprodutiva de Cactaceae, existem resultados apontando sazonalidade nas fenofases de floração e frutificação, tendo correlação com a precipitação (QUIRINO, 2006; ROCHA, 2007; ROJAS-SANDOVAL & MELÉNDEZ-ACKERMAN, 2011; GOMES *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2020), ou tendo correlação com a temperatura (ROJAS-SANDOVAL & MELÉNDEZ-ACKERMAN, 2011; GOMES *et al.*, 2019). Ainda há estudos sobre a relação do clima com a fenofase de floração, como o trabalho de Munguía-Rosas &

Sosa (2010) que correlacionaram a fenofase de floração com a variável climática temperatura e sugerem que a floração de *Pilosocereus leucocephalus* é controlada pela temperatura, com a produção de flores acontecendo na época mais quente do ano. Outro trabalho correlacionou a floração e o brotamento dos botões florais de três espécies simpátricas de Cactaceae com a precipitação e obteve correlação tanto negativa quanto positiva da fenofase com a variável climática (PETIT, 2001).

Tabela 1 – Estudos sobre fenologia reprodutiva e correlação de variáveis climáticas em Cactaceae.

ESPÉCIES	FENOFASE	VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	DOMÍNIO FITOGEOGRÁFICO	FONTE
<i>Melocactus</i>	Floração Frutificação	Temperatura Umidade Precipitação	Caatinga Cerrado	FONSECA <i>et al.</i> , 2008
<i>Pilosocereus leucocephalus</i>	Floração	Temperatura	Floresta tropical seca	MUNGUÍA-ROSAS & SOSA, 2010
<i>Harrisia portoricensis</i>	Floração Frutificação	Temperatura Umidade Precipitação	Floresta subtropical seca	ROJAS-SAND OVAL & MELÉNDEZ-ACKERMAN, 2011
<i>Pilosocereus lanuginosus</i>				
<i>Stenocereus griseus</i>	Floração	Precipitação	Semiárido	PETIT, 2001
<i>Subpilocereus repandus</i>				
<i>Cereus bicolor</i>				
<i>Harrisia balansae</i>	Floração Frutificação	Temperatura Umidade Precipitação	Chaco	GOMES <i>et al.</i> , 2019
<i>Opuntia elata</i>				
<i>Cereus Jamacaru</i>	Floração Frutificação	Precipitação Temperatura	Caatinga	QUIRINO, 2006; ROCHA, 2007; GOMES <i>et al.</i> , 2014; COSTA <i>et al.</i> , 2020

Fonte: A autora (2023).

## 2.3 REGISTROS DE HERBÁRIOS E FENOLOGIA

Os herbários são coleções de plantas provenientes de diversos ecossistemas, devidamente preservados e organizados em exsicatas (Figura 1) (MILLER & NYBERG, 1995; DIAS *et al.*, 2019). Na exsicata de cada acervo estão contidas as informações geográficas de maior abrangência como os Estados da Federação e Biomas de ocorrência, como também, esses vouchers contêm obrigatoriamente a informação sobre o período em que a coleta foi realizada, garantindo também o registro temporal da amostra da planta, necessárias para o desenvolvimento de estudos fenológicos (DIAS *et al.*, 2019).

Figura 1 - Exsicata de *Cereus jamacaru* registrada no Reflora.



Fonte: Reflora - Herbário Virtual. Disponível em:

<https://reflora.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/ConsultaPublicoHVUC/ConsultaPublicoHVUC.do?idTestemunho=5419263> Acessado em 28/01/2023

Os dados de herbários com as informações sobre a fenologia das plantas podem ser utilizados para complementar estudos de campo (BORCHERT 1996) ou para comparar com os resultados em campo que incluem a relação da fenologia com o clima e a sazonalidade (BORCHERT, 1996; MILLER-RUSHING *et al.*, 2006;

DAVIS *et al.*, 2015; PARK *et al.*, 2023). Os dados de herbários, no entanto, possuem uma amostragem geográfica e temporal muito maior do que os dados de campo (BORCHERT, 1996; PARK *et al.*, 2023). Nesse sentido, as informações de herbários sozinhas são capazes de propiciar análises de correlação entre fenologia e variáveis climáticas (MILLER-RUSHING *et al.*, 2006).

Os estudos fenológicos de campo são em geral detalhados em uma única área, enquanto os registros de herbários cobrem uma área maior e permitem uma análise mais ampla na variação na fenologia de várias espécies (BORCHERT, 1996; BOULTER & HOWLETT, 2006; ZALAMEA *et al.*, 2011). No entanto, é preciso precaução ao fazer uso de informações fenológicas existentes em etiquetas de herbários, pois estão sujeitas ao viés do coletor, aqui incluindo a identificação incorreta das espécies (DAVIS *et al.*, 2015; GOODWIN *et al.*, 2015; PARK *et al.*, 2023). Outro viés também inclui a preferência do local de coleta que pode ocorrer por diversos motivos, como maior facilidade de acesso à área (DAVID *et al.*, 2015; WILLIS *et al.*, 2017a; DARU *et al.*, 2018; MENGISU *et al.*, 2022). Nos Neotrópicos, por exemplo, as coletas tendem a se concentrar em locais próximos aos centros de pesquisas (SCHULMAN & RUOKOLAINEN, 2007; ZALAMEA *et al.*, 2011).

De maneira geral, é esperado que todo material de plantas depositado em herbário esteja reprodutivo, ou seja com flores e/ou frutos (PEIXOTO & MAIA, 2013). Os dados de herbários podem ser uma fonte de estudos fenológicos muito rica, inclusive com mais informações do que as observações de campo, podendo ser utilizadas para detectar e quantificar a longo prazo as mudanças fenológicas em resposta à mudança climática (BORCHERT, 1996; MILLER-RUSHING 2006; DAVIS *et al.*, 2015; WILLIS *et al.*, 2017a). As coleções botânicas depositadas em herbários também se mostraram úteis em estudos relacionados à fenologia de plantas tropicais, principalmente no Brasil, as quais apontam a existência de uma grande variação nas fenofases (DAVIS *et al.*, 2022; PARK *et al.*, 2023).

Até o momento, os registros dos espécimes foram usados para estimar o início de várias fenofases, entre elas: a primeira floração, pico da floração e frutificação (PRIMACK *et al.*, 2004; WILLIS *et al.*, 2017a). Segundo Willis *et al.* (2017a), a maioria dos estudos que utilizou dados de herbários focou em uma única fase fenológica, sendo ela a fenofase de floração e sua relação com as mudanças climáticas, sendo assim são poucos os estudos que envolvem frutificação.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Investigar através de dados de herbários se a floração e frutificação de *Cereus jamacaru* é influenciada pela precipitação e/ou temperatura.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar os padrões de distribuição dos registros fenológicos reprodutivos de *C. jamacaru* ao longo dos meses, entre 1930-2021, a partir das exsicatas depositadas no SpeciesLink e no Re flora.
- Investigar se existe sazonalidade na fenologia reprodutiva de *C. jamacaru* ao longo dos meses entre 1930-2021 registrados no SpeciesLink e no Re flora.
- Correlacionar as variáveis climáticas: precipitação, temperatura média, mínima e máxima com a fenologia reprodutiva de *C. jamacaru* registrados nos herbários virtuais do SpeciesLink e do Re flora.

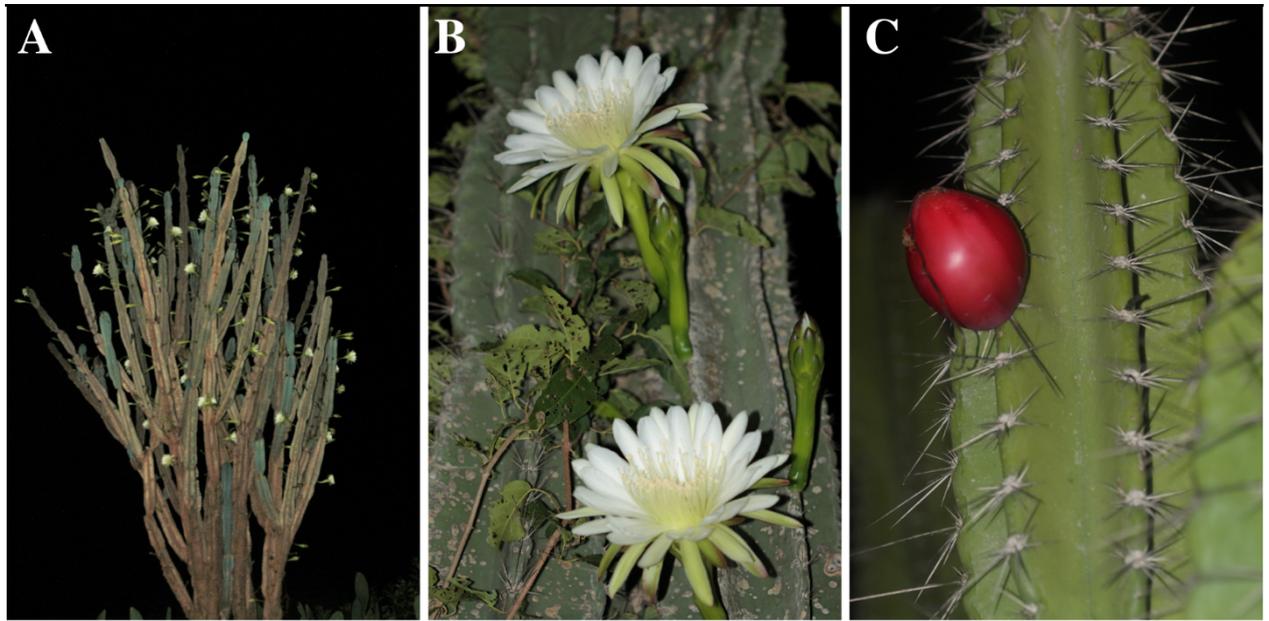
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ESPÉCIE ESTUDADA

*Cereus jamacaru* DC. (Figura 2-a) conhecido popularmente como “Mandacaru” pertence à família Cactaceae e possui uma ampla distribuição no Nordeste brasileiro com grande importância ecológica, econômica e social para o bioma da Caatinga e para as populações humanas que vivem na região (LUCENA *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2020). Nativa do Brasil, a espécie tem sua importância manifestada na utilização pelos agricultores em momentos críticos para salvar o gado da morte, bem como culturalmente ao fazerem uso da espécie na ornamentação, em jardins e no interior das casas (TAYLOR & ZAPPI, 2004; HUNT, 2006; ALENCAR *et al.*, 2012; TAMILIS *et al.*, 2016).

As flores em *C. jamacaru* são noturnas, brancas (Figura 2-b), com grande número de estames e forte odor floral adocicado, características associadas à polinização por esfingídeos (GOMES *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2020; ALBUQUERQUE-LIMA *et al.*, 2023a). Os frutos são vermelhos (Figura 2-c) com polpa branca e sementes pretas (GOMES *et al.*, 2014), possuindo grande importância ecológica, servindo de alimento para muitas espécies de aves (GOMES *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Os frutos de *C. jamacaru* também são usados na alimentação humana (TAMILIS *et al.*, 2016). Seus usos medicinais são pela utilização do chá, sendo preparado desde a raiz, que é utilizado nos tratamentos de reumatismo, feridas e infecções (LUCENA *et al.*, 2013).

Figura 2 - Traços reprodutivos analisados na fenologia de *Cereus jamacaru*. A - Indivíduo de *Cereus jamacaru* (Cactaceae); B - Detalhe de flores na cor branca; C - Detalhe do fruto vermelho.



Fonte: A autora (2023).

Nota: Autoria das imagens - Sinzinando Albuquerque Lima

#### 4.2 DADOS FENOLÓGICOS E GEOGRÁFICOS

A coleta de dados fenológicos foi feita usando o site SpeciesLink, que é um sistema que promove livre acesso a dados das coletas de diferentes grupos de organismos e que já foi usado para análises de fenologia reprodutiva (OLIVEIRA *et al.*, 2022; PARK *et al.*, 2023). Consultamos também a plataforma Herbário Virtual Re flora, que é um portal com dados da flora brasileira e que por sua vez, também já foi utilizado para correlacionar dados fenológicos com variáveis climáticas (LIMA *et al.*, 2021; PARK *et al.*, 2023). A escolha dessas duas bases de dados fenológicos foi feita baseado na confiabilidade da fonte de dados dos registros presente em ambas as plataformas, além do fato de possibilitar ter um maior número de informações para as análises.

Para determinar a fenofase de floração foram considerados os registros da presença de botões florais e/ou flores nas exsicatas. Nos registros que possuíam fotos das exsicatas, mas que não continham material reprodutivo presente no material, as informações foram retiradas das anotações presentes nas etiquetas de cada um dos espécimes. De maneira semelhante, para frutificação, foi utilizada a

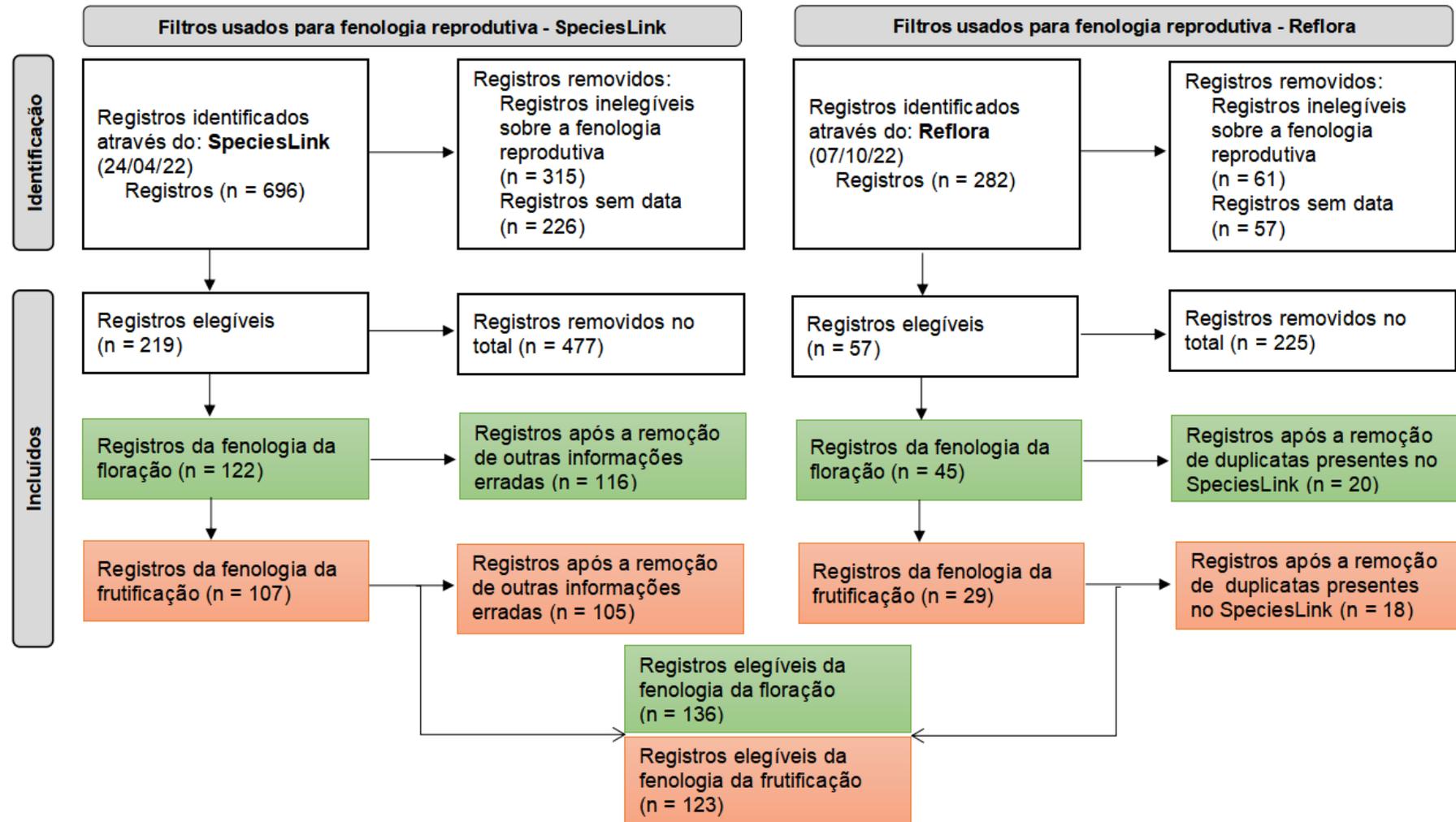
mesma métrica utilizada para floração, levando em consideração a presença dos frutos. A seleção dos registros dos herbários esteve de acordo com uma série de critérios descritos a seguir, o que levou ao uso de diversas fases de filtragem.

Primeiro foram selecionados os registros do site SpeciesLink, visto que este possui maior número de registros (696) para *C. jamacaru*. Nesse sentido, na primeira filtragem, foram utilizados dados com informações sobre a presença de botões, flores e frutos usando as anotações na etiqueta da coleta e registros com fotos da presença das fenofases. Algumas anotações estavam vazias, sem nenhuma descrição sobre a planta, e outras não mencionavam a presença ou ausência de frutos, flores e botões florais, todos esses registros foram eliminados. Em seguida foram eliminados os registros sem as datas do ano, mês e dia da coleta. Como o objetivo da pesquisa é analisar os meses de floração e frutificação ao longo dos anos, dados sem informações sobre ano, mês e dias foram desconsiderados (Figura 3).

Na terceira filtragem foram retiradas as duplicatas. Essa etapa da filtragem foi mais minuciosa, sendo revisado por município e o número de coleta para verificar coletas que aconteceram na mesma data. Em seguida, houve a divisão de dados sobre a floração e dados sobre a frutificação. Na última filtragem foram verificadas e retiradas possíveis informações errôneas ou identificação erradas, sendo desconsideradas identificações de estados como Rio de Janeiro, Santa Catarina e Mato Grosso do Sul, por este motivo. Assim, ao final da quinta filtragem, esses dados foram reduzidos a 116 registros referentes a floração e 105 referentes a frutificação do total de 696 dos registros iniciais (Figura 3).

Com relação aos registros do Re flora ( $n= 282$ ), a primeira filtragem também foi para selecionar os dados com informações sobre a presença da floração e frutificação. Em seguida, também foram removidos os registros sem as datas do ano, mês e dia da coleta. Na terceira filtragem, foram separados os registros referentes à floração e frutificação. Após essa divisão, foi verificado em ambos os dados da floração e frutificação a presença de duplicatas do Re flora que estavam presentes também no SpeciesLink. Dessa forma, de 282 registros, restaram apenas 20, referente a floração e 18 referentes a frutificação (Figura 3).

Figura 3 - Fluxograma das filtragens utilizadas na seleção dos dados fenológicos de *Cereus jamacaru*.



Feito através do PRISMA 2020 statement  
Fonte: A autora (2023).

Ainda, foi feito um levantamento dos herbários com os maiores números de depósitos de exsicatas da fenologia reprodutiva da espécie. Para gerar o mapa com a distribuição das coletas fenológicas e registradas no SpeciesLink e no Re flora foram utilizadas as coordenadas geográficas mencionadas nas exsicatas. Nos registros do Re flora as coordenadas geográficas disponibilizadas estavam em graus, minutos e segundos e foram convertidas em grau decimal através da calculadora geográfica do INPE, acessada através do site: <http://www.dpi.inpe.br/calcula>. Os registros sem as coordenadas geográficas, tanto do SpeciesLink quanto do Re flora, foram acessados manualmente com base na coordenada geográfica da cidade da coleta no site <https://www.distancesto.com>.

#### 4.3 DADOS CLIMÁTICOS

Os dados climáticos foram extraídos do Climate Change Knowledge Portal (CCKP) (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>), que fornece dados globais sobre clima, vulnerabilidades e impactos históricos e futuros. É possível explorar esses dados através de países e bacia hidrográfica. Os dados do Brasil referentes a média da precipitação mensal, temperatura média, máxima e mínima mensal foram acessados através do CCKP timeseries que compreende dados de 1901-2021. Para correlacionar a fenologia com os dados climáticos, foram usados os dados climáticos correspondentes ao mês da coleta fenológica. Além disso, como uma resposta fenológica de uma planta pode ser resultado de fatores climáticos anteriores (PRIETO *et al.*, 2008; LESICA & KITTELSON, 2010; PANCHEN *et al.*, 2012; CALINGER *et al.*, 2013; JONES & DAEHLER, 2018), também foram utilizados os dados médios de temperatura e precipitação do mês anterior à data de coleta dos espécimes.

#### 4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Foi utilizada a estatística circular feita através do programa Oriana v. 4.02 juntamente com o teste de Rayleigh (ZAR, 2010) para analisar a uniformidade dos dados e para analisar a sazonalidade da floração e frutificação (Morellato *et al.*, 2010). Para detectar mais possibilidades na variação da sazonalidade, além de uma análise sem utilizar intervalos de tempo, sendo assim chamado de geral,

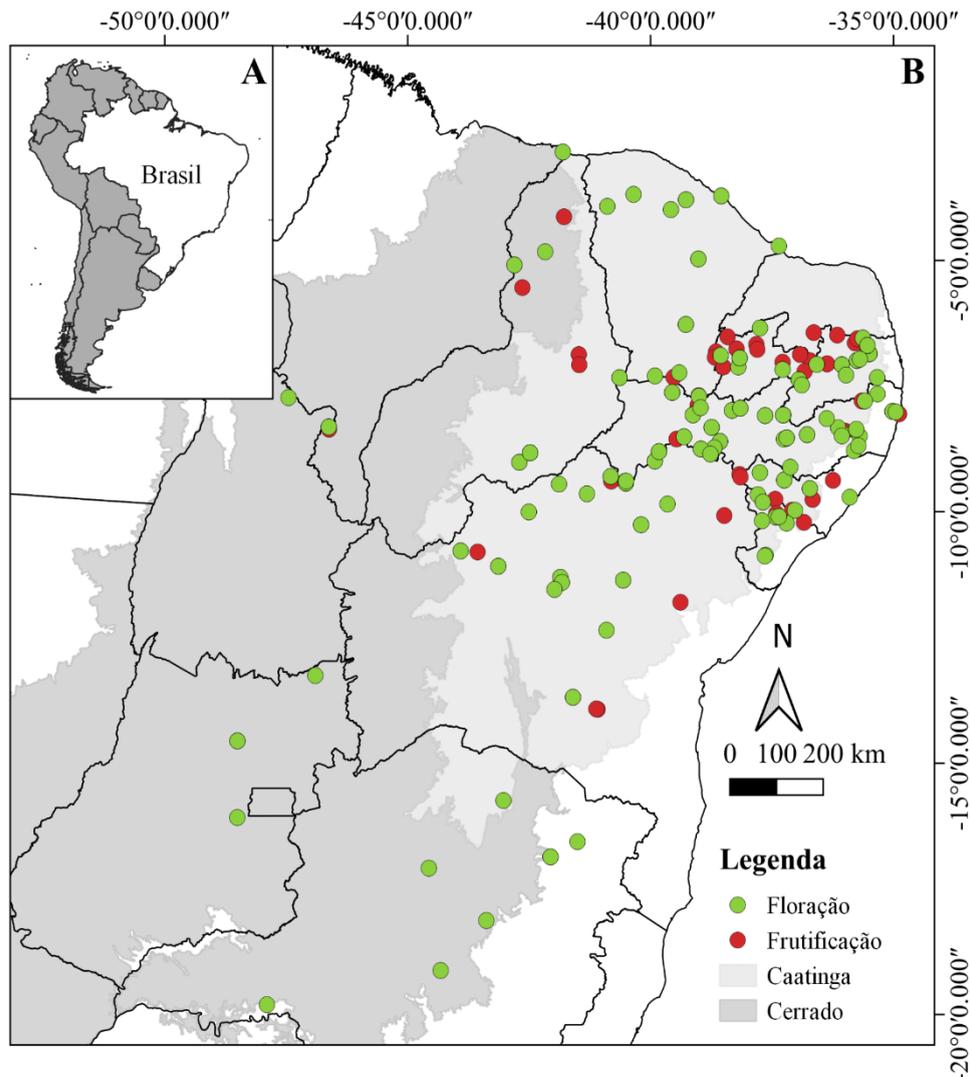
foram também feitas análises circulares em três diferentes intervalos de tempo para fenofase de floração e frutificação: intervalo I - (1930-2000); intervalo II - (2001-2011); intervalo III (2012-2021) para assim averiguar se a sazonalidade dos registros da fenologia reprodutiva acontece em diferentes e separados períodos de tempo. O longo período de tempo no intervalo I de ambos, floração e frutificação é devido ao baixo número de coletas derivadas desse período de tempo. Para as análises de correlação do clima com a fenologia foram usados, para os testes de correlações gerais, o pacote do RStudio v4.2.2 (R CORE TEAM, 2021), utilizando os pacotes GGally e ggplot2 (WICKHAM *et al.*, 2016) para ambos, floração e frutificação, separadamente. Adicionalmente também foi feito o teste de correlação de Pearson para avaliar cada uma das correlações encontradas através das correlações gerais feitas pelo pacote do RStudio v4.2.2 (R CORE TEAM, 2021).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS REGISTROS

Ao total, contabilizando ambos registros do SpeciesLink e do Reflora, foram analisados 136 registros elegíveis da floração e 123 da frutificação. A distribuição geográfica desses registros fenológicos de *C. jamacaru* depositados no SpeciesLink e no Reflora apontam predominância dessas coletas na Caatinga, com algumas distribuídas no domínio fitogeográfico do Cerrado (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de distribuição geográfica das principais coletas da fenologia reprodutiva de *Cereus jamacaru* de acordo com registros do SpeciesLink e Reflora entre o período de 1930-2021.



Fonte: A autora (2023).

Foram registradas coletas em todos os estados do Nordeste, com exceção do Maranhão, tendo os estados da Bahia, Paraíba e de Pernambuco o maior número de registros de coletas referentes tanto a frutificação como a floração (Tabela 2). Fora da região Nordeste, Pará e Tocantins foram os estados com registros da fenologia reprodutiva da espécie na região Norte. A região Sudeste teve como único representante o estado de Minas Gerais com registros de coletas sobre a floração e frutificação de *C. jamacaru* e o estado de Goiás foi o único do Centro Oeste do País com registros de coletas da fenologia reprodutiva, com registros apenas referentes a floração, enquanto todos os outros estados possuem registros tanto da floração quanto da frutificação.

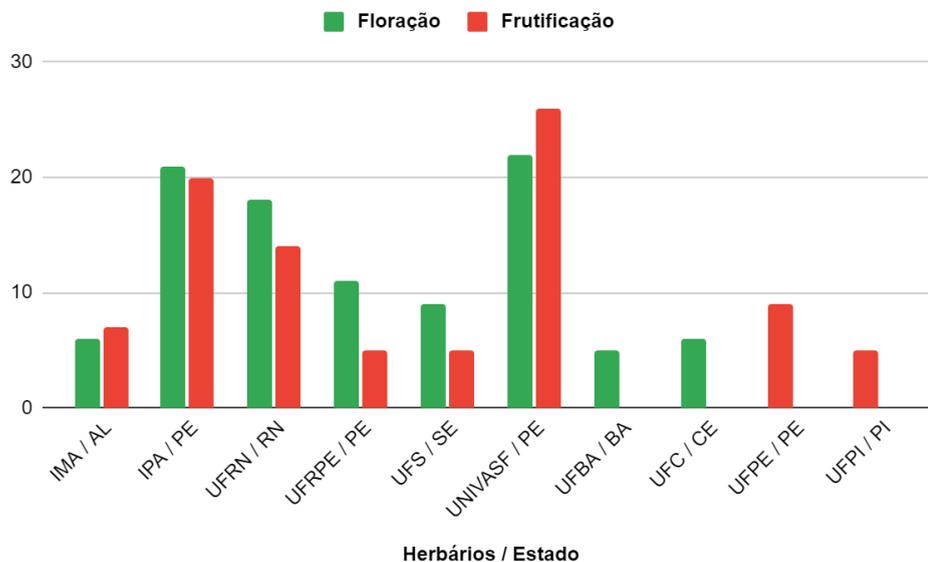
Tabela 2 - Resultado dos números e porcentagem de coletas da fenologia reprodutiva de *Cereus jamacaru* por estado do Brasil de acordo com registros do SpeciesLink e Re flora entre o período de 1930-2021.

<b>Estado</b>	<b>Floração % / n</b>	<b>Frutificação % / n</b>
Alagoas	4,4% / 6	5,7% / 7
Bahia	14,7% / 20	16,3% / 20
Ceará	8,1% / 11	4,9% / 6
Goiás	2,9% / 4	0% / 0
Minas Gerais	5,1% / 7	2,4% / 3
Pará	2,2% / 3	2,4% / 3
Paraíba	16,2% / 22	23,6% / 29
Pernambuco	25,0% / 34	22,0% / 27
Piauí	5,1% / 7	8,1% / 10
Rio Grande do Norte	9,6% / 13	8,9% / 11
Sergipe	5,9% / 8	4,9% / 6
Tocantins	0,7% / 1	0,8% / 1

Fonte: A autora (2023).

Além disso, esses registros foram depositados em herbários em sua maioria localizados na região Nordeste do país, tendo os principais Herbários onde esse maior volume de exsicata está depositado no estado de Pernambuco tanto para as coletas da floração quanto da frutificação principalmente nos herbários do IPA e da UNIVASF (Figura 5).

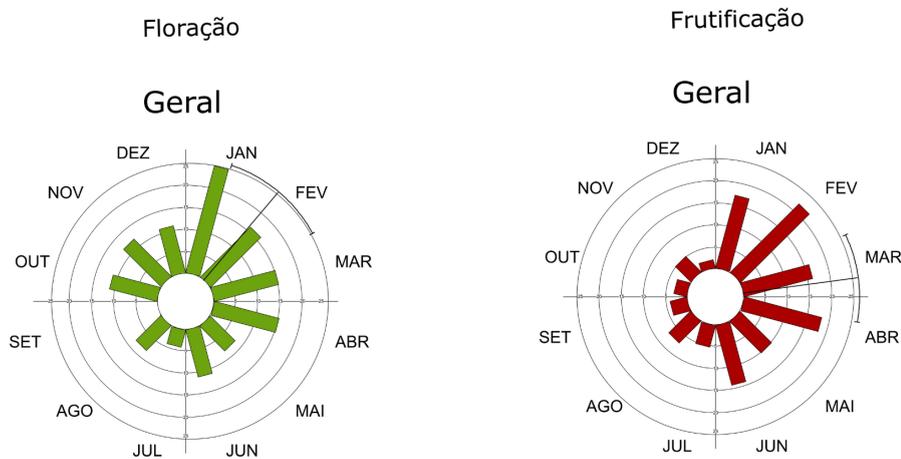
Figura 5 - Principais herbários com maior volume de depósitos da fenologia reprodutiva de *Cereus jamacaru* entre o período de 1930 - 2021 no SpeciesLink e Reflora.



## 5.2 FENOLOGIA REPRODUTIVA E SAZONALIDADE

A fenologia reprodutiva aponta que os registros de coletas, tanto da floração quanto da frutificação de *C. jamacaru* ocorreram em praticamente todos os meses do ano ao longo do período de 1930-2021 (Figura 5). Com relação à floração, há coletas em praticamente todos os meses, com exceção do mês de setembro quando não foi registrada nenhuma coleta tanto no SpeciesLink quanto no Reflora. Essa fenofase obteve pico de coletas no mês de janeiro, seguido dos meses de fevereiro, março e abril. Referente à frutificação, a fenofase registrou maiores registros de coletas quando se compara com os da floração nos meses de fevereiro a junho, com o pico de coletas em fevereiro.

Figura 6 - Registros gerais da fenologia reprodutiva de *Cereus jamacaru* ao longo dos meses nos diferentes locais de ocorrência entre o período de 1930 - 2021 no SpeciesLink e Reflora.



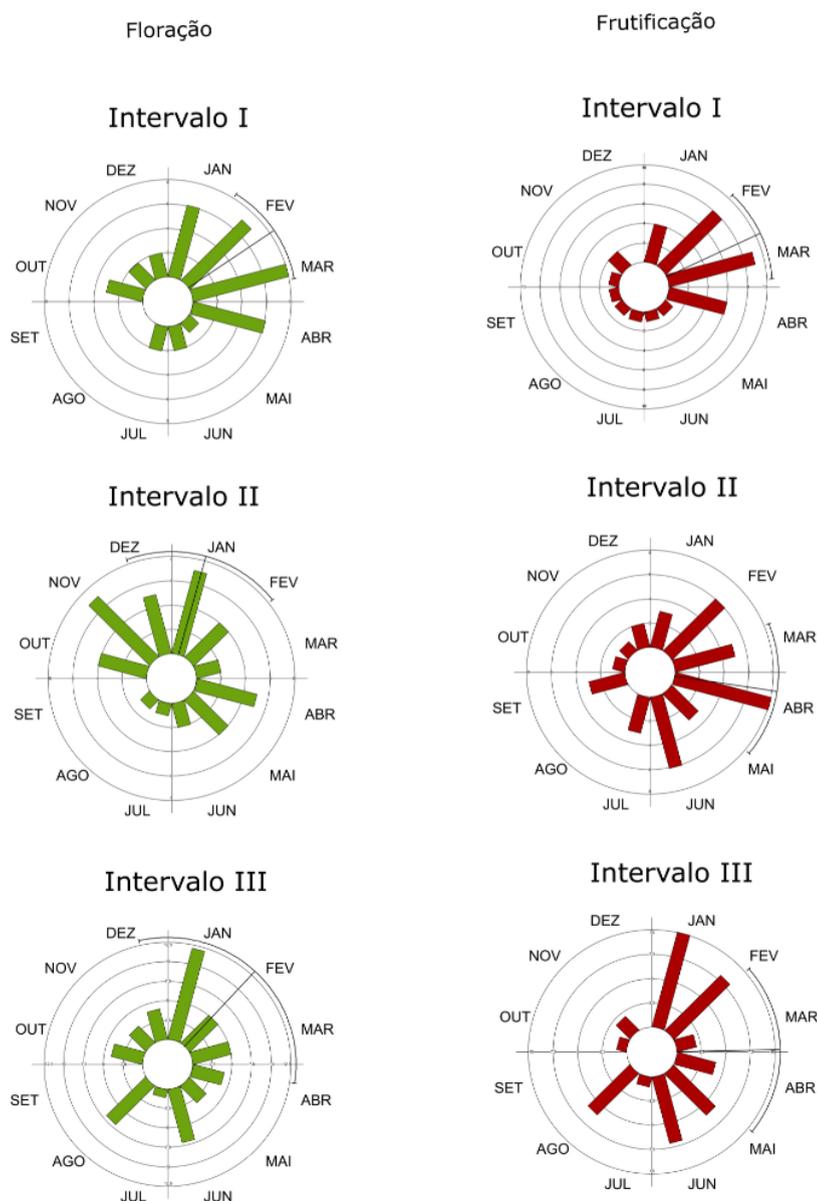
Fonte: A autora (2023).

A distribuição circular mostra que além dos dados gerais, os três intervalos analisados também apontam registros em quase todos os meses (Figura 6). Com relação à floração, janeiro é o mês com maior número de registros no geral e apresentou grande concentração de registros nos três períodos de intervalos, principalmente no intervalo entre 2012-2021. Outro mês de grande concentração, levando em consideração todos os dados (Geral), é o mês de março que apresentou maior concentração no intervalo de 1930-2000, enquanto no intervalo de 2001-2011 teve novembro e janeiro como meses de maior concentração de registros. Já com relação à frutificação, os meses de janeiro a abril apresentaram grande concentração levando em consideração todos os dados (Geral), com os meses de fevereiro e abril liderando com maior concentração. Assim como na floração, o mês de janeiro no período de intervalo de 2012-2021 teve maior concentração de registros relativos à frutificação e igualmente com a floração o mês de março teve maior concentração de registros no período de 1930-2000. Diferente da floração, abril foi o mês com maior concentração de registros de frutificação no intervalo entre 2001-2011.

Nos dados gerais, janeiro e fevereiro foram os meses de maior pico de coleta para a floração e ambos os meses também obtiveram pico observados nos outros

três intervalos analisados. A frutificação indica os meses de fevereiro, março e abril como picos de coletas para os dados gerais, tendo o mês de março presente como mês de pico de coletas em todos os outros três intervalos.

Figura 7 - Distribuição circular dos registros da fenologia reprodutiva de *C. jamacaru* ao longo dos meses nos diferentes locais de ocorrência no SpeciesLink e Reflora durante o período de 1930 - 2021 entre os três intervalos de tempo: Intervalo I - 1930-2000; Intervalo II - 2001-2011; Intervalo III - 2012-2021.



Legenda: A linha vetorial no círculo indica o ângulo ou direção média e a seta fora do círculo indica o desvio padrão médio de 95%. Gráfico do Oriana e modificado no Inkscape.

Fonte: A autora (2023).

Os resultados do teste de Rayleigh apontaram o mês de fevereiro como a data média da floração para os dados (Geral), intervalo I (1930-2000) e intervalo III (2012-2021). Já para o intervalo II (2001-2011) a data média foi o mês de janeiro. Para a frutificação, o teste de Rayleigh apontou o mês de março como data média para os dados completos (Geral), intervalo I (1930-2000) e intervalo III (2012-2021). Com relação ao intervalo II (2001-2011) a data média foi o mês de abril. Ainda, o teste de Rayleigh apontou uma uniformidade ( $p < 0.05$ ) nos dados analisados, exceto para o intervalo III da floração. Nesse sentido, apontam uma sazonalidade que não é tão expressiva de acordo com o comprimento médio do vetor ( $r$ ) para todos os dados analisados da frutificação e floração, este último exceto para o intervalo III (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados da análise circular com o teste de Rayleigh para a ocorrência de sazonalidade na floração e frutificação de *Cereus jamacaru* do período de tempo geral e durante os três intervalos de tempo: Intervalo I - 1930-2000; Intervalo II - 2001-2011; Intervalo III - 2012-2021.

Fenofase/ Intervalo	Amostra de exsicata (n)	Comprimento médio do vetor (r)	Ângulo médio do vetor ( $\mu$ )	Data média (dia/mês)	Z - Teste de Rayleigh	P - Teste de Rayleigh
<b>Floração</b>						
Geral	136	0.307	40.092°	10/Fev	12.85	2.63E-6
Intervalo I	39	0.499	55.783°	25/Fev	9.703	3.50E-5
Intervalo II	42	0.33	15.56°	16/Jan	4.57	0.01
Intervalo III	55	0.191	42.778°	12/Fev	1.998	0.136
<b>Frutificação</b>						
Geral	123	0.385	82.28°	24/Mar	18.26	1.17E-8
Intervalo I	35	0.569	64.872°	06/Mar	11.34	4.71E-6
Intervalo II	41	0.384	98.609°	09/Abr	6.043	0.002
Intervalo III	47	0.284	88.878°	30/Mar	3.802	0.021

Legenda:  $r < 0,5$  (baixa sazonalidade)

Fonte: A autora (2023).

### 5.3 RELAÇÃO FENOLOGIA E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Os resultados referentes às correlações entre a fenologia reprodutiva de *C. jamacaru* e as variáveis climáticas apontaram correlações significativas com quase todas as variáveis climáticas analisadas (Tabela 4). Os registros da floração mostraram correlação com a temperatura média, máxima e precipitação, enquanto que os registros da frutificação obtiveram correlação com a temperatura média, mínima e a precipitação (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados das análises de testes de correlações gerais entre a fenologia reprodutiva de *Cereus jamacaru* e as variáveis climáticas.

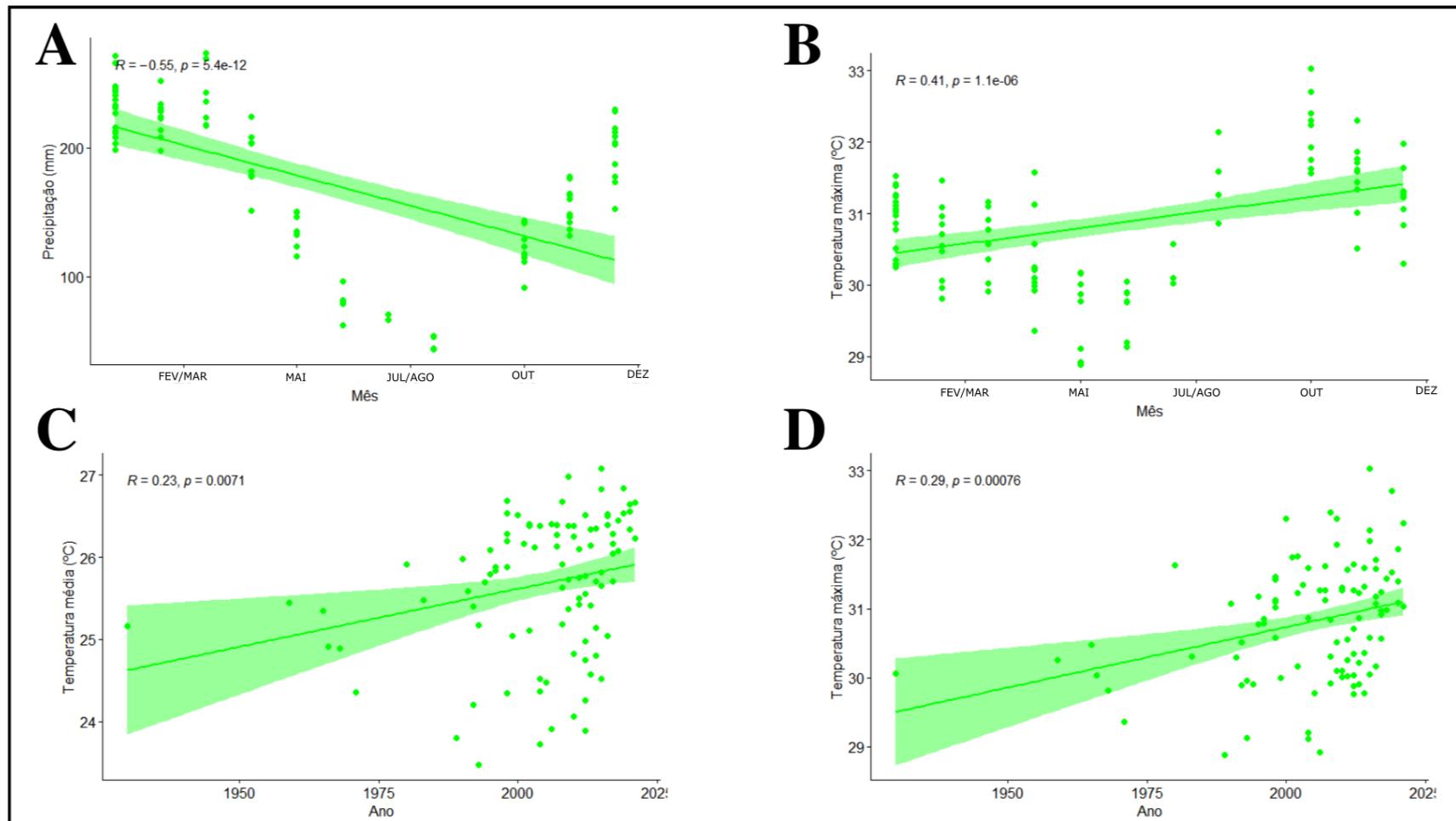
<b>Fenofase</b>	TAS	TMIN	TMAX	PREC	TAS (mês anterior)	PREC (mês anterior)
Floração	✓+ $p= 0.0071$ (ano)	✗	✓+ $p= 1.1e-06$ (mês) $p= 0.00076$ (ano)	✓- $p= 5.4e-12$ (mês)	✓+ $p= 0.033$ (ano)	✓- $p < 2.2e-16$ (mês)
Frutificação	✓- $p= 0.00036$ (mês)	✓- $p= 9.6e-10$ (mês)	✗	✓- $p < 2.2e-16$ (mês)	✓- $p= 4.6e-08$ (mês)	✓- $p < 2.2e-16$ (mês)

**Legenda:** TAS: temperatura média; TMIN: temperatura mínima; TMAX: temperatura máxima; PREC: precipitação; ✗: não houve correlação; ✓: houve correlação.  
Fonte: A autora (2023).

Com relação aos registros de floração ao longo dos meses entre o período de 1930-2021 as coletas evidenciaram que a floração ao longo dos meses teve uma correlação no geral negativa com a precipitação ( $R= -0.55$ ,  $p= 5.4e-12$ ), levando em consideração todos os meses, no entanto, os registros do começo do ano (janeiro a abril) são na maior faixa de precipitação. Por sua vez, os registros da outra metade

do ano (maio a outubro) ficaram na faixa com menor volume, com exceção dos meses de novembro e dezembro que também ficaram na faixa de maior precipitação (Figura 7-a). Em contrapartida, os registros da floração apresentaram uma correlação positiva com a temperatura máxima ( $R= 0.41$ ,  $p= 1.1e-06$ ) ao longo dos meses, uma vez que as coletas, nos primeiros meses do ano (janeiro a abril), tendem a ficar na faixa de temperatura entre 29 - 31 graus. Na outra metade do ano (agosto a novembro), as coletas ficaram na faixa de temperatura acima dos 31 graus. Dessa forma, os registros das coletas na metade final do ano coincidiram com o aumento da temperatura (Figura 7-b). Ainda, a floração apresentou uma correlação positiva com as temperaturas média ( $R= 0.23$ ,  $p= 0.0071$ ) e máxima ( $R= 0.29$ ,  $p= 0.00076$ ) em relação aos anos de coletas, sendo os registros ao longo dos anos coletados em temperaturas cada vez mais altas (Figura 7-c,d).

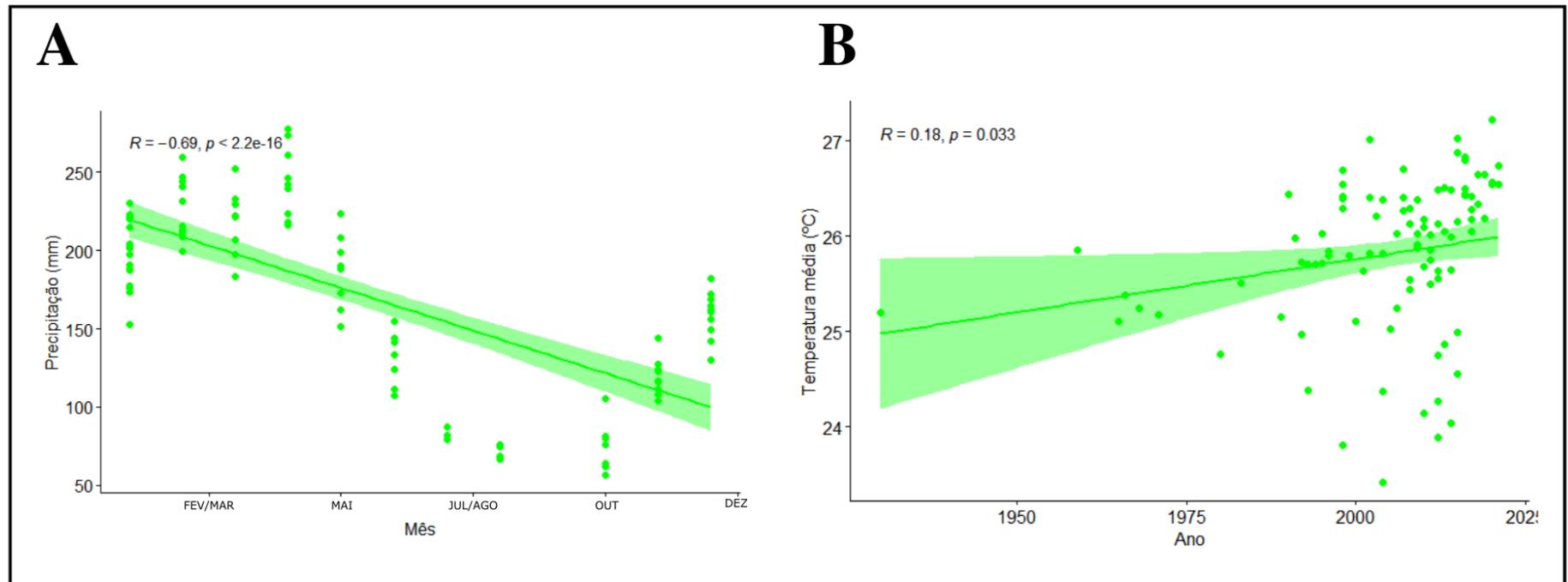
Figura 8 - Correlações entre os registros da fenofase de floração de *Cereus jamacaru* e as variáveis climáticas. A - Correlação entre a floração ao longo dos meses com a precipitação; B - Correlação entre a floração ao longo dos meses com a temperatura máxima; C - Correlação entre a floração ao longo dos anos com a temperatura média; D - Correlação entre a floração ao longo dos anos com a temperatura máxima.



Fonte: A autora (2023).

Os resultados dos registros da floração quando correlacionado com dados das variáveis climáticas do mês anterior às coletas mostraram que a variável da precipitação obteve correlação negativa ( $R = -0.69$ ,  $p < 2.2e-16$ ) com a fenofase ao longo dos meses. Foi também observado que, um mês antes das coletas, os registros fenológicos que ocorreram no começo do ano se concentraram na faixa de maior volume de precipitação, entre 150-250 (Figura 8-a). Nesse sentido, assim como na análise anterior, no geral a correlação foi negativa levando em consideração todos os meses, no entanto os registros do começo do ano são na maior faixa de precipitação. Além disso, os registros de floração, levando em conta dados dos meses anteriores, tiveram correlação positiva ao longo dos anos com a temperatura média ( $R = 0.18$ ,  $p = 0.033$ ) (Figura 8-b), indicando assim registros sendo feitos em temperaturas na faixa mais alta da média nos anos mais recentes.

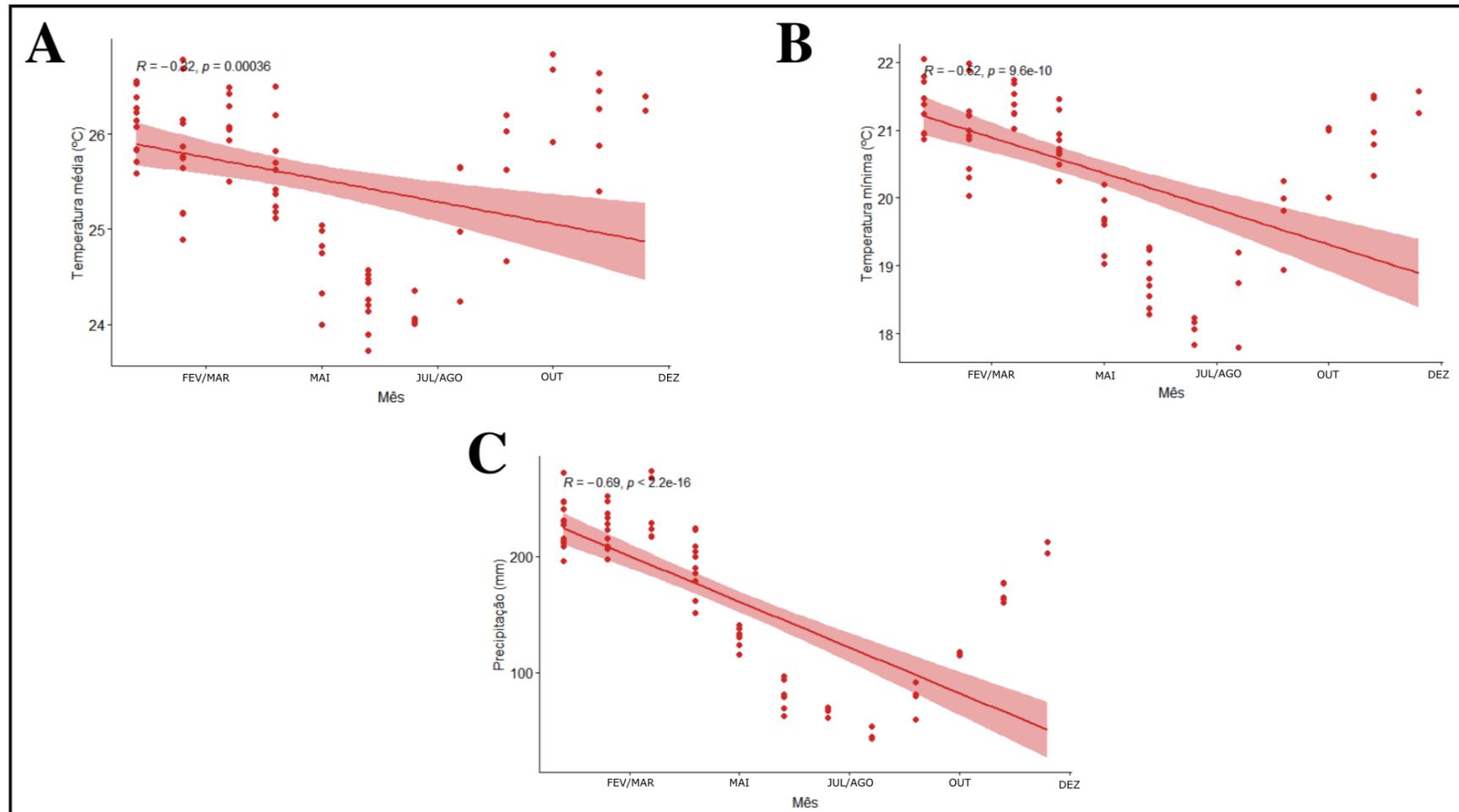
Figura 9 - Correlações entre os registros da fenofase de floração de *Cereus jamacaru* e as variáveis climáticas de um mês anterior aos registros feitos. A - Correlação entre a floração ao longo dos meses com a precipitação de dados do mês anterior à coleta; B - Correlação entre a floração ao longo dos anos com a temperatura média de dados do mês anterior à coleta.



Fonte: A autora (2023).

Com relação aos registros da frutificação, os resultados apontaram correlação negativa com a temperatura média ( $R = -0.32$ ,  $p = 0.00036$ ), mínima ( $R = -0.52$ ,  $p = 9.6e-10$ ) e precipitação ( $R = -0.69$ ,  $p < 2.2e-16$ ), ao longo dos meses entre o período de 1930-2021. Os registros entre janeiro e abril e de outubro a dezembro, com relação a temperatura média, ficaram na faixa dos 25-26 graus (Figura 9-a) e com relação a temperatura mínima ficaram na faixa de maior temperatura mínima, entre 20-22 graus (Figura 9-b). Com relação aos meses de maio a setembro as temperaturas médias mínimas ficaram em sua menor faixa, entre 24-25 e 18-20 graus, respectivamente. Com relação à precipitação, os registros da frutificação, assim como nos registros da floração, tiveram os meses que vão de janeiro a abril e novembro e dezembro na faixa entre 150 a 200 mm de precipitação, ficando o resto dos meses na faixa abaixo de 150 mm de precipitação (Figura 9-c).

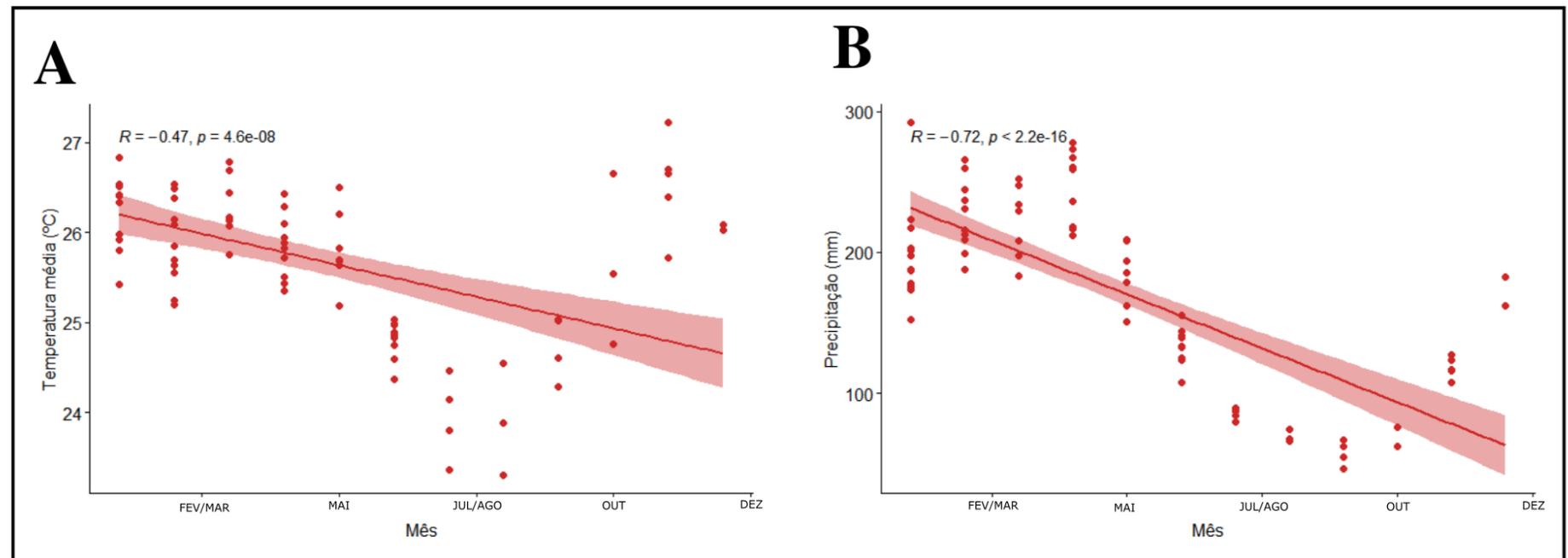
Figura 10 - Correlações entre os registros da fenofase de frutificação de *Cereus jamacaru* e as variáveis climáticas. A - Correlação entre a frutificação ao longo dos meses com a temperatura média; B - Correlação entre a frutificação ao longo dos meses com a temperatura mínima; C - Correlação entre a frutificação ao longo dos meses com a precipitação.



Fonte: A autora (2023).

Os resultados dos registros da frutificação quando correlacionado com dados das variáveis climáticas do mês anterior às coletas mostraram correlação negativa ao longo dos meses, com ambas as variáveis analisadas: temperatura média ( $R = -0.47$ ,  $p = 4.6e-08$ ) e precipitação ( $R = -0.72$ ,  $p < 2.2e-16$ ). Com relação a temperatura média, os meses de janeiro a maio e outubro a dezembro ficaram na faixa de 25-27 graus (Figura 10-a). Já com relação à precipitação, os registros de janeiro a maio ficaram na faixa de 150 a 300 mm (Figura 10-b).

Figura 11 - Correlações entre os registros da fenofase de frutificação de *Cereus jamacaru* e as variáveis climáticas de um mês anterior aos registros feitos. A - Correlação entre a frutificação ao longo dos meses com a temperatura média de dados do mês anterior à coleta; B - Correlação entre a frutificação ao longo dos meses com a precipitação de dados do mês anterior à coleta.



Fonte: A autora (2023).

## 6 DISCUSSÃO

Os registros de fenologia reprodutiva de *Cereus jamacaru* depositados nos herbários virtuais do SpeciesLink e do Re flora realizados na região da Caatinga nordestina, principalmente nos estados da Paraíba e de Pernambuco, demonstraram uma sazonalidade tanto para frutificação quanto para floração que compreende principalmente os meses de janeiro a abril. Com relação às correlações com as variáveis climáticas demonstraram a importância do acúmulo de precipitação sobre a fenologia reprodutiva da espécie, para ambas as fenofases. Ainda, ao longo dos meses observamos que a floração teve correlação positiva com a temperatura máxima e a frutificação correlação negativa com a temperatura média e mínima. Nesse sentido, os dados de herbários proporcionaram a correlação da fenologia reprodutiva de *C. jamacaru* em suas mais variadas localizações pelo país com as condições climáticas.

### 6.1 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

A área de distribuição geográfica de uma espécie é um conhecimento fundamental para a compreensão da biodiversidade e conservação (MYERS *et al.* 2000; LAMOUREUX *et al.* 2006; MOTA-VARGAS & ROJAS-SOTO, 2012). A distribuição dos registros fenológicos da espécie de *C. jamacaru* averiguada neste trabalho indicam a ocorrência da espécie no Brasil. A maioria dessas coletas foi feita nos estados do Nordeste do Brasil e esse resultado condiz com os trabalhos realizados nesses estados sobre *Cereus jamacaru* (QUIRINO, 2006; ROCHA, 2007; COSTA *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Além disso, essa grande representação desses dois estados pode estar relacionada com a preferência, maior disponibilidade e fácil acesso entre os pesquisadores que realizam as coletas e as registram nos herbários (WILLIS *et al.*, 2017a; MENGISU *et al.*, 2022).

Os resultados indicam que a maioria das coletas brasileiras de *Cereus jamacaru* foram feitas na Caatinga do Nordeste, o que condiz com a distribuição geográfica da espécie no País apontada pela literatura (TAYLOR & ZAPPI, 2004; LUCENA *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2020). A distribuição geográfica das espécies pode ser melhor compreendida graças à utilização dos dados de herbários, que representam uma importante ferramenta nesse sentido (DIAS *et al.*, 2019). É

importante entender que os padrões de distribuição das espécies que são encontrados atualmente são determinados por variados fatores, como evolução, adaptações fisiológicas e mudanças climáticas (SPELLERBERG & SAWYER, 1999). A distribuição das Cactaceae em uma escala regional pode ser determinada devido a exigências fisiológicas particulares de cada espécie (GODINEZ-ALVAREZ *et al.*, 2003). Em *Cereus jamacaru* fatores climáticos podem interferir na estabilidade das suas populações (BARBOSA *et al.*, 2015, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Ainda, as respostas fenológicas às mudanças climáticas podem variar muito dentro das comunidades e entre as regiões geográficas, e essa variação pode ser explicada pela adaptação às condições climáticas locais (PARK *et al.*, 2019).

## 6.2 SAZONALIDADE FENOLÓGICA

Embora tenham sido encontrados registros em praticamente todos os meses dos anos para a fenologia reprodutiva, os resultados sugerem uma sazonalidade entre esses registros, o que corrobora com trabalhos feitos sobre a fenologia de *C. jamacaru* que apontam sazonalidade tanto para floração quanto para a frutificação (QUIRINO, 2006; ROCHA, 2007; COSTA *et al.*, 2020).

Nossos resultados apontaram sazonalidade na floração para os dados do intervalo geral e para os intervalos I e II, enquanto apenas o intervalo III não demonstrou sazonalidade, com ângulo médio indicando os registros de dezembro até janeiro. A floração, levando em consideração os dados gerais, indica uma concentração da fenofase para o mês de janeiro e fevereiro. Na literatura, a floração é apontada como sazonal, com trabalhos indicando que essa fenofase ocorre de janeiro a julho (ROCHA, 2007; COSTA *et al.*, 2020) com pico de floração em fevereiro (COSTA *et al.*, 2020). Por sua vez, no trabalho de Quirino (2006) a sazonalidade na floração também é apontada como ocorrendo de dezembro a fevereiro. Os trabalhos, portanto, indicam que janeiro e fevereiro são meses de floração (QUIRINO, 2006; ROCHA, 2007; COSTA *et al.*, 2020), os quais neste presente estudo também foram os meses de maior pico sazonal de floração, bem como foram meses das datas médias encontradas nos três intervalos analisados.

Com relação à fenologia da frutificação, os resultados sugerem sazonalidade para todos os dados analisados. Considerando os dados gerais, o pico sazonal da frutificação ocorre nos meses de março e abril, sendo assim, logo em seguida ao

pico sazonal da floração. Em trabalhos realizados sobre a frutificação de *C. jamacaru*, essa fenofase é apontada como ocorrendo logo após as primeiras flores abrirem (QUIRINO, 2006; ROCHA, 2007). A frutificação também é apontada como sazonal, com trabalhos indicando ocorrência de janeiro a abril (ROCHA, 2007) e nos meses de fevereiro a abril e no mês de julho, com pico em março (COSTA *et al.*, 2020). Nesse sentido, os resultados apontaram que existe uma sazonalidade entre as fenofases reprodutivas, mesmo com registros fenológicos em praticamente todos os meses, exceto o mês de setembro para a floração. Esse conhecimento sobre a sazonalidade da floração e frutificação são de extrema importância para as interações entre flores-animais, já que são fontes de recursos, a floração sendo uma fonte de recurso importante para os polinizadores (ALBUQUERQUE-LIMA *et al.*, 2023a, b) e a frutificação sendo um recurso importante para os animais dispersores (GOMES *et al.*, 2014).

*Cereus jamacaru* é polinizado por esfingídeos (ALBUQUERQUE-LIMA *et al.*, 2023a), cuja disponibilidade está fortemente relacionada à estação chuvosa (HABER & FRANKIE 1989; JÚNIOR & SCHLINDWEIN 2005; AMORIM *et al.*, 2009). Ainda, *C. jamacaru* possui sua dispersão feita por aves (GOMES *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2020) e esses dispersores em espécies de Cactaceae possui suas atividades de alimentação atrelada com a estação chuvosa (ARAÚJO, 2008; GOMES *et al.*, 2014, 2017). Isso ressalta a importância da compatibilidade entre o período das fenofases reprodutivas e a disponibilidade dos polinizadores e dispersores, destacando ainda mais o papel crucial desses animais para a espécie.

### 6.3 RELAÇÃO FENOLOGIA E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

As análises apontaram correlação com precipitação e temperatura nas fenofases. Esses resultados estão em conformidade com as espécies de Cactaceae na Caatinga que tem os padrões fenológicos reprodutivos afetados em sua maioria por variações na precipitação e temperatura (QUIRINO, 2006; GOMES *et al.*, 2014, 2017). Ainda, na região da Caatinga, as fenofases de floração e frutificação são apontadas como sazonais e concentradas no período chuvoso (MACHADO *et al.*, 1997; AMORIM *et al.*, 2009; LIMA & RODAL, 2010; QUIRINO & MACHADO, 2014). No geral, nossos resultados corroboram os estudos anteriores, os quais apontam que os dados de herbários e os dados de campo mostraram resultados similares

(BORCHERT, 1996; MILLER-RUSHING *et al.*, 2006; ROBBIRT *et al.*, 2011; DAVIS *et al.*, 2015; PARK *et al.*, 2023).

Em estudos de campo sobre a fenologia reprodutiva de *C. jamacaru* foi reportada a relação das fenofases com a precipitação, tanto a floração quanto a frutificação ocorrendo na estação chuvosa da região do estudo (QUIRINO, 2006; ROCHA, 2007; GOMES *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2020). Neste estudo, foi apontado que os volumes de precipitação foram maiores um mês antes dos registros da floração e frutificação serem feitos, o que pode sugerir uma maior influência da precipitação nas fenofases reprodutivas da espécie. O único trabalho que abordou a influência na precipitação de meses anteriores as fenofases reprodutivas na espécie de *C. jamacaru* foi no trabalho de Quirino (2006) que apontou uma única correlação entre a precipitação dos 3 meses anteriores e a fenofase de frutificação mais especificamente com os frutos imaturos. Essa relação já foi explorada em estudos com outros grupos vegetais que correlacionaram a precipitação com a floração e foi apontada a influência da precipitação de meses anteriores à fenofase (PRIETO *et al.*, 2008; LESICA & KITTELSON, 2010). Uma das explicações para a floração e frutificação serem impulsionadas na estação chuvosa seria uma estratégia das plantas em locais onde a disponibilidade da água é sazonalmente limitante, sendo assim uma estratégia para controlar a floração (CORLETT & LAFRANKIE, 1998; PRIETO *et al.*, 2008) e possibilitar melhor aproveitamento de água no solo para a germinação dos frutos (LUCENA, 2007; COSTA *et al.*, 2020).

Com relação às temperaturas, os registros da floração apresentaram correlação com a temperatura máxima, ainda levando em conta os meses com sazonalidade apontada para floração, essa fenofase esteve na faixa de temperatura máxima mais baixa quando se leva em consideração os outros meses do ano. Já com relação aos registros da frutificação, tanto a temperatura média como a mínima tiveram correlação com a fenofase e ficaram na faixa de maior grau para o período de pico. Os resultados sugerem que os registros da floração foram feitos em temperaturas mais altas do que os registros de frutificação em um mesmo período que compreende de janeiro a abril. Um estudo que correlacionou a temperatura com a frutificação em *C. jamacaru* apontou que não existiu qualquer correlação entre essa fenofase com a variável climática (GOMES *et al.*, 2014). A correlação entre temperatura e fenologia reprodutiva foram reportados em alguns estudos com outros grupos de plantas, nos quais avaliaram sobre como a temperatura influencia a

floração, e apontaram como essa fenofase obteve correlação específica com a temperatura noturna (CHEW *et al.*, 2012; KATZ *et al.*, 2019; ZHOU *et al.*, 2019). Quando se compara os dados de herbários e de campo, em trabalhos com outras espécies de plantas que exploraram a relação entre a temperatura média da primavera e a primeira data de floração mostraram resultados similares entre essas duas bases de dados utilizados nesses estudos (ROBBIRT *et al.*, 2011; DAVIS *et al.*, 2015).

Os registros da floração ao longo dos anos foram coletados em temperaturas cada vez mais altas, sugerindo que nos anos mais atuais esses registros fenológicos foram feitos em temperaturas mais altas do que os registros de 20 anos atrás. Apesar dos registros de floração ocorrerem em temperaturas cada vez mais elevadas, deve-se ter em mente que o aumento da temperatura pode impactar negativamente as relações entre polinizadores e plantas, resultando na incompatibilidade temporal das atividades de alimentação dos animais com a fenologia das plantas (HEGLAND *et al.*, 2009; FORREST, 2015; GÉRARD *et al.*, 2020). Além disso, os polinizadores podem sofrer com os efeitos das temperaturas elevadas, que afetam o ciclo de desenvolvimento dos insetos (HEGLAND *et al.*, 2009). As mudanças climáticas também podem afetar os serviços de dispersão de frutos pelos animais (MOKANY *et al.*, 2014; PIAO *et al.*, 2019). A floração e frutificação são muito sensíveis às condições ambientais, como a temperatura (RATHCKE & LACEY, 1985; SHERRY *et al.*, 2007), e por isso é importante entender o impacto das mudanças climáticas na fenologia reprodutiva (SHERRY *et al.*, 2007). Como também, é fundamental considerar o impacto das mudanças climáticas nas interações entre plantas e polinizadores para compreender melhor os efeitos da temperatura sobre a ecologia desses organismos (POTTS *et al.*, 2010; BURKLE & ALARCÓN; BARTOMEUS *et al.*, 2011).

Os resultados deste trabalho, portanto, apontam correlações entre *C. jamacaru* e as variáveis climáticas da precipitação e temperatura e mostra que resultados semelhantes são encontrados nos dados coletados em campo.

## 7 CONCLUSÕES

Em resumo, os resultados obtidos neste estudo sobre a fenologia reprodutiva de *Cereus jamacaru* à luz dos dados de herbário, demonstraram a existência de padrões sazonais significativos para floração e frutificação, que se correlacionam com as condições climáticas. A utilização de dados de herbários permitiu uma abordagem nova e importante para o estudo da fenologia, o que pode ter implicações significativas para o conhecimento dos padrões fenológicos desta espécie e sua relação com as mudanças climáticas. É sugerido que, para trabalhos futuros, seja realizado um acompanhamento fenológico prolongado para avaliar a relação do clima e a fenologia a longo prazo, e no caso de coletas realizadas para herbário, é fundamental registrar corretamente as coletas, contendo informações importantes das fenofases nas exsicatas. Em conclusão, os dados de herbário podem ser uma importante ferramenta para os estudos fenológicos e para se entender melhor as implicações das mudanças climáticas na floração e frutificação de *C. jamacaru*, bem como de outras espécies de Cactaceae e outras famílias de Angiospermas.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Ulysses Paulino *et al.* Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **The Scientific World Journal**, v. 2012, 2012.
- ALBUQUERQUE-LIMA, Sinzinando; DOMINGOS-MELO, ARTHUR; MILET-PINHEIRO, PAULO; NAVARRO, Daniela F.; TAYLOR, Nigel; ZAPPI, Daniela & MACHADO, Isabel C. The iconic cactus of the Caatinga dry forest, *Cereus jamacaru* (Cactaceae) has high sphingophily specialization and pollinator dependence. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 2023.
- ALBUQUERQUE-LIMA, Sinzinando; TAYLOR, Nigel; ZAPPI, Daniela & MACHADO, Isabel C.. Floral specialization and bat pollination in Subtribe Cereinae (Cactaceae): A morphological approach. **Diversity**, v. 15, n. 2, p. 207, 2023.
- ALENCAR, Nara LM *et al.* Seed reserve composition and mobilization during germination and early seedling establishment of *Cereus jamacaru* DC. ssp. *jamacaru* (Cactaceae). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 3, p. 823-832, 2012.
- AMORIM, Isaac Lucena de; SAMPAIO, Everardo Valadares de Sá Barreto; ARAÚJO, Elcida de Lima. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga do Seridó, RN. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 491-499, 2009.
- ANDERSON, Edward F. **The cactus family**. Timber Press (OR), 2001.
- ARAUJO, Helder Farias Pereira. Amostragem, estimativa de riqueza de espécies e variação temporal na diversidade, dieta e reprodução de aves em área de caatinga, Brasil. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.
- BARBOSA, Alex da Silva *et al.* Estrutura populacional e espacial de *Cereus jamacaru* DC. em duas áreas de Caatinga do Agreste da Paraíba, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 315-324, 2017.
- BARBOSA, A. S. *et al.* Population structure of *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter in the anthropized Caatingas areas from westland of Paraíba, Brazil. In: **XXV International EUCARPIA Symposium Section Ornamentals: Crossing Borders 1087**. p. 234-248, 2015.
- BARBOSA, Dilosa C. A.; BARBOSA, Marlene C. A.; LIMA, L.C.M. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga. In: Inara R. Leal; Marcelo Tabarelli & José Maria Cardoso da Silva. (Org.). **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 1ªed. Recife: Editora Universitária da UFPE, v. 1, p. 657-693, 2003.
- BÁRCENAS, Rolando T.; YESSON, Chris; HAWKINS, Julie A. Molecular systematics of the Cactaceae. **Cladistics**, v. 27, n. 5, p. 470-489, 2011.

BARTHLOTT, Wilhelm; HUNT, David R. **Cactaceae**. Springer Berlin Heidelberg, 1993.

BARTOMEUS, Ignasi *et al.* Climate-associated phenological advances in bee pollinators and bee-pollinated plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 51, p. 20645-20649, 2011.

BORCHERT, ROLF. Phenology and flowering periodicity of Neotropical Dry Forest species: Evidence from Herbarium collections. **Journal of Tropical Ecology**, V. 12, n.1, p. 65-80, 1996.

BORCHERT, Rolf. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. **Ecology**, v. 75, n. 5, p. 1437-1449, 1994.

BOULTER, S. L.; KITCHING, R. L.; HOWLETT, B. G. Family, visitors and the weather: patterns of flowering in tropical rain forests of northern Australia. **Journal of Ecology**, p. 369-382, 2006.

BURKLE, Laura A.; ALARCÓN, Ruben. The future of plant–pollinator diversity: understanding interaction networks across time, space, and global change. **American journal of botany**, v. 98, n. 3, p. 528-538, 2011.

CALINGER, Kellen M.; QUEENBOROUGH, Simon; CURTIS, Peter S. Herbarium specimens reveal the footprint of climate change on flowering trends across north-central North America. **Ecology letters**, v. 16, n. 8, p. 1037-1044, 2013.

CORLETT, Richard T.; LAFRANKIE JR, James V. Potential impacts of climate change on tropical Asian forests through an influence on phenology. **Climatic Change**, v. 39, n. 2-3, p. 439-453, 1998.

CORTES-FLORES, Jorge *et al.* Phylogeny, fruit traits, and ecological correlates of fruiting phenology in a Neotropical dry forest. **Oecologia**, v. 189, p. 159-169, 2019.

CORTÉS-FLORES, Jorge *et al.* Flowering phenology, growth forms, and pollination syndromes in tropical dry forest species: Influence of phylogeny and abiotic factors. **American Journal of Botany**, v. 104, n. 1, p. 39-49, 2017.

COSTA, Paulo Marks de Araújo, *et al.* Fenofases reprodutivas em uma população de mandacaru (*Cereus jamacaru*) e facheiro (*Pilosocereus pachycladus* subsp. pernambucensis)(Cactaceae). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30536-30545, 2020.

CROZIER, B. S. Subfamilies of Cactaceae Juss., including Blossfeldioideae subfam. nov. **Phytologia**, v. 86, n. 2, p. 52-64, 2004.

CUEVAS, Rosa M. *et al.* Precipitation influences on active fractions of soil organic matter in seasonally dry tropical forests of the Yucatan: regional and seasonal patterns. **European journal of forest research**, v. 132, p. 667-677, 2013.

DARU, Barnabas H. *et al.* Widespread sampling biases in herbaria revealed from large-scale digitization. **New Phytologist**, v. 217, n. 2, p. 939-955, 2018.

DAVIS, Charles C. *et al.* New directions in tropical phenology. **Trends in ecology & evolution**, 2022.

DAVIS, Charles C. *et al.* Herbarium records are reliable sources of phenological change driven by climate and provide novel insights into species' phenological cueing mechanisms. *American journal of botany*, v. 102, n. 10, p. 1599-1609, 2015.

DAVIES, T. Jonathan *et al.* Phylogenetic conservatism in plant phenology. **Journal of ecology**, v. 101, n. 6, p. 1520-1530, 2013.

DIAS, Kauê Nicolas Lindoso *et al.* A importância dos Herbários na construção de conhecimentos sobre a diversidade vegetal. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 11, n. 1, 2020.

ELZINGA, Jelmer A. *et al.* Time after time: flowering phenology and biotic interactions. **Trends in ecology & evolution**, v. 22, n. 8, p. 432-439, 2007.

ESQUIVEL-MUELBERT, Adriane *et al.* Seasonal drought limits tree species across the Neotropics. **Ecography**, v. 40, n. 5, p. 618-629, 2017.

FENNER, Michael. The phenology of growth and reproduction in plants. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 1, n. 1, p. 78-91, 1998.

**FLORA E FUNGA DO BRASIL.** Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 14 Apr. 2023

FONSECA, Rosineide Braz Santos; FUNCH, Ligia Silveira; BORBA, Eduardo Leite. Reproductive phenology of *Melocactus* (Cactaceae) species from Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 31, p. 237-244, 2008.

FORREST, Jessica RK. Plant–pollinator interactions and phenological change: what can we learn about climate impacts from experiments and observations?. **Oikos**, v. 124, n. 1, p. 4-13, 2015.

FORREST, Jessica; MILLER-RUSHIN, Abraham J. Toward a synthetic understanding of the role of phenology in ecology and evolution. **The royal society**, v. 365, p. 3101-3112, 2010.

FU, Yongshuo *et al.* Progress in plant phenology modeling under global climate change. *Science China Earth Sciences*, v. 63, p. 1237-1247, 2020.

GENTRY, Alwyn H. Flowering phenology and diversity in tropical Bignoniaceae. **Biotropica**, p. 64-68, 1974.

GÉRARD, Maxence *et al.* Global warming and plant–pollinator mismatches. **Emerging topics in life sciences**, v. 4, n. 1, p. 77-86, 2020.

GIANNINI, Tereza C. *et al.* Pollination services at risk: bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. **Ecological Modelling**, v. 244, p. 127-131, 2012.

GODINEZ-ALVAREZ, Hector; VALVERDE, Teresa; ORTEGA-BAES, Pablo. Demographic trends in the Cactaceae. **The Botanical Review**, v. 69, n. 2, p. 173-201, 2003.

GOMES, V. G. N.; QUIRINO, Z. G. M.; ARAUJO, H. F. P. Frugivory and seed dispersal by birds in *Cereus jamacaru* DC. ssp. *jamacaru* (Cactaceae) in the Caatinga of Northeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, p. 32-40, 2014.

GOMES, Vanessa Gabrielle Nóbrega *et al.* Synchronous fruiting and common seed dispersers of two endemic columnar cacti in the Caatinga, a dry forest in Brazil. **Plant Ecology**, v. 218, p. 1325-1338, 2017.

GOMES, Vanessa Gabrielle Nóbrega; VALIENTE-BANUET, Alfonso; ARAUJO, Andréa Cardoso. Reproductive phenology of cacti species in the Brazilian Chaco. **Journal of Arid Environments**, v. 161, p. 85-93, 2019.

GOODWIN, Zoë A. *et al.* Widespread mistaken identity in tropical plant collections. **Current biology**, v. 25, n. 22, p. R1066-R1067, 2015.

HABER, William A.; FRANKIE, Gordon W. A tropical hawkmoth community: Costa Rican dry forest Sphingidae. **Biotropica**, p. 155-172, 1989.

HEGLAND, Stein Joar *et al.* How does climate warming affect plant-pollinator interactions?. **Ecology letters**, v. 12, n. 2, p. 184-195, 2009.

HUFFT, Rebecca A. *et al.* Using herbarium specimens to select indicator species for climate change monitoring. **Biodiversity and Conservation**, v. 27, n. 6, p. 1487-1501, 2018.

HUNT, D. **The new cactus lexicon**. Text Volume. DH Books, Milborne Port. 373p, 2006.

JONES, Casey A.; DAEHLER, Curtis C. Herbarium specimens can reveal impacts of climate change on plant phenology; a review of methods and applications. **PeerJ**, v. 6, p. e4576, 2018.

JUNIOR, JOSÉ ARAÚJO DUARTE; SCHLINDWEIN, CLEMENS. The highly seasonal hawkmoth fauna (Lepidoptera Sphingidae:) of the caatinga of northeast Brazil: a case study in the state of Rio Grande do Norte. **JOURNAL-LEPIDOPTERISTS SOCIETY**, v. 59, n. 4, p. 212, 2005.

KHANDURI, V. P.; Sharma, C. M.; SINGH, S. P. The effects of climate change on plant phenology. **The Environmentalist**, v. 28, n. 2, p. 143-147, 2008.

LAMOREUX, John F. *et al.* Global tests of biodiversity concordance and the importance of endemism. **Nature**, v. 440, n. 7081, p. 212-214, 2006.

LEAL, Inara Roberta; TABARELLI, Marcelo; DA SILVA, José Maria Cardoso. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Editora Universitária UFPE, 2003.

LESICA, P.; KITTELSON, P. M. Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in a semi-arid grassland. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 9, p. 1013-1017, 2010.

LIETH, Helmut. **Purposes of a phenology book**. *In*: Phenology and seasonality modeling. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 3-19, 1974.

LIMA, ALA de; RODAL, M. J. N. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid environments**, v. 74, n. 11, p. 1363-1373, 2010.

LIMA, D. F., MELLO, J. H. F., LOPES, I. T., FORZZA, R. C., GOLDENBERG, R., & FREITAS, L. Phenological responses to climate change based on a hundred years of herbarium collections of tropical Melastomataceae. **PLoS ONE**, 16, e0251360, 2021.

LIMA LEITE, Ana Virgínia; MACHADO, Isabel Cristina. Reproductive biology of woody species in Caatinga, a dry forest of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 11, p. 1374-1380, 2010.

LIMA, L.C.M; BARBOSA, D. C. A.; BARBOSA, M. C. A. Calendário didático de floração de espécies lenhosas da Caatinga de Pernambuco, com base em coleções do Herbário UFP- Geraldo Mariz. 1ª. ed. Recife: Companhia Editora de Pernambuco- CEPE, v. 01. 74p, 2009.

LUCENA, Camilla Marques *et al.* Use and knowledge of Cactaceae in Northeastern Brazil. **Journal of ethnobiology and ethnomedicine**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2013.

MACHADO, Isabel CS; BARROS, Luiz M.; SAMPAIO, Everardo VSB. Phenology of Caatinga species at Serra Talhada, PE, northeastern Brazil. **Biotropica**, v. 29, n. 1, p. 57-68, 1997.

MAJURE, Lucas C. *et al.* Phylogeny of *Opuntia* sp (Cactaceae): clade delineation, geographic origins, and reticulate evolution. **American Journal of Botany**, v. 99, n. 5, p. 847-864, 2012.

MARON, John L.; BAER, Kathryn C.; ANGERT, Amy L. Disentangling the drivers of context-dependent plant–animal interactions. **Journal of Ecology**, v. 102, n. 6, p. 1485-1496, 2014.

MATTHEWS, Elizabeth R.; MAZER, Susan J. Historical changes in flowering phenology are governed by temperature × precipitation interactions in a widespread perennial herb in western North America. **New Phytologist**, v. 210, n. 1, p. 157-167, 2016.

MENEZES, Marcelo OT *et al.* Diversity and distribution of Cactaceae in Ceará state, northeastern Brazil. **Bradleya**, v. 2011, n. 29, p. 13-42, 2011.

MENGISU, Sinework Dagnachew *et al.* Herbarium-based study of flowering and fruiting phenology of twelve indigenous and endemic plant species from Ethiopia. **South African Journal of Botany**, v. 150, p. 260-274, 2022.

MILLER, A. G.; NYBERG, J. A. Collecting herbarium vouchers. **Royal Botanic Garden, Edinburgh EH3 5LR, UK**, p. 561-573, 1995.

MILLER-RUSHING, Abraham J. *et al.* Photographs and herbarium specimens as tools to document phenological changes in response to global warming. **American Journal of Botany**, v. 93, n. 11, p. 1667-1674, 2006.

MOKANY, Karel; PRASAD, Soumya; WESTCOTT, David A. Loss of frugivore seed dispersal services under climate change. **Nature Communications**, v. 5, n. 1, p. 3971, 2014.

MOORE, Lynn M.; LAUENROTH, William K. Differential effects of temperature and precipitation on early-vs. late-flowering species. **Ecosphere**, v. 8, n. 5, p. e01819, 2017.

MORELLATO, L. P. C., ALBERTI, L. F., HUDSON, I. L. Applications of circular statistics in plant phenology: A case studies approach. In I. Hudson & M. Keatley (Eds.), **Phenological Research**. Springer, 2010.

MOTA-VARGAS, Claudio; ROJAS-SOTO, Octavio R. The importance of defining the geographic distribution of species for conservation: The case of the Bearded Wood-Partridge. **Journal for Nature Conservation**, v. 20, n. 1, p. 10-17, 2012.

MUNGUÍA-ROSAS, Miguel A.; SOSA, Vinicio J. Phenology of *Pilosocereus leucocephalus* (Cactaceae, tribe Cereeae): a columnar cactus with asynchronous pulsed flowering. **Plant Ecology**, v. 211, p. 191-201, 2010.

MURALI, K. S.; SUKUMAR, Raman. Reproductive phenology of a tropical dry forest in Mudumalai, southern India. **Journal of Ecology**, p. 759-767, 1994.

MYERS, Norman *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NADIA, Tarcila C. L.; MORELLATO, Patricia; MACHADO, Isabel C. Reproductive phenology of a northeast Brazilian mangrove community: Environmental and biotic constraints. **Flora** v. 207, p. 682-692, 2012.

NEWSTROM, Linda E.; FRANKIE, Gordon W.; BAKER, Herbert George. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. **Biotropica**, p. 141-159, 1994.

OLIVEIRA, João Pedro Machado; MASSI, Klécia Gili; ROSSATTO, Davi Rodrigo. Congeneric savanna-forest species have similar reproductive phenologies. *South African Journal of Botany*, v. 144, p. 347-354, 2022.

OLIVEIRA, Ivan Sérgio da Silva, *et al.* Distribuição espacial e estrutura populacional de *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter Subsp. *pernambucoensis* (F. Ritter) Zappi e *Cereus Jamacaru* DC. Subsp. *jamacaru*. **Research, Society and Development**, vol. 9, no. 10, p. e2469108466, 2020.

PANCHEN, Zoe A. *et al.* Herbarium specimens, photographs, and field observations show Philadelphia area plants are responding to climate change. **American journal of botany**, v. 99, n. 4, p. 751-756, 2012.

PARK, Daniel. S., Breckheimer, I., Williams, A. C., Law, E., Ellison, A. M., & Davis, C. C. Herbarium specimens reveal substantial and unexpected variation in phenological sensitivity across the eastern United States. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, Vol. 374, p. 20170394, 2019.

PARK, Daniel *et al.* Herbarium records provide reliable phenology estimates in the understudied tropics. **Journal of Ecology**, Vol. 111, p. 327–337, 2023. |

PEIXOTO, A.L.; MAIA, L. C. **Manual de Procedimentos para Herbários**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2013.

PETIT, Sophie. The reproductive phenology of three sympatric species of columnar cacti on Curaçao. **Journal of Arid Environments**, v. 49, n. 3, p. 521-531, 2001.

PIAO, Shilong *et al.* Plant phenology and global climate change: Current progresses and challenges. **Global Change Biology**, v. 25, n. 6, p. 1922-1940, 2019.

POTTS, Simon G. *et al.* Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. **Trends in ecology & evolution**, v. 25, n. 6, p. 345-353, 2010.

PRIETO, Patricia *et al.* Precipitation-dependent flowering of *Globularia alypum* and *Erica multiflora* in Mediterranean shrubland under experimental drought and warming, and its inter-annual variability. **Annals of Botany**, v. 102, n. 2, p. 275-285, 2008.

PRIMACK, Daniel *et al.* Herbarium specimens demonstrate earlier flowering times in response to warming in Boston. **American Journal of Botany**, v. 91, n. 8, p. 1260-1264, 2004.

QUIRINO, Zelma Glebya Maciel. Fenologia, síndromes de polinização e dispersão e recursos florais de uma comunidade de Caatinga no cariri paraibano. Tese

(Doutorado). Programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

QUIRINO, Zelma G. M.; MACHADO, Isabel C. Pollination syndromes in a Caatinga plant community in northeastern Brazil: seasonal availability of floral resources in different plant growth habits. **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, p. 62-71, 2014.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2021.

RATHCKE, Beverly; LACEY, Elizabeth P. Phenological patterns of terrestrial plants. **Annual review of ecology and systematics**, v. 16, n. 1, p. 179-214, 1985.

RECH, André Rodrigo *et al.* (Ed.). **Biologia da polinização**. Projecto Cultural, 2014.

REDDY, PV Rami *et al.* Potential impact of climate change on honeybees (*Apis* spp.) and their pollination services. **Pest Management in Horticultural Ecosystems**, v. 18, n. 2, p. 121-127, 2012.

ROBBIRT, Karen M. *et al.* Validation of biological collections as a source of phenological data for use in climate change studies: a case study with the orchid *Ophrys sphegodes*. **Journal of Ecology**, v. 99, n. 1, p. 235-241, 2011.

ROCHA, Emerson Antonio. Fenologia, biologia da polinização e da reprodução de *Pilosocereus* Byles & Rowley (Cactaceae) no Nordeste do Brasil. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

ROJAS-SANDOVAL, Julissa; MELÉNDEZ-ACKERMAN, Elvia. Reproductive phenology of the Caribbean cactus *Harrisia portoricensis*: rainfall and temperature associations. **Botany**, v. 89, n. 12, p. 861-871, 2011.

SCHULMAN, Leif; TOIVONEN, Tuuli; RUOKOLAINEN, Kalle. Analysing botanical collecting effort in Amazonia and correcting for it in species range estimation. **Journal of Biogeography**, v. 34, n. 8, p. 1388-1399, 2007.

SHERRY, Rebecca A. *et al.* Divergence of reproductive phenology under climate warming. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 1, p. 198-202, 2007.

SILVA, Igor A. *et al.* Reproductive phenology of Brazilian savannas and riparian forests: environmental and phylogenetic issues. **Annals of Forest Science**, v. 68, n. 7, p. 1207-1215, 2011.

SILVA, Jéssica Luiza Souza E. *et al.* Climate change will reduce suitable Caatinga dry forest habitat for endemic plants with disproportionate impacts on specialized reproductive strategies. **PloS One**, v. 14, n. 5, p. e0217028, 2019.

SILVA, José Maria Cardoso, *et al.* **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Springer, Cham, 2017.

SPELLERBERG, I. F., & Sawyer, J. W. (1999). **An introduction to applied biogeography**. Cambridge University Press.

TAKKIS, Krista *et al.* Climate change reduces nectar secretion in two common Mediterranean plants. **AoB Plants**, v. 7, 2015.

TALORA, Daniela Custodio; MORELLATO, Patricia C. Fenologia de espécies arbóreas em floresta de planície litorânea do sudeste do Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 23, n. 1, p. 13-26, 2000.

TAMILIS, Havyla; GEORGIA, Michelly; MOREIRA, Maria Betânia. A percepção do mandacaru (*Cereus jamacaru*) pela população local na paisagem rural de Jupi - PE. **Revista Homem, Espaço e Tempo**, v. 10, n. 1, 2016.

TANG, Jianwu *et al.* Emerging opportunities and challenges in phenology: a review. **Ecosphere**, v. 7, n. 8, 2016.

TAYLOR, Nigel P.; ZAPPI, Daniela C. **Cacti of eastern Brazil**. Royal Botanic Gardens, Kew, 2004.

TERRA, M. D. C. N. S., Santos, R. M. D., Prado Júnior, J. A. D., de Mello, J. M., Scolforo, J. R. S., Fontes, M. A. L., Schiavini, I., dos Reis, A. A., Bueno, I. T., Magnago, L. F. S., & ter Steege, H. Water availability drives gradients of tree diversity, structure and functional traits in the Atlantic–Cerrado–Caatinga transition, Brazil. **Journal of Plant Ecology**, Vol. 11, n. 6, p. 803–814, 2018.

TROVÃO, Dilma M. de *et al.* Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 307-311, 2007.

WICKHAM H, Chang W, & WICKHAM MH. 2016. Package 'ggplot2'. Create elegant data visualisations using the grammar of graphics. Version, 2(1), 1-189. <https://cran.microsoft.com/snapshot/2015-01-06/web/packages/ggplot2/ggplot2.pdf>

WILLIS, Charles G. *et al.* Old plants, new tricks: Phenological research using herbarium specimens. **Trends in ecology & evolution**, v. 32, n. 7, p. 531-546, 2017.

WILLIS, Charles G., LAW, E., WILLIAMS, A. C., FRANZONE, B. F., Bernardos, R., Bruno, L., Hopkins, C., Schorn, C., Weber, E., Park, D. S., & Davis, C. C. CrowdCurio: An online crowdsourcing platform to facilitate climate change studies using herbarium specimens. **New Phytologist**, Vol. 215, p. 479–488, 2017.

WOLKOVICH, Elizabeth M.; COOK, Benjamin I.; DAVIES, T. Jonathan. Progress towards an interdisciplinary science of plant phenology: building predictions across

space, time and species diversity. **New Phytologist**, v. 201, n. 4, p. 1156-1162, 2014.

ZALAMEA, P., Munoz, F., Stevenson, P. R., Paine, C. E. T., Sarmiento, C., Sabatier, D., & Heuret, P. Continental-scale patterns of *Cecropia* reproductive phenology: Evidence from herbarium specimens. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, Vol. 278, p. 2437–2445, 2011.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Pearson Prentice -Hall, Upper Saddle River. 2010.

ZHOU, Zhenxing *et al.* Growth controls over flowering phenology response to climate change in three temperate steppes along a precipitation gradient. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 274, p. 51-60, 2019.