



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

KEILA DA COSTA ALBERTO

**ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E ECOFISIOLÓGICOS DE SEMENTES DE
ACANTHACEAE (LAMIALES) ENDÊMICAS DA CAATINGA**

MOSSORÓ - RN

2025

KEILA DA COSTA ALBERTO

**ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E ECOFISIOLÓGICOS DE SEMENTES DE
ACANTHACEAE (LAMIALES) ENDÊMICAS DA CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Linha de Pesquisa: Ecologia e Conservação de Ecossistemas Terrestres

Orientador: James Lucas da Costa Lima, Prof. Dr.

Coorientadora: Clarisse Pereira Benedito, Profa. Dra.

MOSSORÓ - RN

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A333a Alberto, Keila da Costa .
ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E ECOFISIOLÓGICOS DE
SEMENTES DE ACANTHACEAE (LAMIALES) ENDÊMICAS DA
CAATINGA / Keila da Costa Alberto. - 2025.
47 f. : il.

Orientadora: James Lucas da Costa Lima.
Coorientadora: Clarisse Pereira Benedito.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Ecologia e Conservação, 2025.

1. Dormência. 2. Endemismo. 3. Germinação. 4. .
Florestas Tropicais Sazonalmente Secas. . I.
Lima, James Lucas da Costa, orient. II.
Benedito, Clarisse Pereira, co-orient. III.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

KEILA DA COSTA ALBERTO

**ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E ECOFISIOLÓGICOS DE SEMENTES DE
LINHAGENS DE ACANTHACEAE (LAMIALES) ENDÊMICAS DA CAATINGA**

Defesa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Linha de Pesquisa: Ecologia e Conservação de Ecossistema Terrestres

Defendida em: 29 / 08 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

James Lucas da Costa Lima, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Airton Torres Carvalho, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro titular

Jailma Suerda Silva de Lima Profa. Dra. (UFERSA)
Membro titular

RESUMO

A degradação da Caatinga por atividades antrópicas tem ameaçado a diversidade da família Acanthaceae, que inclui aproximadamente 4.000 espécies. O estudo da germinação de sementes é fundamental para compreender a regeneração, adaptação e respostas a mudanças climáticas dessas espécies. Este trabalho teve como objetivo caracterizar morfológicamente sementes de quatro espécies do gênero *Justicia* (*J. sphaerosperma*, *J. rubrobracteata*, *J. triloba* e *J. laevilinguins*), determinar suas curvas de absorção de água e avaliar a germinação sob diferentes temperaturas, visando identificar condições ótimas para germinação e subsidiar estratégias de conservação. Foram mensurados comprimento, largura e espessura de 100 sementes por espécie, e a morfologia externa da testa foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV). O grau de umidade foi determinado pelo método da estufa a 105 °C por 24 horas. A absorção de água foi monitorada a 25 °C e 35 °C em intervalos regulares até 456 horas (191 horas para *J. rubrobracteata*). Testes de germinação foram conduzidos em papel mata-borrão em gerboxes, com quatro repetições de 25 sementes, nas temperaturas de 25, 30 e 35 °C. Para *J. triloba* e *J. rubrobracteata*, realizou-se superação de dormência com despolimento do tegumento e imersão em ácido giberélico (100 mg/L); para *J. sphaerosperma* e *J. laevilinguins*, apenas a imersão em ácido giberélico foi aplicada. Os resultados demonstraram variabilidade morfológica significativa entre as espécies, com *J. triloba* exibindo as maiores dimensões e *J. rubrobracteata* as menores. A análise do MEV revelou diferenças na superfície do tegumento, com implicações diretas na absorção de água. As curvas de embebição indicaram padrão bifásico, com resposta diferenciada às temperaturas. A germinação foi otimizada em condições específicas: *J. triloba* germinou melhor a 25 °C, enquanto *J. laevilinguins* respondeu mais favoravelmente a 30 °C. *J. rubrobracteata* exigiu tratamentos pré-germinativos para superar dormência física e fisiológica. As espécies estudadas exibem estratégias germinativas distintas, refletindo adaptações aos ambientes sazonais da Caatinga. A caracterização morfológica e fisiológica detalhada fornece bases para protocolos de germinação específicos, essenciais para a produção de mudas e programas de restauração ecológica. Recomenda-se a utilização de tratamentos de superação de dormência e temperaturas adequadas para maximizar a germinação de cada espécie, contribuindo para a conservação e o uso sustentável desses recursos genéticos.

Palavras-chave: Dormência. Endemismo. Germinação. Florestas Tropicais Sazonalmente Secas.

ABSTRACT

The degradation of the Caatinga biome by anthropogenic activities has threatened the diversity of the Acanthaceae family, which includes approximately 4.000 species. The study of seed germination is fundamental to understanding the regeneration, adaptation, and responses to climate change of these species. This work aimed to morphologically characterize seeds of four species of the genus *Justicia* (*J. sphaerosperma*, *J. rubrobracteata*, *J. triloba*, and *J. laevilinguins*), determine their water absorption curves, and evaluate germination under different temperatures, aiming to identify optimal conditions for germination and support conservation strategies. The length, width, and thickness of 100 seeds per species were measured, and the external morphology of the testa was analyzed by scanning electron microscopy (SEM). The degree of humidity was determined by the oven method at 105 °C for 24 hours. Water absorption was monitored at 25 °C and 35 °C at regular intervals for up to 456 hours (191 hours for *J. rubrobracteata*). Germination tests were conducted on blotting paper in germination boxes, with four replicates of 25 seeds, at temperatures of 25, 30, and 35 °C. For *J. triloba* and *J. rubrobracteata*, dormancy breaking was performed by removing the seed coat and immersion in gibberellic acid (100 mg/L); for *J. sphaerosperma* and *J. laevilinguins*, only immersion in gibberellic acid was applied. The results demonstrated significant morphological variability among the species, with *J. triloba* exhibiting the largest dimensions and *J. rubrobracteata* the smallest. SEM analysis revealed differences in the seed coat surface, with direct implications for water absorption. The imbibition curves indicated a biphasic pattern, with differentiated responses to temperatures. Germination was optimized under specific conditions: *J. triloba* germinated best at 25 °C, while *J. laevilinguins* responded more favorably at 30 °C. *J. rubrobracteata* required pre-germination treatments to overcome physical and physiological dormancy. The studied species exhibit distinct germination strategies, reflecting adaptations to the seasonal environments of the Caatinga. Detailed morphological and physiological characterization provides a basis for specific germination protocols, essential for seedling production and ecological restoration programs. The use of dormancy-breaking treatments and appropriate temperatures is recommended to maximize the germination of each species, contributing to the conservation and sustainable use of these genetic resources.

Keywords: Dormancy. Endemism. Germination. Seasonally Dry Tropical Forests.

AGRADECIMENTOS

Em um momento tão significativo, sinto-me profundamente movida a expressar minha gratidão, não apenas com palavras, mas com o coração transbordando de reconhecimento e amor por todos que fizeram parte desta jornada.

A Deus, meu eterno guia e fortaleza, agradeço por ser minha luz nos momentos mais sombrios. Quando a dúvida e o cansaço quase me venceram, foi sua mão que me sustentou, sua voz que sussurrou coragem em meus ouvidos e seu amor que me impulsionou a seguir em frente a ti, dedico cada passo, cada conquista, pois sem ti, nada seria possível.

À minha mãe, Antônia Galvão, minha heroína, minha base, minha inspiração. És minha mãe de alma foi escolhida por Deus, acreditou em mim quando eu mesma duvidava. Deixar tudo para trás e embarcar nessa aventura ao meu lado, em um lugar onde não tínhamos nada nem ninguém, foi um ato de coragem e amor que jamais poderei retribuir. O cuidado, o apoio incondicional e o amor que você dedicou a mim são tesouros que carrego no mais profundo do meu ser. Não há palavras que possam traduzir o que sinto por ti, mas saiba que meu coração é todo seu, hoje e sempre.

Ao meu esposo, Emanuel Fernando, meu porto seguro, meu companheiro de todas as horas. Você foi minha âncora nos momentos de tempestade e meu maior incentivador quando eu pensava em desistir. Sua paciência, seu abraço acolhedor e suas palavras de conforto foram como bálsamo para minha alma. Obrigada por estar ao meu lado, por acreditar em mim e por me proteger em cada etapa dessa jornada. Sem você, eu não teria chegado até aqui. Te amo infinitamente.

A Ursulino, meu querido cachorro, sua partida foi tão dolorosa que me deixou profundamente abalada. Deixo aqui todo o meu amor por você, meu companheiro fiel. Meu coração ainda dói com sua ausência, mas sei que jamais te esquecerei.

À minha querida vovó Elza Andrade, que hoje está em um lugar melhor, mas cujo amor e memórias permanecem vivas em meu coração. Sua partida me abalou profundamente, mas as lembranças da minha infância ao seu lado, repletas de carinho e ensinamentos, são um legado que carrego comigo. Obrigada por todo o amor que me deu e por ser parte fundamental da minha história.

Às minhas vizinhas em Mossoró, Crishna Sampaio, Mara Sampaio e Rosilangi de Brito obrigada por nos acolherem com tanto carinho e empatia. Vocês foram uma bênção em nossas vidas, e sou eternamente grata por cada gesto de generosidade e apoio.

Ao meu orientador, James Costa.

Juan, meu primeiro amigo, te conheci em uma matéria de estatística e, desde então, você se tornou um grande companheiro. Sempre foste um ouvinte atento e compreensivo, nunca me julgando, mesmo quando compartilhei pensamentos difíceis. Sou imensamente grata por toda a ajuda e apoio que me deste ao longo do tempo.

Virginia, sua amizade sincera e sua verdade foram um farol em minha vida. Obrigada por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis, como quando Briza adoeceu. Seu apoio foi um presente que jamais esquecerei.

Ao Laboratório de Análises de Sementes da UFERSA, que se tornou minha segunda família. Em vocês encontrei acolhimento, amizade e um senso de pertencimento que me fez sentir em casa. Cada um de vocês contribuiu de maneira única para essa jornada, e sou eternamente grata por cada sorriso, cada ajuda e cada momento compartilhado.

Emanuele Lucas, você foi um anjo em minha vida. Sem me conhecer direito, me acolheu com um coração aberto e ainda se dispôs a me ajudar nos meus experimentos. Sua generosidade e dedicação foram fundamentais para que eu chegasse até aqui. Obrigada por ser essa pessoa incrível e por estar ao meu lado quando mais precisei.

Pablo Ferreira, obrigada por sua amizade, seu apoio e, claro, por suas deliciosas comidas! Você é um verdadeiro *masterchef* e um amigo de ouro. Cada momento ao seu lado foi especial e contribuiu para que essa jornada fosse mais leve e alegre.

Iracema, sua amizade e carinho foram um presente em minha vida. E como não mencionar a Maju, esse ser maravilhoso que você trouxe ao mundo e que conquistou meu coração desde o primeiro momento? Obrigada por tudo!

Daise Rocha, minha companheira de aventuras! Foi um prazer imenso te encontrar nessa jornada. Seu coração enorme e sua energia contagiante tornaram tudo mais especial.

Jessica Christie, obrigada por sua amizade e por cada gesto de carinho, como aquelas natas de leite que tanto me alegraram. Você ficará para sempre em meu coração.

Giovana Sousa, seu carinho e gentileza foram um presente em minha vida. Obrigada por ser tão maravilhosa!

Alejandra e Daniele, as queridas colombianas, foi um prazer imenso conhecê-las e compartilhar momentos tão especiais. Obrigada por enriquecerem minha vida com suas histórias e amizade.

Clarisse Pereira, minha coorientadora, obrigada por sua paciência, seus conselhos e por vibrar comigo a cada pequena vitória. Sua energia positiva e seu apoio foram fundamentais para que eu não desistisse.

Ao laboratório Lasep: Alice Almeida, Fernanda Lima, Josimar Gabriel, Marcelo Henrique e Pedro Israel.

Os anos de 2024 e 2025 foram marcados por perdas significativas de pessoas que foram fundamentais em minha infância e ao longo da minha vida. Deixo aqui todo o meu agradecimento e amor, tanto da criança que um dia fui, quanto da jovem senhora que me tornei. As lembranças que carrego dessas pessoas especiais permanecerão sempre vivas em meu coração.

Por fim, à CAPES, agradeço por acreditar em mim e por fornecer o suporte necessário para que eu pudesse embarcar nessa jornada em busca de conhecimento e crescimento.

Agradeço a Universidade Federal Rural do Semi-árido e ao programa de Pós Graduação em Ecologia e Conservação.

Dedico á minha querida mãe e amado esposo.

“A felicidade pode ser encontrada mesmo nas
horas mais sombrias, se a pessoa lembrar de
acender a luz”

Alvo Dumbledore

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Frequência dos dados biométricos (comprimento e largura) das sementes de <i>J. triloba</i> (A e B) e <i>J. laevilinguins</i> (C e D)	22
Figura 2	–	Frequência dos dados biométricos (comprimento e largura) das sementes de <i>J. sphaerosperma</i> (A e B) e <i>J. rubrobracteata</i> (C e D)	24
Figura 3	–	Imagens captadas pelo Microscópio Eletrônico de Varredura, do tegumento das sementes de (A) <i>J. sphaerosperma</i> ; (B) <i>J. laevilinguins</i> ; (C) <i>J. rubrobracteata</i> e (D) <i>J. triloba</i>	25
Figura 4	–	Curva de absorção de água de <i>J. triloba</i> , com e sem desponte submetidas a 25°C e 35°C	27
Figura 5	–	Curva de absorção de água de <i>J. laevilinguins</i> , sem desponte, submetidas a 25°C e 35°C	28
Figura 6	–	Curva de absorção de água de <i>J. sphaerosperma</i> sem desponte, submetidas a 25°C e 35°C	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Lista de espécies avaliadas, hábitos, habitats e locais de coleta	18
Tabela 2	–	Valores médios, máximos, mínimos e desvios padrões do comprimento e largura das sementes de <i>J. sphaerosperma</i> , <i>J. levilinguis</i> , <i>J. rubrobracteata</i> e <i>J. triloba</i>	21
Tabela 3	–	Grau de umidade e peso de cem sementes das espécies. <i>J. sphaerosperma</i> , <i>J. laevilinguis</i> , <i>J. rubrobracteata</i> e <i>J. triloba</i>	24
Tabela 4	–	Germinação (%) de sementes de <i>J. laevilinguis</i> , <i>J. rubrobracteata</i> , <i>J. sphaerosperma</i> e <i>J. triloba</i> a 25 °C, 30 °C e 35 °C	31
Tabela 5	–	Índice de velocidade de germinação de <i>J. laevilinguis</i> , <i>J. rubrobracteata</i> , <i>J. sphaerosperma</i> e <i>J. triloba</i> a 25 °C, 30 °C e 35 °C	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 ACANTHACEAE	13
2.2 GERMINAÇÃO	13
2.3 DORMÊNCIA	15
3. OBJETIVOS	18
3.1. OBJETIVO GERAL	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1. MODELOS DE ESTUDO E COLETA DE SEMENTES.....	19
4.2. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS SEMENTES.....	19
4.3. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA DAS SEMENTES E CURVA DE ABSORÇÃO	20
4.4. TESTE DE GERMINAÇÃO	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5.1 TEOR DE ÁGUA E PESO DE CEM SEMENTES	25
6. CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1. INTRODUÇÃO

A germinação de sementes é a retomada do crescimento do embrião, um processo fisiológico complexo regulado pela interação de fatores internos, como a dormência, e externos, como água, temperatura e luz (Taiz et al., 2017). O entendimento desses fatores é fundamental em cada espécie, pois, permite identificar os nichos de regeneração, processo essencial para o sucesso do estabelecimento de plântulas em projetos de restauração e conservação (Lima et al., 2024). Assim, a pesquisa sobre germinação tem um papel central tanto na agricultura quanto na preservação da biodiversidade (Silva et al., 2022).

O estudo da ecofisiologia da germinação de sementes é fundamental para a compreensão da biologia de uma espécie, pois permite identificar os fatores ambientais que regulam a quebra da dormência e o seu estabelecimento inicial, fornecendo informações essenciais para estratégias de conservação e restauração ambiental (Oliveira et al., 2024).

A dormência de sementes está diretamente relacionada à capacidade da espécie de persistir em ambientes mutáveis, e permite que a germinação ocorra em condições favoráveis e protege as sementes de fatores ambientais adversos (Fu et al., 2024). Os tipos mais comuns de dormência incluem a dormência fisiológica, que é a mais difundida e envolve a inibição da germinação por hormônios como o ácido abscísico (ABA); a dormência morfológica, caracterizada por um embrião subdesenvolvido que precisa crescer antes da germinação; e a dormência físico-mecânica, causada pela impermeabilidade do tegumento da semente à água e/ou oxigênio (Baskin e Baskin, 2014).

Além da ecofisiologia da germinação, estudos com biometria de sementes também são excelentes ferramentas para a compreensão dos filtros ambientais, potencial e dispersão das espécies, estágios sucessionais das comunidades e as dinâmicas utilizadas pelas sementes para germinar, se estabelecer e se desenvolver, o que caracteriza um atributo funcional da espécie (Silva et al. 2020).

A germinação e o estabelecimento de plântulas representam eventos-chave no ciclo de vida das espermatófitas (Donohue et al., 2010), especialmente em ecossistemas com sazonalidade marcada na disponibilidade de água, como as Florestas Tropicais Sazonalmente Secas (FTSSs), onde o timing da germinação é crucial para a sobrevivência e deve estar sincronizado com os curtos períodos favoráveis do ano (Baskin e Baskin, 2014). Nesses ambientes, a ecologia da germinação desempenha um papel crucial ao determinar os fatores que controlam o tempo e a eficiência desse processo na natureza. Para uma compreensão abrangente, é necessário integrar informações sobre a biologia das sementes e sua interação

com as condições ambientais desde a maturação até a germinação (Baskin e Baskin, 2014). As pesquisas nesse campo devem considerar a diversidade de formas de crescimento presentes nos ecossistemas, uma vez que trajetórias de história de vida contrastantes, como as de espécies herbáceas e lenhosas, estão frequentemente associadas a distintas estratégias de germinação e alocação de recursos no estágio de plântula (Barak et al., 2018).

Em escala global, os estudos sobre características das sementes — como tamanho, grau de umidade, comportamento de armazenamento e respostas de germinação — têm se concentrado predominantemente nas plantas lenhosas das FTSSs, apresentando variações na quantidade e no tipo de informação disponível para cada espécie (Ibarra-Manríquez et al., 2022). Contudo, os atributos das sementes de outras formas de crescimento, como ervas e trepadeiras, permanecem pouco documentados, ainda que esses grupos sejam reconhecidamente importantes para a estrutura, a dinâmica e a diversidade dessas florestas (Gentry, 1995; Lott e Atkinson, 2006).

De forma geral, os bancos de dados de traços funcionais de plantas têm avançado significativamente, mas ainda revelam uma cobertura taxonômica e geográfica desigual para espécies de regiões sazonalmente secas (Tietje et al., 2022). Esse viés é particularmente evidente na ecologia de sementes, onde os atributos de formas de crescimento não-lenhosas, como ervas e trepadeiras, permanecem amplamente sub-representados, apesar de seu papel crítico na montagem das comunidades vegetais (Ladouceur et al., 2018). Preencher esta lacuna é fundamental, uma vez que a diversidade de estratégias de regeneração, incluindo as de espécies não-arbóreas, é um determinante essencial para a resiliência e funcionamento dos ecossistemas frente às mudanças ambientais (Peguero et al., 2021).

A família Acanthaceae Juss., uma família pantropical de plantas com flores, destaca-se como um modelo de estudo promissor para germinação de sementes. Essa família possui um número expressivo de espécies e alto endemismo no Brasil, além de apresentar diversidade em hábito e morfologia, importância ecológica relevante e potencial ornamental e medicinal (Flora e Funga do Brasil, 2024). No entanto, persistem lacunas significativas no conhecimento sobre as características e funções ecológicas das espécies dessa família, especialmente no que diz respeito ao papel da germinação e às respostas às condições abióticas (Hortal et al., 2015). Recentemente, estudos sobre a morfologia das sementes de Acanthaceae têm revelado grande variedade e utilidade para a caracterização de linhagens, fornecendo informações valiosas para a delimitação de grupos de espécies (Azevedo e Moraes, 2019).

O foco desta dissertação é estudar os representantes da subtribo Justiciinae Ness. (Acanthaceae) que ocorrem na Caatinga, o maior núcleo de Florestas Tropicais Sazonalmente

Secas (FTSSs) da América do Sul. Justiciinae é uma linhagem heterogênea, composta por trepadeiras, ervas, subarbustos e arbustos, com endemismo e potencial ornamental amplamente reconhecidos (Chagas & Costa-Lima, 2020). A hipótese central é a de que essas espécies, apesar de exibirem hábitos de crescimento e ocuparem nichos ecológicos distintos, compartilham estratégias comuns de germinação, estabelecimento e sobrevivência de plântulas como adaptação ao ambiente semiárido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ACANTHACEAE

Acanthaceae compreende 190 gêneros e aproximadamente 4750 espécies, e ocorrem predominantemente em regiões tropicais (Daniel e McDade, 2014; Tripp e McDade, 2014). Essa família pertencente à ordem Lamiales e apresenta variados hábitos, que inclui ervas perenes, eretas ou rasteiras, subarbustos ou arbustos eretos ou decumbentes, às vezes escandentes, raramente arborescentes ou árvores propriamente ditas, com ramos raramente armadas; suas folhas são opostas e decussadas, simples e sem estípulas e, em muitos casos, com cistólitos na superfície da lâmina foliar; suas flores são hermafroditas, com cálice persistente, pentâmeras, gamopétalas, geralmente reunidas em inflorescências vistosas, com brácteas coloridas; o androceu apresenta 2 ou 4 estames, às vezes com estaminódios presentes; e seus os frutos são, na sua maioria, do tipo cápsula loculicida, com deiscência explosiva, raramente drupas; as sementes são geralmente planas, lenticulares, às vezes subesféricas, com superfície lisa, rugosa, verrucosa ou estriada, glabra ou com tricomas higroscópicos por toda a superfície ou restritos a borda (Kameyama, 2006; Flora e Funga do Brasil, 2024).

A família Acanthaceae tem um grande potencial ornamental, com espécies também utilizadas na medicina de comunidades tradicionais e indígenas em tratamentos de diferentes doenças. Há como exemplo, *Justicia pectoralis* Jacq., popularmente conhecida como “anador”, que é reportada como eficiente no tratamento de doenças do aparelho respiratório, consumida como chá por indígenas Tapebas para tratar a asma (Moraes *et al.*, 2005).

As espécies do gênero *Justicia* também possuem importância ecológica por serem abundantes em florestas úmidas e dominantes em ambientes semiáridos (Ezcurra, 2002). Do ponto de vista econômico, possuem alto teor de metabólitos secundários e óleos essenciais que podem ser explorados. Seus óleos voláteis são utilizados por diversas sociedades devido às suas propriedades terapêuticas e farmacológicas (Côrtes, 2009; Vilar, 2009). Estudos fitoquímicos sobre as espécies de Acanthaceae demonstraram que essas plantas são importantes na medicina tradicional para o tratamento de infecções e dores em geral (Okoli *et al.*, 2008).

2.2 GERMINAÇÃO

A germinação é considerada um dos estágios mais importantes do ciclo de vida vegetal. É um processo, com uma série de eventos que culminam no desenvolvimento de uma estrutura com potencial reprodutivo (Bewley et al., 2013). Nesse sentido, a compreensão das condições ideais para a germinação de sementes de uma determinada espécie é fundamental, uma vez que esse processo pode variar significativamente em função de fatores como viabilidade, dormência e condições ambientais, o que inclui água, luz, temperatura e oxigênio (Carvalho e Nakagawa, 2012).

Estudos sobre germinação são essenciais não apenas para a perpetuação das espécies, mas também para a recuperação de áreas degradadas, e para a caracterização do nicho de germinação de diversas espécies (Albrecht e Penagos, 2012). Dessa forma, a capacidade de uma semente germinar sob uma ampla gama de condições é uma manifestação de seu vigor, o qual depende, entre outros fatores, das condições ambientais (como temperatura e umidade) presentes no local de germinação (Simoni et al., 2011).

Entre os fatores ambientais que influenciam na germinação, destaca-se a temperatura. Não existe uma temperatura ótima uniforme para todas as espécies, de forma que é considerada ideal àquela em que a semente atinge seu potencial máximo de germinação. Temperaturas muito altas ou muito baixas podem se tornar um ponto crítico, e prejudicar o processo germinativo (Penfield e MacGregor, 2017). Portanto, a temperatura é um fator determinante para o sucesso da germinação, e variam conforme as adaptações específicas de cada espécie. A temperatura influencia na velocidade de absorção de água, consequentemente no índice de velocidade de germinação e germinação final. Geralmente quanto maior a temperatura, mais rápida é a absorção de água (Carvalho e Nakagawa, 2012).

Como estratégia de sobrevivência e perpetuação, as sementes de muitas espécies, especialmente aquelas de climas semiáridos, que sofrem com a escassez de água e temperaturas elevadas, desenvolveram a capacidade de suportar a dessecação ao final da fase de maturação e após atingirem a maturidade fisiológica. Essa característica permite que essas sementes, denominadas ortodoxas ou anidrobióticas, ampliem sua longevidade por meio de armazenamento em condições de baixa temperatura e umidade relativa do ar, mantendo sua viabilidade por anos (Marcos-Filho, 2015).

O armazenamento de sementes é uma ferramenta vital para a conservação *ex situ* de biodiversidade, permitindo a preservação da viabilidade e da diversidade genética de espécies por longos períodos. Sua eficiência, no entanto, é intrinsecamente ligada ao comportamento das sementes em relação à dessecação, o que determina os protocolos de secagem e as temperaturas ideais de armazenamento (Wyse e Dickie, 2017). A compreensão dessas

características fisiológicas é, portanto, o primeiro passo para a formação de bancos de sementes eficazes, que servem como arcas de Noé para a restauração ecológica e segurança alimentar (López e Rojas, 2021).

Especificamente, sementes ortodoxas toleram a secagem até que o seu teor de água seja reduzido para menos de 23%, o que diminui seu metabolismo e favorece a conservação da qualidade fisiológica durante o armazenamento (Ferreira e Borghetti, 2004). Assim, essa adaptação é fundamental para a preservação de espécies em ambientes adversos e para a manutenção de bancos de sementes.

2.3 DORMÊNCIA

A germinação de sementes é a retomada do crescimento do embrião, um processo fisiológico complexo regulado pela interação de fatores internos, como a dormência, e externos, como água, temperatura e luz (Taiz et al., 2017).

A ideia de dormência é bastante antiga, remontando ao momento em que o ser humano observou que algumas sementes, mesmo recém-colhidas, aparentemente maduras e viáveis, não germinavam ao serem plantadas (Labouriau, 1983). Após os estudos iniciais, focados principalmente na indução da germinação de sementes dormentes, houve um grande esforço da comunidade científica para sistematizar os conhecimentos adquiridos. Esse trabalho buscou estabelecer uma conceituação clara e universal da dormência, de forma que o fenômeno pudesse ser descrito de maneira precisa e padronizada (Baskin e Baskin, 2021). O entendimento desses fatores é fundamental para cada espécie, pois permite identificar os seus nichos de regeneração, processo essencial para o sucesso do estabelecimento de plântulas em projetos de restauração e conservação (Silva et al., 2022). Assim, a pesquisa sobre germinação tem um papel central, fornecendo bases científicas tanto para o avanço da agricultura quanto para a preservação da biodiversidade.

Nas últimas décadas, diversos estudos e revisões têm contribuído para aprofundar o entendimento desse processo e elucidar o fenômeno da dormência. Esse esforço culminou na proposição e no refinamento de um sistema de classificação detalhado e amplamente aceito, que categoriza a dormência em diferentes tipos com base em suas causas fisiológicas, morfológicas e combinadas (Baskin e Baskin, 2014). A contínua centralidade e o desenvolvimento deste sistema são evidenciados pelos próprios autores, que publicaram uma revisão abrangente para atualizá-lo e solidificá-lo como a estrutura principal para a pesquisa na área (Baskin e Baskin, 2021).

A dormência é vista como um processo evolutivo das sementes que proporciona um importante mecanismo de sobrevivência (Medeiros, 2001). É um mecanismo que oferece benefícios adaptativos ao evitar condições temporárias que prejudiquem o crescimento e estabelecimento das plantas, além de auxiliar na formação de banco de sementes no solo (Carvalho e Nakagawa, 2000). A dormência também pode ser entendida como um bloqueio na capacidade de germinação de sementes em condições ambientais desfavoráveis. Já sementes que não apresentam dormência – denominadas quiescentes – não necessitam da superação de dormência para germinar (Baskin e Baskin, 2004).

Por estar ligada a várias causas, a dormência é um aspecto com pouca informação quando se trata de biologia de sementes, e sua classificação é baseada na origem, na localização e nos métodos envolvidos no processo (Finkelstein et al., 2008). Grande parte das classificações usadas é derivada da proposta por Nikolaeva (1977), com base na morfologia das sementes. A dormência pode ser dividida em dois tipos: primária, quando ocorre antes da dispersão, como parte do desenvolvimento das sementes; e secundária, quando é adquirida com a semente já madura (Finkelstein et al., 2008).

Quanto à localização das estratégias de dormência, estas podem ocorrer em duas partes principais: no embrião ou nos envoltórios. Na dormência do embrião, estão incluídos os eventos de inibição metabólica e imaturidade do embrião, onde este necessita de um período de pós-maturação em condições específicas para completar seu desenvolvimento (Baskin e Baskin, 2014). Além disso, a dormência fisiológica, um dos tipos mais comuns, é regulada por um balanço de hormônios inibidores (como o ácido abscísico - ABA) e promotores do crescimento (como as giberelinas - GA) (Finch-Savage e Leubner-Metzger, 2006).

No que se refere à dormência imposta pelos envoltórios (sementes com dormência física e física-fisiológica), cita-se a impermeabilidade do tegumento, que pode ser uma barreira física à entrada de água e gases, sendo uma característica comum em famílias como Fabaceae (Baskin e Baskin, 2014). A presença de inibidores químicos de germinação nos envoltórios, que precisam ser lixiviados para que a germinação ocorra, também é um mecanismo fundamental (Shu et al., 2016). Adicionalmente, a restrição mecânica imposta pelos tegumentos, que impede a expansão do embrião, mesmo quando este está metabolicamente ativo, contribui significativamente para a dormência (Willis et al., 2014). Outro fator importante é a interferência na troca de gases, onde os envoltórios atuam como uma barreira à difusão de oxigênio, necessária para a respiração do embrião (Bewley et al., 2013).

A dormência do embrião, que inclui os processos de inibição metabólica e imaturidade, foi definida por Nikolaeva (1977) como dormência endógena e dividida em três categorias:

fisiológica, morfológica e morfofisiológica. Os mecanismos que causam a inibição fisiológica do embrião, os quais impedem a protrusão da radícula, são chamados de dormência fisiológica, a qual pode estar diretamente relacionada com o equilíbrio entre hormônios e reguladores vegetais (Piroli et al., 2005). A dormência morfológica ocorre quando o embrião é pequeno e subdesenvolvido, de modo que os cotilédones e o eixo hipocótilo-radícula não se distinguem (Baskin e Baskin, 2014). Dessa forma, a protrusão é precedida por uma fase de crescimento intraseminal sob condições ambientais favoráveis (Cardoso, 2009).

A dormência física, imposta principalmente pela impermeabilidade do tegumento à água e aos gases, é uma adaptação evolutiva crucial que garante a sobrevivência e o estabelecimento oportuno de diversas espécies vegetais, notadamente em famílias como Fabaceae e Cistaceae (Souza et al., 2020). Essa barreira física impede a embebição e, consequentemente, o início do processo germinativo até que seja quebrada por mecanismos naturais específicos, como a abrasão por microrganismos do solo, a ação do fogo, flutuações térmicas ou a passagem pelo trato digestivo de animais (de Paula et al., 2022). Estudos recentes têm avançado além da mera descrição morfológica, e tem elucidado os mecanismos moleculares e bioquímicos envolvidos na formação e na quebra da camada impermeável, incluindo a deposição diferencial de suberina, lignina e cutina, bem como a regulação gênica associada a esses processos (Shu et al., 2022). Dessa forma, a superação da dormência física depende da interação complexa entre as propriedades estruturais da semente e as condições ambientais do ecossistema, que atuam como sinalizadoras para a liberação da dormência no momento mais propício para a plântula (Baskin e Baskin, 2014; Singh et al., 2021).

A família Acanthaceae, e em particular a subtribo Justiciinae (que inclui o gênero *Justicia*), apresenta exemplos notáveis de dormência física e fisiológica em suas sementes. O Estudo revela que muitas espécies desta subtribo produzem sementes com tegumentos impermeáveis à água (dormência física), uma adaptação comum em ambientes sazonais que garante a germinação apenas quando as condições de umidade e temperatura são ideais, como no início da estação chuvosa (Kissmann et al., 2012). Além disso, pesquisas com espécies do gênero *Justicia* demonstraram que, mesmo com a superação da barreira física via escarificação, algumas sementes podem exibir dormência fisiológica, e necessitam de estímulos luminosos ou térmicos específicos para germinar (Ferreira e Borghetti, 2004; Soares et al., 2021). Essa combinação de mecanismos assegura uma germinação escalonada e aumenta as chances de estabelecimento das plântulas, refletindo uma estratégia evolutiva eficaz em habitats imprevisíveis.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar os atributos morfológicos e ecofisiológicos envolvidos na germinação de sementes de quatro espécies do gênero *Justicia* que ocorrem na Caatinga.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Mensurar os parâmetros morfológicos externos das sementes das espécies de *Justiciinae* e verificar a sua relação com a germinação;
- 2) Determinar a curva de absorção de água e a germinação sob diferentes temperaturas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. MODELOS DE ESTUDO E COLETA DE SEMENTES

As espécies de Acanthaceae objeto deste estudo (Tabela 1) foram selecionadas de modo a incluir a maior amplitude de características morfológicas, ecológicas e funcionais dentro da linhagem Justicieae. Além disso, inclui espécies endêmicas da Caatinga, potencialmente ornamentais e com ocorrência em ecossistemas frágeis. O hábito e hábitat onde as espécies ocorrem foram baseados em Costa-Lima e Chagas (2019) e Chagas e Costa-Lima (2024).

Tabela 1. Lista de espécies avaliadas, hábitos, habitats e locais de coleta.

ESPÉCIE	FC	SUBST	LOCAIS DE COLETA	COORDENADS GEOGRÁFICAS
<i>Justicia sphaerosperma</i> Vahl.	Arbusto	Aquático	Mun. Serra Caiada (RN)	6°06'47.2''S 35°41'33.0'' W
<i>Justicia laevilinguis</i> (Nees) Lindau	Erva	Aquático	Mun. Serra Caiada (RN)	6°08'42.4S'' 35°42'42'1 W
<i>Justicia rubrobracteata</i> Alcantara & G.Soures	Arbusto	Cristalino	Mun. Serra Caiada (RN)	°06'13.7''S 35°43'23'23.5 W
<i>Justicia triloba</i> (Lindau) E.C.O.Chagas & Costa-Lima	Arbusto escandente	Sedimentar	Rodoleiro, Mun. Umburanas (BA)	10°37'13.4''S 41°27'44.3''W

FC – Forma de Crescimento; SUBST – Substrato;
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

As sementes foram coletadas nas localidades apresentadas na Tabela 1. Depois de coletadas, as sementes foram beneficiadas com retirada de todas as impurezas e depois foram colocadas em potes hermeticamente fechados e armazenadas em câmara controlada (17°C; 45,0% UR) do Laboratório de Análises de Sementes (LAS) pertencente ao Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró/RN, Brasil.

4.2. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DAS SEMENTES

Para a caracterização morfológica foram utilizadas 100 sementes de cada espécie, tomadas aleatoriamente das subpopulações amostradas. Foram mensurados o comprimento (da base até o ápice (nas medidas na linha mediana das sementes), com o auxílio de um paquímetro.

Além disso, a morfologia externa da testa da semente foi descrita a partir de microscopia eletrônica de varredura (MEV), modelo VEGA3. Para isso, as sementes foram revestidas com ouro e depois observadas e fotografadas com o microscópio no Laboratório de Microscopia Eletrônica da UFERSA-campus Mossoró.

4.3. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA DAS SEMENTES E CURVA DE ABSORÇÃO

Antes da instalação dos experimentos, foi determinado o teor de água através do método da estufa a 105 ± 3 °C durante 24 horas (Brasil, 2009), com duas repetições de 20 sementes (Brasil, 2009). O teor de água foi calculado com base na massa úmida e expresso em porcentagem.

A curva de embebição foi realizada com 100 sementes, pesadas em balança analítica digital (0,001 g) antes da embebição e após cada intervalo de tempo previamente determinado, até a emissão da raiz primária. Antes de serem embebidas, as sementes foram acondicionadas em sacos com o fungicida Manfil® 800 WP na dose de 1,5g/kg de sementes para evitar contaminações por fungos, o qual foi agitado para sua distribuição de maneira uniforme nas sementes. A embebição das sementes ocorreu em papel toalha sob a forma de rolo de papel, previamente umedecidos com 2,5 vezes o peso seco. Os rolos foram colocados em sacos plásticos e mantidos em câmara de germinação nas temperaturas de 25 °C e 35 °C. Inicialmente, os intervalos de pesagem aconteceram a cada três horas durante vinte quatro horas de embebição; em seguida, pesou-se a cada doze horas até completar quarenta e oito horas de embebição; e, por último, as pesagens foram a cada vinte e quatro horas durante dezessete dias, totalizando, ao todo, quatrocentos e cinquenta e seis horas.

4.4. TESTE DE GERMINAÇÃO

Devido nenhuma espécie ter germinado na curva de absorção de água, foram feitos testes preliminares com o uso de desponte e ácido giberélico. Dessa forma, previamente para as espécies *J. triloba* e *J. rubrobracteata* foi realizado o desponte + imersão no ácido giberélico concentração de 100 mg/L por 24 horas. Já para as espécies *J. sphaerosperma* e *J. laevilinguins* foi feito apenas a imersão no ácido giberélico, devido as sementes serem muito pequenas, o que não permitiu o desponte. O teste de germinação foi realizado com quatro repetições de 25

sementes, sobre duas folhas de mata-borrão, o qual foi umedecido com água destilada, com quantidade igual a 2,5 vezes o peso seco do papel, e alocados em caixa gerbox,

As caixas foram colocadas em sacos plásticos e mantidas em germinadores do tipo *Biochemical Oxygen Demand* (B.O.D) submetido a temperatura constante de $30\pm 2^{\circ}\text{C}$, com fotoperíodo de 12 horas. Neste trabalho, utilizou-se o critério botânico, considerando como germinada a semente que apresentou emergência visível da raiz primária.

Durante o período de germinação, foi avaliado o índice de velocidade de germinação, o qual foi realizado simultaneamente ao teste de germinação, realizando-se contagens diárias de emissão de raiz primária pós o dia seguinte à sementeira, até o final do teste que durou 14 dias.

O índice foi determinado pela seguinte fórmula: $IVG = N1/D1 + N2/D2 + \dots + Nn/Dn$, onde N = número de sementes germinadas observadas no dia da contagem e D = número de dias após a sementeira em que foi feita a contagem (Maguire, 1962).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e, quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada com auxílio do programa computacional Sistema para Análise de Variância – SISVAR (Ferreira, 2019).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados biométricos revelam uma notável variabilidade morfológica entre as sementes das espécies de *Justicia* analisadas. As sementes de *J. triloba* destacam-se significativamente das demais, com médias de 6,49 mm de comprimento e 6,98 mm de largura, sendo aproximadamente duas vezes maiores que as de *J. sphaerosperma* e *J. rubrobracteata* (Tabela 2).

Essa disparidade está alinhada com observações em outras Acanthaceae, onde a variação no tamanho das sementes é frequente e atribuída a fatores genéticos, ecológicos e adaptativos (Mendoza-Fernández et al., 2020). Por exemplo, sementes maiores, como as de *J. triloba*, geralmente contêm maiores reservas nutritivas, o que pode favorecer o estabelecimento de plântulas em ambientes competitivos ou sob condições de estresse (Visscher et al., 2021).

Tabela 2: Valores médios, máximos, mínimos e desvios padrões do comprimento e largura das sementes de *J. sphaerosperma*, *J. laevilinguins*, *J. rubrobracteata* e *J. triloba*.

ESPÉCIE	DIMENSÃO	MÉDIA	MÁXIMO	MÍNIMO	DESVIO PADRÃO
<i>J. shpaerosperma</i>	Comprimento (mm)	2,93	3,7	2,12	0,28
	Largura (mm)	2,99	3,98	2,1	0,30
<i>J. laevilinguins</i>	Comprimento (mm)	3,61	4,22	2,55	0,26
	Largura (mm)	3,90	4,95	3,17	0,30
<i>J. rubrobracteata</i>	Comprimento (mm)	2,24	2,29	1,64	0,25
	Largura (mm)	2,05	2,74	1,18	0,27
<i>J. triloba</i>	Comprimento (mm)	6,49	7,77	5,49	0,47
	Largura (mm)	6,98	8,4	6,1	0,47

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

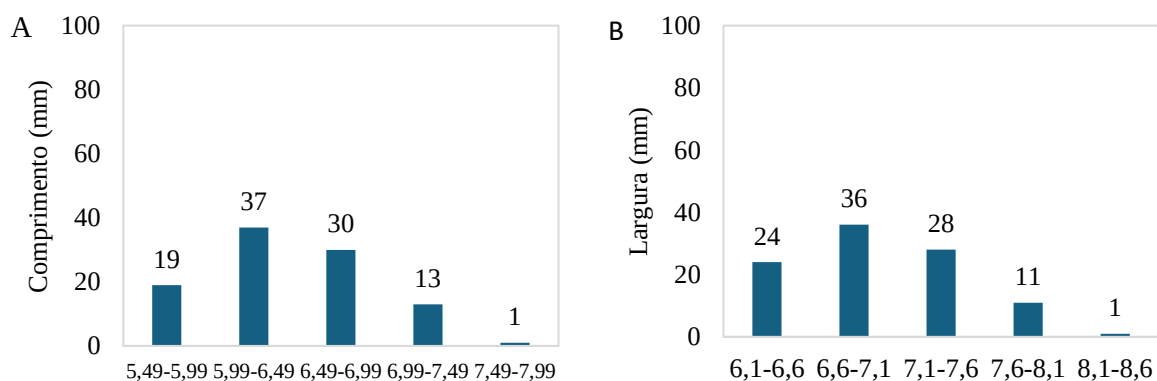
A menor variabilidade (desvio padrão $\leq 0,30$) observada em *J. sphaerosperma* e *J. laevilinguins* sugere uma maior uniformidade morfológica, possivelmente indicando estabilidade genética ou influência de condições ambientais homogêneas durante o desenvolvimento (Bewley et al., 2013). Por outro lado, os valores mais altos de desvio padrão em *J. triloba* (0,47 para ambas as dimensões) podem refletir uma maior plasticidade fenotípica ou diversidade intraespecífica, comum em espécies com ampla distribuição geográfica ou que ocupam habitats heterogêneos (Souza et al., 2020).

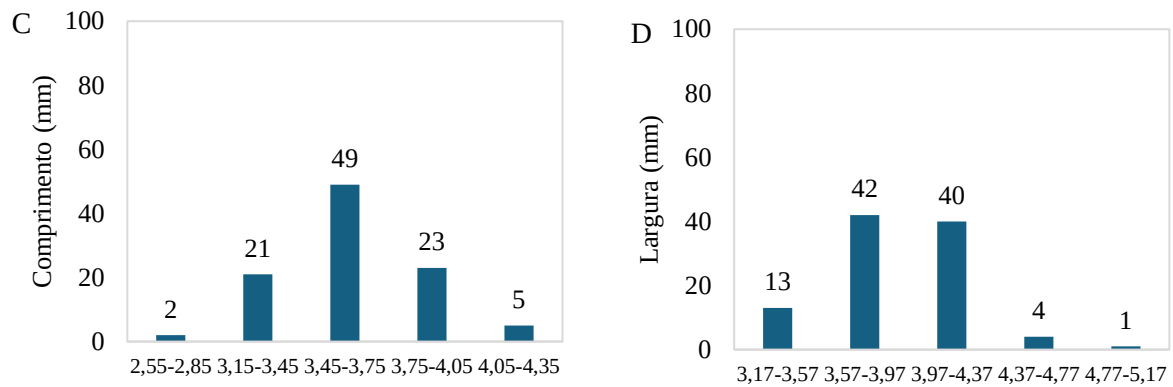
Vale ressaltar que as diferenças biométricas podem estar correlacionadas com estratégias de dispersão e germinação. Sementes menores, como as de *J. sphaerosperma* e *J. rubrobracteata*, são frequentemente associadas à dispersão anemocórica ou por insetos, enquanto sementes maiores podem estar relacionadas a dispersão por gravidade ou por

vertebrados (Ferreira e Borghetti, 2004). Estudos futuros podem investigar se essas variações influenciam diretamente a profundidade de dormência ou a resposta germinativa sob diferentes condições ambientais.

As sementes de *J. triloba* apresentaram dimensões significativamente maiores (comprimento: 6,6-7,1 mm; largura: 5,99-6,49 mm) em comparação com outras espécies de *Justicia* estudadas, como evidenciado na Figura 1 (A e B). Esta marcante diferença dimensional intragenérica, documentada em outros grupos vegetais (Mendoza-Fernández et al., 2021), sugere estratégias ecológicas distintas, possivelmente envolvendo diferentes mecanismos de dispersão (zoocoria vs. anemocoria) e variada alocação de recursos para o desenvolvimento de plântulas. O maior tamanho das sementes pode conferir vantagens competitivas em ambientes com maiores níveis de estresse

As sementes de *J. laevilinguins* apresentaram uma morfologia distintiva (comprimento: 3,45-3,75 mm; largura: 3,97-4,37 mm), caracterizada por serem mais largas que longas, como evidenciado na Figura 1 (C e D). Esta configuração morfológica atípica, documentada em outras espécies de Acanthaceae (Chen et al., 2023), sugere adaptações específicas para dispersão, possivelmente envolvendo mecanismos hidrocóricos ou anemocóricos otimizados. A forma wider-than-long pode favorecer flutuação em meio aquático ou comportamento aerodinâmico particular durante a dispersão pelo vento, representando uma estratégia evolutiva distintiva dentro do gênero.



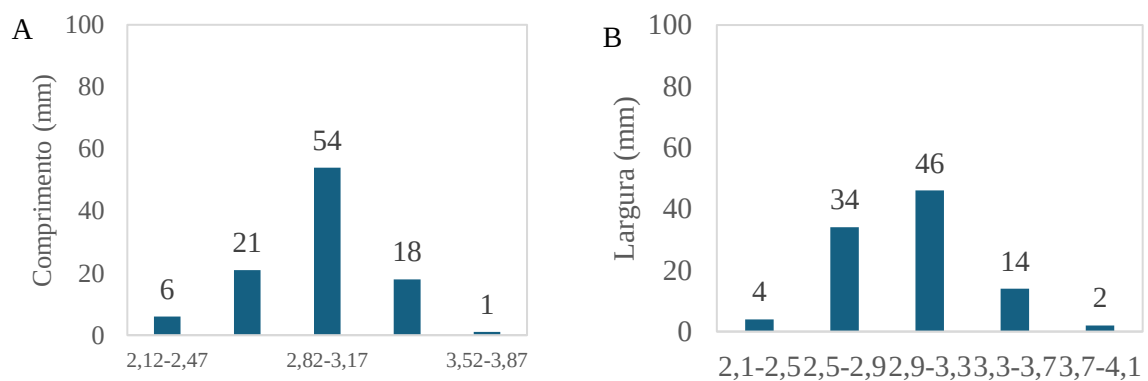


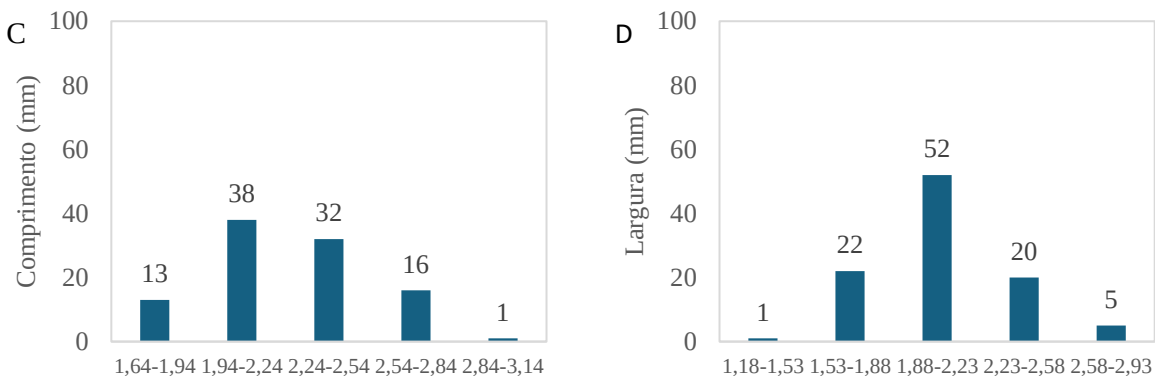
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 1: Frequência dos dados biométricos (comprimento e largura) das sementes de *J. triloba* (A e B) e *J. laevilinguins* (C e D).

Os dados biométricos de *J. sphoerosperma* (comprimento: 2,88-3,71 mm; largura: 2,9-3,3 mm) revelam baixa variabilidade dimensional intraespecífica, sugerindo alta constância morfológica nas sementes desta espécie (Figura 2, A e B). Essa uniformidade pode indicar: especialização adaptativa a mecanismos específicos de dispersão, estreita relação com polinizadores ou dispersores específicos e conservação evolutiva das características do diásporo (Melo, et al, 2021).

As sementes de *J. rubrobracteata* apresentaram dimensões notavelmente uniformes (comprimento: 1,94-2,24 mm; largura: 1,88-2,23 mm), como evidenciado na Figura 2. Esta baixa variabilidade morfométrica, característica de várias espécies de Acanthaceae (Agra et al., 2022), sugere especialização adaptativa a mecanismos específicos de dispersão, possivelmente anemocórica, dada as reduzidas dimensões e potencial leveza das sementes. A consistência dimensional observada pode refletir estabilidade evolutiva e eficiência adaptativa em ambientes específicos (Figura 2 C e D)





Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 2: Frequência dos dados biométricos (comprimento e largura) das sementes de *J. sphaerosperma* (A e B) e *J. rubrobracteata* (C e D).

5.1 TEOR DE ÁGUA E PESO DE CEM SEMENTES

A espécie *J. rubrobracteata* apresentou o maior teor de água (22,65%) (Tabela 3). Para o armazenamento seguro de sementes ortodoxas recomenda-se o grau de umidade abaixo de 13,0% (EMBRAPA, 2023).. Sementes com elevado teor de água estão mais suscetíveis à deterioração por processos metabólicos acelerados, crescimento de fungos e degradação de reservas, o que reduz drasticamente sua longevidade e vigor durante o armazenamento (Bewley et al., 2013; Marcos-Filho, 2015). *J. laevilinguins* (13,29%) também apresentou um valor acima do recomendado, indicando a necessidade de secagem pré-armazenamento para evitar perdas de qualidade (Tabela 3).

Tabela 3: Grau de umidade e peso de cem sementes de quatro espécies do gênero Justicia.

Espécies	Grau de umidade (%)	Peso de cem sementes (g)
<i>J. sphaerosperma</i>	12,4	0,525
<i>J. laevilinguins</i>	13,29	0,154
<i>J. rubrobracteata</i>	22,65	0,163
<i>J. triloba</i>	9,12	2,035

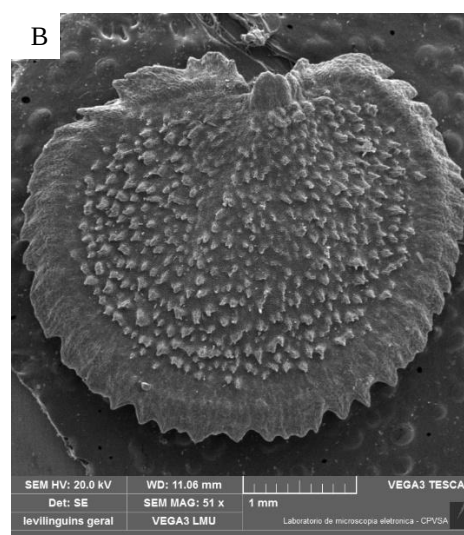
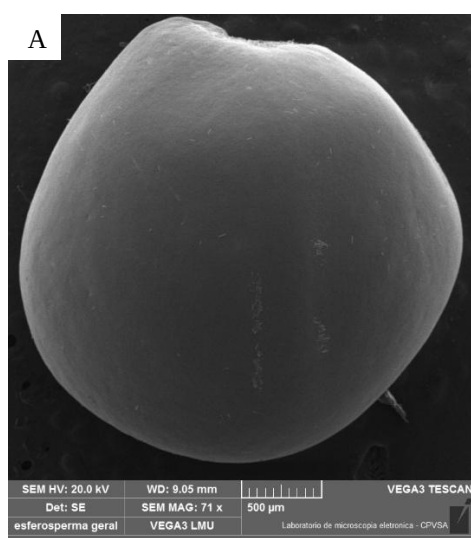
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Nota-se que *J. triloba*, com o menor teor de umidade (9,12%), possui o maior peso de cem sementes (2,035 g), sugerindo que sementes maiores e mais densas podem atingir níveis de dessecação mais adequados naturalmente ou ter maior eficiência no controle de perda de água (Tabela 3). Por outro lado, espécies com sementes mais leves, como *J. laevilinguins* (0,154

g) e *J. rubrobracteata* (0,163 g), tenderam a reter mais umidade, possivelmente devido a características morfo-anatômicas do tegumento ou à composição de suas reservas (Silva et al., 2021).

Para garantir a viabilidade das sementes de *J. rubrobracteata* e *J. laevilinguins* em bancos de germoplasma, é essencial submetê-las a secagem controlada (ex.: em estufas a 40-42°C) até atingirem patamares seguros ($\leq 12\%$). Esse cuidado é crítico, pois sementes recalcitrantes ou intermediárias (comum em algumas Acanthaceae) não toleram dessecação excessiva, exigindo equilíbrio entre redução de água e manutenção da integridade celular (Barbedo et al., 2013).

A partir das imagens captadas pelo MEV, foi possível visualizar tricomas no tegumento em três espécies: *J. laevilinguins*, *J. rubrobracteata*, e *J. triloba* (Figura 3B, 3C e 3D). Com base nas imagens do MEV, a presença de tricomas higroscópicos no tegumento de *J. laevilinguins*, *J. rubrobracteata* e *J. triloba*, bem como sua ausência em *J. sphaerosperma*, revela aspectos funcionais e ecológicos relevantes para a biologia das sementes dessas espécies. Os tricomas higroscópicos em Acanthaceae estão frequentemente associados à absorção rápida de água, facilitando a embebição e a germinação em ambientes com disponibilidade hídrica irregular (Heywood et al., 2020). Essas estruturas podem secretar mucilagem que retém água ao redor da semente, criando um microambiente úmido e potencialmente protegendo contra a dessecação em fases críticas (Huang et al., 2021).



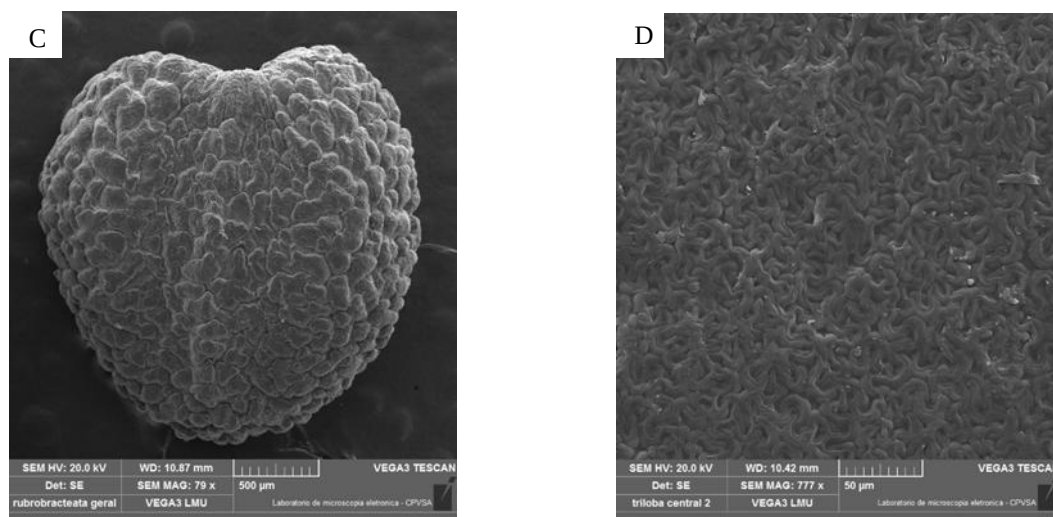


Figure 3. Imagens captadas pelo Microscópio Eletrônico de Varredura, do tegumento das sementes de **(A)** *J. sphaerosperma*; **(B)** *J. levilinguins*; **(C)** *J. rubrobracteata* e **(D)** *J. triloba*.

A ausência de tricomas em *J. sphaerosperma* (Figura 3 A) sugere que essa espécie pode depender de outras adaptações para a absorção de água, como poros ou fissuras no tegumento, ou mesmo apresentar um comportamento germinativo distinto (germinação mais lenta ou dependente de condições específicas). Estudos em Acanthaceae relatam que a variabilidade na presença de tricomas está ligada a diferenças evolutivas e adaptativas entre gêneros e espécies, refletindo estratégias ecológicas divergentes (Randle et al., 2022).

A presença de tricomas também pode estar correlacionada com mecanismos de dispersão. Em algumas espécies, tricomas mucilaginosos auxiliam na adesão a substratos ou até mesmo a animais, favorecendo a dispersão (Silveira et al., 2020). A ausência dessas estruturas em *J. sphaerosperma* pode indicar uma estratégia de dispersão alternativa, como dependência de gravidade ou de agentes abióticos.

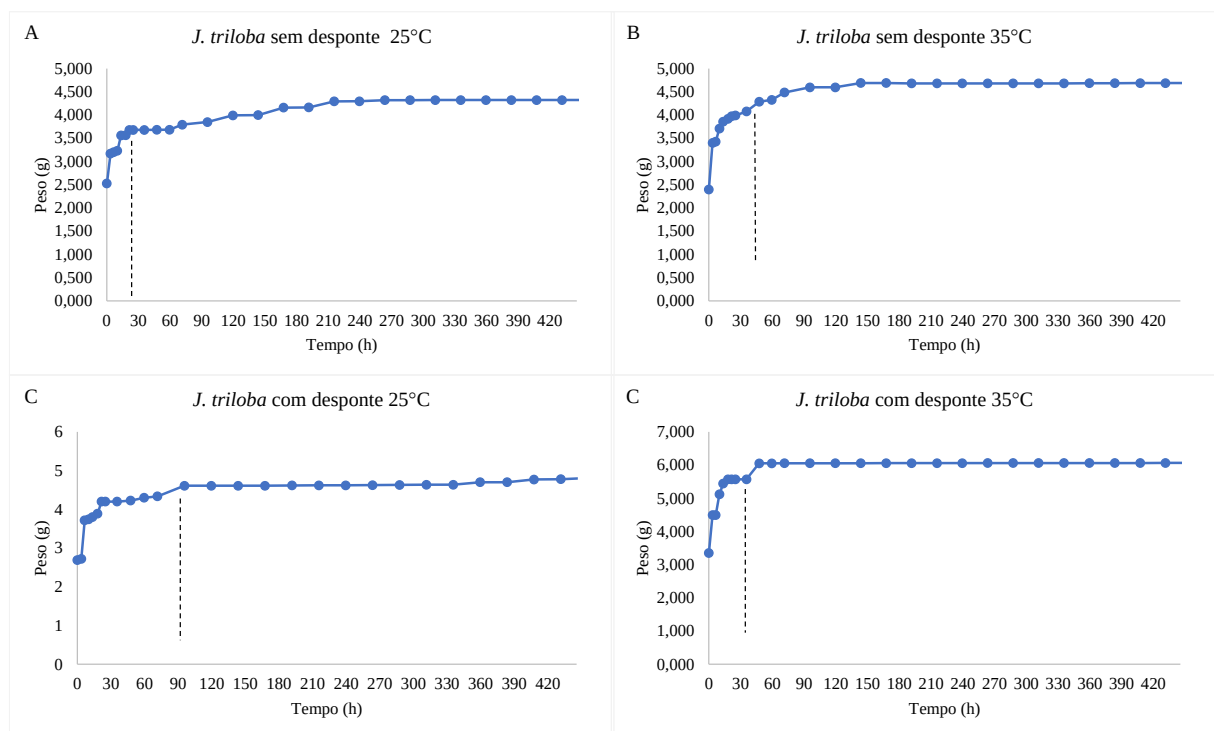
Em resumo, a variabilidade na presença e densidade de tricomas entre as espécies de *Justicia* analisadas reflete a notável diversidade de estratégias morfoanatômicas presentes na família Acanthaceae. Essas adaptações estruturais, por sua vez, podem desempenhar um papel ecológico crucial, influenciando diretamente a absorção de água, a tolerância à dessecação e a interação com o microambiente, o que sublinha a urgência de estudos futuros que investiguem de forma mais precisa como tais características modulam a germinação e o estabelecimento de plântulas em condições naturais (Balkwill, Campbell, Balkwill, 2023).

Com base nos resultados apresentados é possível discutir os mecanismos fisiológicos e ecológicos subjacentes aos padrões de absorção de água observados nas sementes do gênero *Justicia*. O rápido ganho de peso nas primeiras horas de embebição, especialmente a 35°C, está

alinhado com o comportamento clássico de sementes com tegumentos permeáveis, onde a absorção inicial é derivada por gradientes de potencial hídrico e facilitada por temperaturas mais elevadas, que reduzem a viscosidade da água e aumentam a permeabilidade de membranas (Bradford, 2018). Esse padrão é típico da Fase I de embebição, caracterizada pela entrada de água via processos físicos (embebição coloidal), como descrito por Bewley et al. (2013).

Por possuírem o tegumento mais espesso, apenas as sementes de *J. triloba* foi submetida ao teste com e sem escarificação mecânica (desponte), conforme mostrado na Figura 4.

A maior velocidade de absorção em sementes de *J. triloba* (Figuras 4C e 4D) submetidas ao desponte (escarificação mecânica) confirma que o tegumento atua como barreira física à entrada de água, um fenômeno comum em espécies com dormência física ou tegumentos espessos (Baskin e Baskin, 2014). A resposta acentuada ao desponte indica que a superação dessa barreira é fundamental para a embebição eficiente, especialmente em ambientes onde flutuações térmicas podem modular a velocidade de hidratação (Santana e Pereira, 2023).



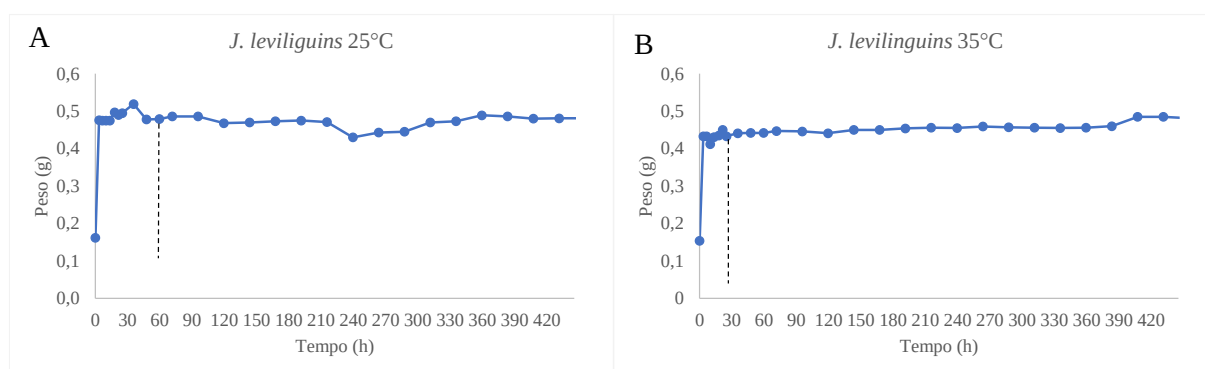
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 4: Curva de absorção de água de sementes de *J. triloba*, sem desponte a 25 °C (A) e a 35 °C (B) e com desponte a 25 °C (C) e a 35 °C (D).

A absorção mais lenta em sementes intactas reflete a função do tegumento como regulador da germinação, evitando a entrada rápida de água que poderia causar danos celulares

por estresse osmótico ou liberação precoce de processos metabólicos (Nonogaki, 2018). Essa modulação é particularmente relevante em ecossistemas tropicais, onde chuvas irregulares e altas temperaturas exigem mecanismos de controle fino da hidratação para sincronizar a germinação com condições favoráveis (Lamichhane et al., 2022).

Os dados demonstram que a absorção de água em sementes de *J. laevilinguins* foi significativamente mais acelerada a 35 °C em comparação com temperaturas mais baixa (Figura 5). Este comportamento está alinhado com princípios termodinâmicos e fisiológicos bem estabelecidos: temperaturas elevadas reduzem a viscosidade da água e aumentam a permeabilidade das membranas celulares, facilitando a difusão hídrica durante a fase inicial de embebição (Bradford, 2018). Esse fenômeno é particularmente relevante em espécies tropicais, como muitas Acanthaceae, cujas sementes podem estar adaptadas a germinar sob condições de alta temperatura ambiental (Santana e Pereira, 2023).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 5: Curva de absorção de água de *J. laevilinguins*, sem desponte, submetidas a 25°C (A) e 35°C (B).

A resposta acelerada a 35 °C sugere que *J. laevilinguins* possui tegumento com propriedades físico-químicas sensíveis à temperatura, possivelmente devido à composição de lipídios ou proteínas que se tornam mais permeáveis com o aumento do calor (Bewley et al., 2013). Essa adaptação pode conferir vantagens ecológicas, sincronizando a germinação com períodos quentes e úmidos, que são ideais para o estabelecimento de plântulas em habitats naturais (Lamichhane et al., 2022).

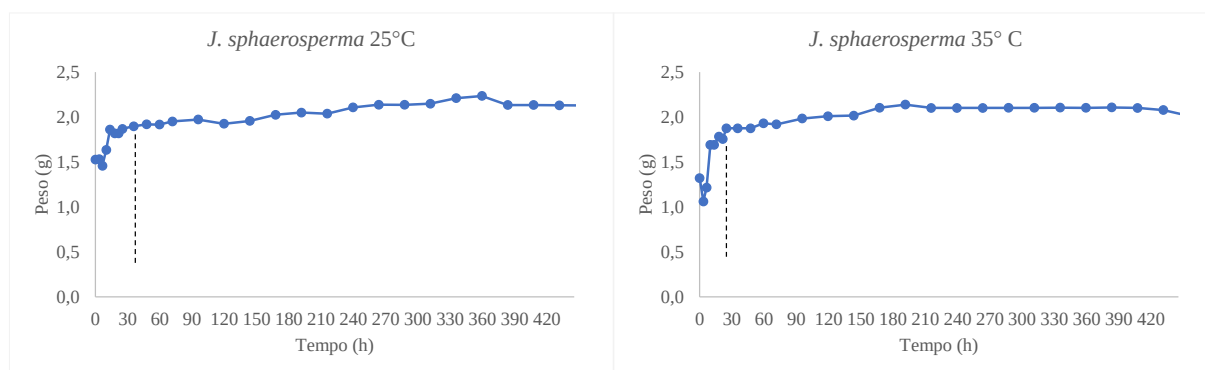
No entanto, é importante destacar que temperaturas excessivamente altas podem ser prejudiciais após a fase inicial de embebição, pois podem desnaturar proteínas ou acelerar processos oxidativos (Zhang et al., 2021). Portanto, a otimização térmica observada em *J. laevilinguins* reflete um balanço evolutivo entre hidratação rápida e proteção contra estresses abióticos.

A semelhança na curva de absorção de água entre as temperaturas de 25°C e 35°C em sementes intactas (sem desponte) de *J. laevilinguins* indica que o tegumento desta espécie atua como uma barreira física eficiente, limitando a entrada de água independentemente das variações térmicas no ambiente externo. Este comportamento sugere que o tegumento possui características estruturais – como composição lignificada, cutícula espessa ou camadas de suberina – que restringem a difusão hídrica e minimizam a influência da temperatura na taxa de embebição inicial (Baskin e Baskin, 2014; Huang et al., 2021).

Do ponto de vista ecológico, a independência térmica na absorção de água pode ser uma adaptação para evitar germinação precoce em condições de flutuações térmicas bruscas, comuns em microhabitats tropicais onde a espécie ocorre (Santana e Pereira, 2023). Ao amortecer o efeito da temperatura, o tegumento garante que a hidratação do embrião ocorra apenas quando a barreira física for rompida por mecanismos específicos (ex.: ação microbiana, fogo, ou digestão por fauna), assegurando sincronia com condições favoráveis ao estabelecimento (Lamichhane et al., 2022).

Fisiologicamente, a resposta similar entre 25 °C e 35 °C reforça que a fase inicial de embebição em sementes intactas é dominada por processos físicos (embebição coloidal), que dependem principalmente do gradiente de potencial hídrico entre a semente e o substrato de reações metabólicas sensíveis à temperatura (Bewley et al., 2013). Este padrão contrasta com o observado em sementes escarificadas (com desponte), onde a remoção da barreira física permite que a temperatura influencie diretamente a cinética de hidratação.

Para *J. sphaerosperma*, não houve diferença significativa na absorção de água entre as duas temperaturas testadas (Figura 6), sugerindo que a permeabilidade do tegumento não é sensível a variações térmicas nessa espécie acontecendo da mesma maneira que *J. laevilinguins*



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 6: Curva de absorção de água de *J. sphaerosperma* sem desponte, submetidas a 25°C e 35°C.

Os resultados demonstram uma variação interespecífica significativa na resposta germinativa às temperaturas, refletindo estratégias ecológicas distintas entre as espécies estudadas. A elevada germinação de *J. triloba* a 25°C (77%) e sua tolerância relativa a 35°C (38%) sugerem que esta espécie possui ampla adaptação térmica, possivelmente associada a habitats com flutuações moderadas de temperatura ou a mecanismos fisiológicos robustos que protegem o embrião sob estresse (Bewley et al., 2013). Esse padrão é típico de espécies generalistas, capazes de germinar em condições ambientais variáveis (Santo et al., 2021).

A resposta positiva de *J. laevilinguis* a 30°C (53%), contrastando com a redução a 25°C e 35°C, indica que esta espécie possui uma janela térmica estreita para germinação, característica de organismos adaptados a microhabitats específicos (Lamichhane et al., 2022). Essa sensibilidade térmica pode estar ligada à ativação enzimática otimizada nesta temperatura, como a mobilização de reservas por giberelinas (Nonogaki, 2018).

A diferença na resposta à temperatura (25°C vs. 35°C) evidencia a plasticidade fisiológica dessas espécies. Temperaturas mais elevadas, ao reduzirem a viscosidade da água e aumentarem a permeabilidade membranar, tendem a acelerar a cinética de hidratação e a mobilização de reservas, mas também elevam o risco de deterioração metabólica e lixiviação de solutos em sementes com tegumento comprometido (Zhang et al., 2021). A variabilidade interespecífica observada sugere estratégias ecológicas distintas: espécies com absorção mais lenta e tolerante (como *J. triloba*) podem estar adaptadas a ambientes mais estáveis, onde a disponibilidade de umidade é menos efêmera. Por outro lado, espécies com absorção mais *J. sphaerosperma*, podem ser mais dependentes de condições breves e oportunistas de umidade. Nesta etapa inicial, predomina a embebição coloidal (Fase I), um processo físico passivo de hidratação da matriz celular, independente do metabolismo e que pode ocorrer mesmo em condições anaeróbicas (Bewley et al., 2013).

A baixa germinação de *J. rubrobracteata* em todas as temperaturas (<20%), especialmente a 35 °C (2%), (Tabela 4), sugere a existência de dormência profunda ou restrições fisiológicas não superadas pelas condições testadas. Espécies com esse perfil frequentemente dependem de estímulos adicionais (ex.: luz, escarificação, alterações hormonais) para germinar (Baskin e Baskin, 2014). A sensibilidade ao calor (35 °C) pode indicar risco de dessecação ou danos celulares irreversíveis sob altas temperaturas (Zhang et al., 2021).

Tabela 4. Germinação (%) de sementes de *J. laevilinguis*, *J. rubrobracteata*, *J. sphaerosperma* e *J. triloba* a 25 °C, 30 °C e 35 °C.

Temperatura °C	Espécies			
	<i>J. laevilinguis</i>	<i>J. rubrobracteata</i>	<i>J. sphaerosperma</i>	<i>J. triloba</i>
25	32 ab	11 a	36 a	77 a
30	53 a	16 a	13 b	36 b
35	22 b	2 b	8 b	38 b
CV (%)	38,75	43,07	45,64	21,43

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O declínio generalizado na germinação a 35 °C em todas as espécies é consistente com estudos que associam temperaturas elevadas à desnaturação proteica, oxidação de membranas e inibição da atividade enzimática (Huang et al., 2021). *J. sphaerosperma*, por exemplo, reduziu drasticamente sua germinação a 30°C e 35°C, indicando limiar térmico crítico abaixo de 30 °C (Tabela 4).

Os resultados demonstram uma variação interespecífica significativa na resposta germinativa às temperaturas, refletindo estratégias ecológicas distintas entre as espécies estudadas. A elevada germinação de *J. triloba* a 25 °C (77%) e sua tolerância relativa a 35 °C (38%) sugerem que esta espécie possui ampla adaptação térmica, possivelmente associada a habitats com flutuações moderadas de temperatura ou a mecanismos fisiológicos robustos que protegem o embrião sob estresse (Bewley et al., 2013). Esse padrão é típico de espécies generalistas, capazes de germinar em condições ambientais variáveis (Santo et al., 2021).

A resposta positiva de *J. laevilinguis* a 30 °C (53%), contrastando com a redução a 25°C e 35°C, indica que esta espécie possui uma janela térmica estreita para germinação, característica de organismos adaptados a microhabitats específicos (Lamichhane et al., 2022). Essa sensibilidade térmica pode estar ligada à ativação enzimática otimizada nesta temperatura, como a mobilização de reservas por giberelinas (Nonogaki, 2018).

A baixa germinação de *J. rubrobracteata* em todas as temperaturas (<20%), especialmente a 35°C (2%), sugere a existência de dormência profunda ou restrições fisiológicas não superadas pelas condições testadas. Espécies com esse perfil frequentemente dependem de estímulos adicionais (ex.: luz, escarificação, alterações hormonais) para germinar (Baskin Baskin, 2014). A sensibilidade ao calor (35°C) pode indicar risco de dessecação ou danos celulares irreversíveis sob altas temperaturas (Zhang et al., 2021).

O declínio generalizado na germinação a 35°C em todas as espécies é consistente com estudos que associam temperaturas elevadas a desnaturação proteica, oxidação de membranas

e inibição da atividade enzimática (Huang et al., 2021). *J. sphaerosperma*, por exemplo, reduziu drasticamente sua germinação a 30 °C e 35 °C, indicando limiar térmico crítico abaixo de 30 °C.

Os resultados do índice de velocidade de germinação (IVG) reforçam e detalham os padrões ecológicos e fisiológicos observados nas taxas de germinação, destacando como a velocidade de resposta às condições térmicas varia entre as espécies de forma distintiva. O elevado IVG de *J. triloba* a 25 °C (Tabela 5) confirma seu status de espécie com alta eficiência germinativa em temperaturas amenas, característica de sementes com metabolismo acelerado e menor dependência de barreiras fisiológicas (Bewley et al., 2013). Esse padrão é típico de espécies oportunistas, que rapidamente colonizam ambientes favoráveis (Santo et al., 2021).

Tabela 5. Índice de velocidade de germinação de *J. laevilinguis*, *J. rubrobracteata*, *J. sphaerosperma* e *J. triloba* a 25 °C, 30 °C e 35 °C.

Temperatura (°C)	Espécies			
	<i>J. laevilinguis</i>	<i>J. rubrobracteata</i>	<i>J. sphaerosperma</i>	<i>J. triloba</i>
25	1,18 ab	1,42 a	2,17 a	5,39 a
30	2,60 a	0,99 a	0,73 ab	2,00 b
35	1,13 b	0,38 a	0,50 b	2,54 b
CV (%)	44,04	58,00	66,19	26,81

Médias seguidas de letras iguais minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O elevado IVG de *J. laevilinguis* a 30 °C, que contrasta com a redução observada em *J. triloba* e *J. sphaerosperma* revela sua janela térmica ótima estreita. Nesta faixa específica, processos metabólicos cruciais, como a hidrólise de reservas e a divisão celular, são maximizados (Nonogaki, 2018). Tal resposta fisiológica sugere uma adaptação a microhabitats de temperaturas consistentemente altas, como clareiras bem insoladas ou a períodos sazonais muito definidos (Lamichhane et al., 2022). A manutenção de um IVG relativamente alto por *J. triloba* a 35 °C (2,54), enquanto outras espécies apresentaram declínio acentuado, evidencia sua superior tolerância térmica. Esse traço pode estar associado à estabilidade de enzimas antioxidantes (ex.: catalase, peroxidase) e à integridade de membranas celulares sob estresse (Zhang et al., 2021). Em contraste, o IVG extremamente baixo de *J. rubrobracteata* em todas as temperaturas (especialmente 0,38 a 35°C) reforça a existência de dormência profunda ou de sensibilidade fisiológica a danos térmicos, possivelmente relacionados à desnaturação proteica ou ao estresse oxidativo (Huang et al., 2021).

Os IVGs reduzidos de *J. sphaerosperma* à 30 °C e 35 °C ligam-se com sua preferência por temperaturas mais baixas (25°C), indicando que esta espécie pode empregar uma estratégia conservativa, onde a germinação lenta em condições seguras maximiza a sobrevivência das plântulas (Baskin e Baskin, 2014).

6. CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo demonstram que as espécies de *Justicia* da Caatinga apresentam estratégias morfo-fisiológicas distintas adaptadas às condições semiáridas, onde a variação dimensional das sementes desde as maiores de *J. triloba* (6,49 × 6,98 mm) até as menores de *J. rubrobracteata* (2,24 × 2,05 mm) correlaciona-se diretamente com suas capacidades germinativas.

Sementes maiores, como as de *J. triloba*, apresentaram maior reserva energética e tolerância, enquanto as menores, de *J. rubrobracteata*, mostraram maior dependência de condições específicas. A análise da absorção de água revelou um padrão bifásico em todas as espécies, porém com respostas térmicas diferenciadas: *J. triloba* teve sua absorção acelerada com escarificação, confirmando a presença de dormência. A; *J. laevilinguis* mostrou maior sensibilidade com resposta ótima a 35 °C; e *J. sphaerosperma* exibiu um comportamento generalista.

Na germinação com o uso de ácido giberélico sob diferentes temperaturas, observou-se que 25 °C foi ideal para *J. triloba* (77% de germinação), 30 °C beneficiou *J. laevilinguis* (53%), e 35 °C causou uma redução generalizada, exceto para *J. triloba*, enquanto *J. rubrobracteata* manteve baixa germinação em todas, o que sugere uma dormência mais profunda em relação as demais espécies. Estes resultados indicam que espécies com sementes maiores e tegumentos mais espessos são mais resilientes às variações ambientais, enquanto as de sementes menores exigem condições mais específicas, refletindo diferentes estratégias adaptativas e fornecendo subsídios valiosos para estratégias de conservação e manejo sustentável da biodiversidade na Caatinga.

REFERÊNCIAS

- AGRA, M. F. et al. Seed morphology and histology in Acanthaceae: taxonomic significance. **Brazilian Journal of Botany**, v. 45, n. 1, p. 45-60, 2022.
- ALBRECHT, J. M.; PENAGOS, Z. J. C. Seed germination and conservation of some useful species from tropical rain forests. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 24, n. 2, p. 259-271, 2012.
- ALBRECHT, M. A. et al. Seed germination ecology of three imperiled plants of rock outcrops in the southeastern United States. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 139, n. 1, p. 86-95, 2012.
- ALLEN, K. et al. Will seasonally dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes? **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 2, p. 023001, 2017.
- ARTECA, R. N. **Plant growth substances: principles and applications**. New York: Chapman & Hall, 1996.
- AZEVEDO, I. H. F.; BRAZ, D. M. Morfologia de sementes de Ruellia L. (Acanthaceae) da Mata Atlântica do sudeste brasileiro: aspectos taxonômicos, filogenéticos e ecológicos. **Flora**, v. 240, p. 48-57, 2018.
- AZEVEDO, I. H. F.; MORAES, E. C. Morfologia de sementes de Acanthaceae: utilidade para a caracterização de linhagens. **Acta Botanica Brasilica**, v. 33, n. 2, p. 345-355, 2019.
- BALKWILL, K.; CAMPBELL, Y.; BALKWILL, M. J. Functional traits in Acanthaceae: a review. **Plant Ecology and Evolution**, v. 156, n. 1, p. 3-18, 2023.
- BALKWILL, M.-J.; CAMPBELL, L. M.; BALKWILL, K. The role of seed morphology and sculpture in the hydration strategies of seeds of South African Acanthaceae. **Plant Biology**, v. 25, n. 1, p. 145-157, 2023.
- BARBEDO, C. J.; CENTENO, D. C.; FIGUEIREDO-RIBEIRO, R. C. L. Do recalcitrant seeds really exist? **Hoehnea**, v. 40, n. 4, p. 583-593, 2013.
- ARAK, R. S. et al. Cracking the case: seed traits and phylogeny predict time to germination in prairie restoration species. **Ecology and Evolution**, [S. l.], v. 8, n. 11, p. 5551-5562, 2018.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. A classification system for seed dormancy. **Seed Science Research**, v. 14, n. 1, p. 1-16, 2004.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. **Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2014.
- BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. The great diversity in kinds of seed dormancy: a revision of the Nikolaeva–Baskin classification system for primary seed dormancy. **Seed Science Research**, v. 31, n. 4, p. 249-277, 2021.
- BEWLEY, J. D. et al. **Seeds: physiology of development, germination and dormancy**. 3. ed. New York: Springer, 2013.
- BRADFORD, K. J. Water relations in seed germination. **Seed Science Research**, v. 28, n. 4, p. 1-12, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009.
- CARDOSO, V. J. M. Conceito e classificação da dormência em sementes. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 4, p. 619-631, 2009.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

- CHAGAS, E. C. O.; COSTA-LIMA, J. L. Justicia (Acanthaceae). In: **Flora e Funga do Brasil**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020.
- CHAGAS, E. C. O.; COSTA-LIMA, J. L. Atualização taxonômica de Justiciinae (Acanthaceae) no Brasil. **Rodriguésia**, v. 75, e202475001, 2024.
- CHAGAS, E. C. O.; COSTA-LIMA, J. L. Justiciinae (Acanthaceae) no Brasil: diversidade e endemismo. **Rodriguésia**, v. 71, e02202019, 2020.
- CHEN, Y. et al. Unusual seed morphology in Acanthaceae: biomechanical implications for dispersal and germination. **Annals of Botany**, v. 131, n. 5, p. 789-801, 2023.
- CÔRTEZ, A. L. A. **Justicieae (Acanthaceae) do bioma Caatinga do estado da Bahia**. 2009. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.
- COSTA-LIMA, J. L.; CHAGAS, E. C. O. Acanthaceae da Caatinga. In: **Flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2019.
- COSTA-LIMA, J. L.; CHAGAS, E. C. O. Acanthaceae da Caatinga: diversidade e distribuição. In: _____. **Flora da Caatinga**. v. 2. Recife: Editora UFPE, 2019. p. 145-167.
- DANIEL, T. F.; MCDADE, L. A. Nelsonioideae (Lamiales: Acanthaceae): revision of genera and catalog of species. **Aliso**, v. 31, n. 1, p. 1-45, 2014.
- DE PAULA, A. S. et al. Seed dormancy in *Stylosanthes* spp. (Fabaceae) is related to seed coat lignin content. **Seed Science Research**, v. 32, n. 1, p. 38-47, 2022.
- DONOHUE, K. et al. Germination, postgermination adaptation, and species ecological ranges. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 41, p. 293-319, 2010.
- EMBRAPA. **Armazenamento do grão de soja com qualidade**. Circular Técnica 196. [Brasília]: Embrapa, 2023. p. 10.
- EZCURRA, C. El Genero Justicia (Acanthaceae) en Sudamerica Austral. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v. 89, n. 2, p. 225-280, 2002.
- FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.
- FINKELSTEIN, R. et al. Molecular aspects of seed dormancy. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 387-415, 2008.
- FINCH-SAVAGE, W. E.; LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, [S. l.], v. 171, n. 3, p. 501-523, 2006.
- FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Acanthaceae**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2023.
- FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Acanthaceae**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2024.
- FU, Y.; PAUSAS, J. G.; ROSBAKH, S. Response to: 'The need for mechanistic explanations in (seed) ecology' by Pausas et al. (2024). **New Phytologist**, v. 241, n. 4, p. 1338-1341, 2024.
- GENTRY, A. H. Diversity and floristic composition of Neotropical dry forests. In: BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. (Ed.). **Seasonally dry tropical forests**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p. 146-194.
- HEYWOOD, V. H. et al. **Flowering plant families of the world**. Kew: Royal Botanic Gardens, 2020.
- HILHORST, H. W. M. A critical update on seed dormancy: I. Primary dormancy. **Seed Science Research**, v. 5, n. 2, p. 61-73, 1995.
- HORTAL, J. et al. Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 46, p. 523-549, 2015.
- HUANG, Z. et al. Seed coat permeability: structural and environmental regulation. **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 10, p. 3590-3605, 2021.

- HUANG, Z.; BOUBRIAK, I.; OSBORNE, D. J. **Seed biology: advances and applications**. Wallingford: CABI, 2021.
- IBARRA-MANRÍQUEZ, G. et al. Seed functional traits in Neotropical trees: Patterns within and across biomes. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 54, p. 125658, 2022.
- KAMEYAMA, C. Acanthaceae. In: BARBOSA, M. R. V. et al. (Org.). **Checklist das plantas do Nordeste brasileiro: angiospermas e gymnospermas**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006.
- KISSMANN, C. et al. Seed dormancy in *Justicia* species (Acanthaceae) and ecological implications. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p. 304-312, 2012.
- LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: OEA, 1983.
- LADOUCEUR, E. et al. The recovery of plant community composition following passive restoration across spatial scales. **Journal of Ecology**, [S. l.], v. 106, n. 5, p. 1736-1746, 2018.
- LAMICHHANE, J. R. et al. Seed dormancy and germination in a changing climate. **Plants**, v. 11, n. 3, p. 322, 2022.
- LAMICHHANE, J. R. et al. Seed germination ecology in the context of climate change. **Field Crops Research**, v. 283, p. 108548, 2022.
- LEWIS, G. P.; RATTER, J. A. (Ed.). **Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography and conservation**. Boca Raton: CRC Press, 2006. p. 315-342.
- LIMA, A. M. L. P.; COSTA, A. K. A.; FURTADO, G. G. F. Germinação: fatores limitantes e estratégias para superação da dormência. In: BORGHETTI, F. et al. (Ed.). **Germinação: princípios, processos e aplicações**. Brasília: Embrapa, 2024. p. 115-141.
- LOTT, E. J.; ATKINSON, T. H. Mexican and Central American seasonally dry tropical forests: Chamela-Cuixmala, Jalisco, as a focal point for comparison. In: PENNINGTON, R. T.; LÓPEZ, M. P.; ROJAS, A. C. Seed banks as a tool for the conservation of native forests in tropical dry areas. **Global Ecology and Conservation**, v. 28, e01658, 2021.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015.
- MAYER, A. C.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. 4. ed. Oxford: Pergamon Press, 1989.
- MCIVOR, J. G.; HOWDEN, S. M. Dormancy and germination characteristics of herbaceous species in the seasonally dry tropics of northern Australia. **Australian Ecology**, v. 25, n. 3, p. 214-222, 2000.
- MEDEIROS, A. C. de S. **Aspectos de dormência em sementes de espécies arbóreas**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2001.
- MELO, J. I. M. et al. Seed morphology of *Justicia* (Acanthaceae) from Brazilian forest remnants: taxonomic and ecological implications. **Brazilian Journal of Botany**, v. 44, n. 2, p. 423-435, 2021.
- MENDOZA-FERNÁNDEZ, A. J. et al. Seed morphology and germination in *Nicotiana* spp. (Solanaceae). **Seed Science Research**, v. 30, n. 2, p. 132-141, 2020.
- MENDOZA-FERNÁNDEZ, A. J. et al. Seed size variation in Mediterranean plants: trade-offs, ecological implications and phylogenetic constraints. **Seed Science Research**, v. 31, n. 3, p. 199-212, 2021.
- MORAIS, S. M. et al. Plantas medicinais usadas pelos índios Tapebas do Ceará. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 2, p. 169-177, 2005.
- MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of tropical dry forest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 17, p. 67-88, 1986.

- NIKOLAEVA, M. G. Factors controlling the seed dormancy pattern. In: KHAN, A. A. (Ed.). **Physiology and biochemistry of seed dormancy and germination**. Amsterdam: North-Holland, 1977. p. 51-74.
- NIKOLAEVA, M. G.; RASUMOVA, M. V.; GLADKOVA, V. N. **Reference book on dormant seed germination**. Leningrado: Nauka, 1985.
- NONOGAKI, H. Seed germination and dormancy: classic hypotheses and new insights. **Seed Science Research**, v. 28, n. 4, p. 1-10, 2018.
- NONOGAKI, H. Seed germination and dormancy: the classic story, new puzzles, and evolution. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 61, n. 5, p. 541-563, 2018.
- NONOGAKI, H.; BARRERO, J. M.; LI, C. Editorial: Seed Dormancy, Germination, and Pre-harvest Sprouting. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1783, 2018.
- OKOLI, C. O. et al. Acanthus montanus: An experimental evaluation of the antimicrobial, anti-inflammatory and immunological properties of a traditional remedy for furuncles. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 8, n. 27, 2008.
- OLIVEIRA, M. L. T. de et al. Ecophysiology of germination and dormancy of Jacaranda cuspidifolia Mart. seeds. **Journal of Seed Science**, v. 46, e202446005, 2024.
- OLIVEIRA, M. T. et al. Ecofisiologia da germinação de sementes como ferramenta para conservação. In: _____. **Tópicos em biologia da conservação**. v. 3. São Paulo: Editora Cubo, 2024. p. 89-112.
- PENFIELD, S.; MACGREGOR, D. R. Effects of environmental variation during seed production on seed dormancy and germination. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 4, p. 819-825, 2017.
- PEGUERO, G. et al. Differential effects of climate and species interactions on range limits at a hybrid zone: potential direct and indirect impacts of climate change. **Ecology and Evolution**, [S. l.], v. 11, n. 15, p. 10321-10335, 2021.
- PENNINGTON, R. T.; LAVIN, M.; OLIVEIRA-FILHO, A. Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 40, p. 437-457, 2009.
- PIROLI, E. L. et al. Germinação de sementes de canafístula (Peltophorum dubium (Spreng.) Taub.) tratadas para superação da dormência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 3., 2005, Salvador. **Anais...** Salvador: ABRATES, 2005. p. 13-18.
- POORTER, L.; MARKESTEIJN, L. Seedling traits determine drought tolerance of tropical tree species. **Biotropica**, v. 40, n. 3, p. 321-331, 2008.
- RANDLE, C. P.; BARKER, R. M.; MCDADE, L. A. **Evolution and ecology of plant reproduction**. Londres: Academic Press, 2022.
- RANDLE, L. et al. Trichome diversity in Acanthaceae: systematic and ecological significance. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 199, n. 2, p. 345-360, 2022.
- RAO, G. R. et al. Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in Jatropha curcas (L.) accessions. **Trees**, v. 22, n. 5, p. 697-709, 2008.
- SANTANA, D. G.; PEREIRA, V. J. Seed scarification and temperature effects on germination of tropical species. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 45, e202345001, 2023.
- SANTO, A. et al. Germination strategies of Mediterranean species. **Plant Biology**, v. 23, n. 3, p. 545-553, 2021.
- SANTO, A. et al. Temperature-driven germination strategies in Mediterranean plants: trade-offs between timing and stress tolerance. **Annals of Botany**, v. 127, n. 5, p. 631-640, 2021.
- SHU, K. et al. Two Faces of One Seed: Hormonal Regulation of Dormancy and Germination. **Molecular Plant**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 34-45, 2016.
- SHU, K. et al. Molecular processes and genetic factors in seed germination. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 17, p. 10102, 2022.

- SILVA, B. M. da; ROSSI, L. M. B.; VIEIRA, D. L. M. Superação de dormência e germinação de sementes florestais nativas para a restauração de ecossistemas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42, e202102079, 2022.
- SILVA, E. A. et al. Seed biometry: another functional trait in caatinga. **Scientia Plena**, v. 16, n. 11, 2020.
- SILVA, I. A. et al. Diversidade funcional de plantas em florestas tropicais sazonalmente secas. **Acta Botanica Brasilica**, v. 35, n. 2, p. 345-358, 2021.
- SILVA, L. M. et al. Biometria de sementes como atributo funcional em comunidades vegetais. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, p. 1-12, 2020.
- SILVA, R. H. et al. Water absorption and dormancy in Acanthaceae seeds. **Seed Science Research**, v. 31, n. 3, p. 215-224, 2021.
- SILVEIRA, F. A.; SANTOS, J. C.; FERNANDES, G. W. **Plant-animal interactions: source of biodiversity**. Cham: Springer, 2020.
- SIMONI, F.; VILLELA, F. A.; ATAÍDE, G. M. Germinação de sementes de Myracrodruon urundeuva Fr. All. em diferentes substratos e temperaturas. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 581-588, 2011.
- SIMONI, S. et al. Vigor de sementes: conceitos e métodos. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1, p. 01-16, 2011.
- SINGH, J. et al. Plant seed dormancy: molecular mechanisms in the onset and release. **Planta**, v. 254, n. 5, p. 1-15, 2021.
- SOARES, J. S. et al. Germination ecology of Justicia aurea (Acanthaceae): a key species for restoration in riparian forests. **Journal of Forestry Research**, v. 32, n. 5, p. 2107-2115, 2021.
- SOUZA, T. V. et al. Seed dormancy and germination in species of Cistaceae: a review. **Plant Biology**, v. 22, n. 6, p. 925-935, 2020.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TIETJE, M. et al. Global plant trait data—a new resource for synthesizing and analysing data on plant form and function. **Global Ecology and Biogeography**, [S. l.], v. 31, n. 1, p. 25-36, 2022.
- TRIPP, E. A.; MCDADE, L. A. A rich fossil record yields calibrated phylogeny for Acanthaceae (Lamiales) and evidence for marked biases in timing and directionality of intercontinental disjunctions. **Systematic Biology**, v. 63, n. 5, p. 660-684, 2014.
- VEGIS, A. Dormancy in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 15, p. 185-224, 1964.
- VILAR, T. S. **Acanthaceae Juss no Distrito Federal, Brasil**. 2009. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.
- VISSCHER, A. M. et al. Seed size variation impacts germination and seedling growth in tropical pioneer species. **Plant Biology**, v. 23, n. 5, p. 736-743, 2021.
- WILLIS, C. G. et al. The evolution of seed dormancy: environmental cues, evolutionary hubs, and diversification of the seed plants. **New Phytologist**, [S. l.], v. 203, n. 1, p. 300-309, 2014.
- WYSE, S. V.; DICKIE, J. B. Predicting the global incidence of seed desiccation sensitivity. *Journal of Ecology*, v. 105, n. 4, p. 1082-1093, 2017.
- ZAIDAN, L. B. P.; BARBEDO, C. J. Quebra da dormência em sementes. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Org.). **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 135-146.
- ZHANG, K. et al. High temperature stress and seed germination. **Plant, Cell & Environment**, v. 44, n. 7, p. 2091-2101, 2021.
- ZHANG, K. et al. High-temperature effects on seed germination and dormancy release. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 987, 2021.

