



MILENA TELES DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE *PRIMING* NA GERMINAÇÃO DE
SEMENTES E NA TOLERÂNCIA AO ESTRESSE LUMINOSO
DE PLÂNTULAS DE ESPÉCIES NATIVAS DA MATA
ATLÂNTICA**

**LAVRAS - MG
2025**

MILENA TELES DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE PRIMING NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E NA
TOLERÂNCIA AO ESTRESSE LUMINOSO DE PLÂNTULAS DE ESPÉCIES
NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal, área de concentração Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof.^a Dra.^a Elisa Monteze Bicalho
Orientadora

Prof.^a Dra.^a Marinês Ferreira Pires Lira
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2025**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Oliveira, Milena Teles de.

Aplicação de *priming* na germinação de sementes e na tolerância ao estresse luminoso de plântulas de espécies nativas da Mata Atlântica/Milena Teles de Oliveira. - 2025.

99 p.

Orientador(a): Elisa Monteze Bicalho.

Coorientador(a): Marinês Ferreira Pires Lira.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.

Bibliografia.

1.Sementes. 2.Germinação. 3.Tratamento de pré-semeadura. 4. Metionina. 5. Osmopriming.

I. Bicalho, Elisa Monteze. II. Lira, Marinês Ferreira Pires.

III. Título.

MILENA TELES DE OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE *PRIMING* NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES E NA
TOLERÂNCIA AO ESTRESSE LUMINOSO DE PLÂNTULAS DE ESPÉCIES
NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA**

**APPLICATION OF PRIMING ON SEED GERMINATION AND LIGHT STRESS
TOLERANCE OF SEEDLINGS OF NATIVE SPECIES OF THE ATLANTIC
RAINFOREST**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal, área de concentração Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de julho de 2025.

Dra.^a Letícia dos Anjos Silva - UFC.

Dra.^a Mychelle Carvalho - IFTM

Prof.^a Dra.^a Elisa Monteze Bicalho
Orientadora

Prof.^a Dra.^a Marinês Ferreira Pires Lira
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2025**

AGRADECIMENTOS

À toda minha família pelo imenso amor e apoio, em especial à minha mãe e à minha tia Célia. Ao meu melhor amigo e companheiro de vida, Thiago por tornar meus dias mais felizes e à sua família pelo carinho e acolhimento.

Aos meus amigos Javier e Ana Cláudia por me auxiliarem na realização de cada detalhe deste trabalho e, principalmente, por compartilharem os dias de luta ao meu lado. Ao Geovane, minha versão masculina, que mesmo distante se faz presente. Agradeço também ao Mateus pela constante solicitude e por compartilhar seus conhecimentos bioquímicos.

Às amizades realizadas no Setor de Fisiologia Vegetal, à Liriel, Ana Catarina, Larissa, Alana, Mayana, Tais, Frois, Julia e Catherine.

Aos meus bioamigos, Aninha, Black, Evelyn, Elis <3, Brunão, Sarah, João e Lara, pelos anos de amizade e pelos laços criados.

À Thais, Isabela e às minhas amigas de longa data, pelo incentivo e pela partilha, mesmo que distante.

À Letícia Miranda, por dividir as fofocas, os dias e um lar.

Ao grupo de Pesquisa Seeds e à Professora Dr.^a Elisa pelos ensinamentos e orientação.

À Professora Dr.^a Marinês pelos ensinamentos e por aceitar coorientar este trabalho.

Ao Laboratório de Anatomia Vegetal do Setor de Botânica e à técnica Letícia pelo auxílio durante uma das etapas deste trabalho.

Às Professoras Dras. Letícia, Vanessa, Mychelle e Fernanda por aceitarem contribuir com este trabalho sendo parte da banca examinadora como membros titulares e suplentes.

À Rede de Sementes do Xingu e ao Professor Dr. Lucas Amaral de Melo pela doação das sementes utilizadas neste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Agradeço à todas e todos aqueles que, de alguma forma contribuíram com a realização deste trabalho e, principalmente, à população brasileira que arduamente mantém as instituições de ensino públicas, que promovem a pesquisa, o ensino público e a extensão de qualidade.

RESUMO

O *priming* é uma técnica de pré-semeadura que pode induzir maior porcentagem e velocidade na germinação de sementes, além de ser capaz de potencializar atividade do sistema antioxidante de plantas sob estresse abiótico. Então, o objetivo deste trabalho foi investigar respostas germinativas e bioquímicas influenciadas pela aplicação do *priming* em sementes. Também foi investigado se essa técnica é capaz de gerar plântulas mais tolerantes ao estresse luminoso. Utilizou-se sementes de quatro espécies nativas da Mata Atlântica: *Ceiba speciosa*; *Astronium fraxinifolium*; *Tabebuia roseoalba* e *Myrsine coriacea*. A principal hipótese é que o *priming* em sementes é capaz de promover melhorias processo germinativo, no crescimento inicial, em parâmetros anatômicos, fotossintético e no sistema de defesa antioxidante, gerando plantas fisiologicamente capazes de tolerar as consequências da exposição ao sol pleno. Para investigar a hipótese, dois experimentos foram realizados. O primeiro investigou os efeitos da aplicação do *priming* durante a germinação de sementes das quatro espécies. Avaliaram-se parâmetros germinativos (porcentagem de germinação (%G) e índice de velocidade de germinação (IVG)) e parâmetros bioquímicos (conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), de malonaldeído (MDA), de proteínas e atividade de enzimas do sistema antioxidante (Superóxido dismutase (SOD), Catalase (CAT) e Ascorbato peroxidase (APX)). O segundo investigou os efeitos do *priming* na geração de plântulas de *C. speciosa* cultivadas sob estresse luminoso. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2, sendo duas condições luminosas (sol pleno e sombrite 50%) e dois tratamentos nas sementes: sem *priming* (controle) e com *priming*. Foram avaliados parâmetros de crescimento inicial, de matéria seca, parâmetros fotossintéticos e anatômicos, o conteúdo de pigmentos e os mesmos parâmetros bioquímicos realizados no primeiro experimento (H₂O₂, MDA, proteínas, SOD, CAT e APX). No experimento I observou-se que o *priming* induziu o aumento do IVG em sementes de *T. roseoalba* e *A. fraxinifolium* e aumentou a atividade da CAT em sementes de *C. speciosa*. Já as sementes de *M. coriacea* possuíram menor conteúdo de MDA quando submetidas ao *priming* com metionina, menor conteúdo de H₂O₂ quando aplicado o *primig* com água, metionina ou PEG e apresentaram maior conteúdo de proteínas quando submetidas ao *hidropriming*. No experimento II verificou-se que as plântulas cultivadas sob sol pleno possuíram maiores valores de H₂O₂ e de comprimento de parte aérea, independente do tratamento aplicado nas sementes. O conteúdo de clorofila *b* e total foi maior em plantas condicionadas sob sombra e tratadas com *priming* para ambas as condições de luminosidade. As variáveis anatômicas analisadas não

apresentaram significância estatística. Pode-se concluir que o *priming* em sementes influenciou a melhoria de alguns parâmetros, majoritariamente ligados ao processo germinativo, porém, em plântulas, embora tenha induzido o aumento do conteúdo de clorofilas *b* e totais, não gerou plântulas significativamente diferentes àquelas que não receberam o tratamento.

Palavras-chave: sementes; germinação; tratamento de pré-semeadura; metionina; *osmopriming*.

ABSTRACT

Priming is a pre-sowing technique that can induce a higher percentage and speed of seed germination, in addition to enhancing the antioxidant activity of plants under abiotic stress. Therefore, the objective of this study was to investigate germination and biochemical responses influenced by the application of *priming* to seeds. It was also investigated whether this pre-sowing technique is capable of generating seedlings that are more tolerant to light stress. Seeds from four tree species native to the Atlantic Forest were used: *Ceiba speciosa*; *Astronium fraxinifolium*; *Tabebuia roseoalba* and *Myrsine coriacea*. The main hypothesis is that seed *priming* can improve the germination process, initial growth, anatomical parameters, photosynthesis, and the antioxidant defense system, thereby generating plants that are physiologically capable of tolerating the consequences of full sun exposure. To investigate this hypothesis, two experiments were conducted. The first, investigated the effects of *priming* with water, methionine, and PEG during the germination of seeds from the four species. Germination parameters (final germination percentage (%G) and germination speed index (GSI)) and biochemical parameters (hydrogen peroxide (H₂O₂), malondialdehyde (MDA), protein content, and antioxidant enzyme activity (superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and ascorbate peroxidase (APX)) were evaluated. The second experiment investigated the effects of *priming* on the generation of *C. speciosa* seedlings grown under light stress. The experiment was conducted in a 2x2 factorial scheme, with two light conditions (full sun and 50% shade) and two seed treatments: without *priming* (control) and with *priming* with methionine. Initial growth parameters, dry matter, photosynthetic and anatomical parameters, pigment content, and the same biochemical parameters as in the first experiment (H₂O₂, MDA, proteins, SOD, CAT, and APX). In experiment I, it was observed that *priming* induced an increase in GSI in *T. roseoalba* and *A. fraxinifolium* seeds and increased CAT activity in *C. speciosa* seeds. *M. coriacea* seeds had lower MDA content when primed with methionine, lower H₂O₂ content when primed with water, methionine, or PEG, and higher protein content when *hydroprimed*. In experiment II, it was found that seedlings grown in full sun had higher H₂O₂ values and shoot length, regardless of the treatment applied to the seeds. Chlorophyll *b* and total chlorophyll content was higher in plants conditioned under shade and treated with *priming* for both light conditions. The anatomical variables analyzed were not statistically significant. Thus, it can be concluded that seed *priming* influenced the improvement of some parameters, mainly related to the germination process. However, in seedlings, although it induced an increase in chlorophyll *b* and total chlorophyll

content, it did not generate seedlings significantly different from those that did not receive the treatment.

Keywords: seeds; germination; pre-sowing treatment; methionine; *osmopriming*.

INDICADORES DE IMPACTO

A técnica do *priming* como indutora de maior tolerância a estresse abiótico em sementes e plântulas são as principais investigações desta dissertação. Esta técnica de pré-semeadura pode gerar importantes e positivos impactos em projetos de revegetação de áreas degradadas, visto que possui o potencial de induzir respostas vegetais que influenciam mecanismos de tolerância a estresses ambientais. Os avanços científicos e tecnológicos que esta proposta pretendeu gerar foi a utilização do *priming* em sementes como uma ferramenta que favoreça a geração de plantas com melhores respostas de tolerância ao estresse luminoso. Além disso, a técnica do *priming* em sementes possui baixo custo e fácil aplicação, o que favorece sua utilização na rotina de viveiristas e execução em projetos que visem gerar plântulas tolerantes ao estresse luminoso. Em projetos de revegetação, o plantio de mudas demanda gastos ligados a recursos humanos, materiais, manutenção e transporte de mudas, sendo assim, a semeadura direta de sementes com *priming* torna o processo mais barato e eficiente. O êxito da restauração de áreas degradadas gera benefícios ao meio ambiente de imensurável importância, já que favorece a qualidade de serviços ecossistêmicos e previne desastres ambientais. A Mata Atlântica padece com sua devastação e por isso recebe o título de *hotspot* mundial, então, a reconversão de pastagens em áreas restauradas é essencial para a manutenção deste território que abriga a maior parte da população brasileira. Com isso, pode-se afirmar que este trabalho tangencia questões ecológicas, econômicas, científicas e sociais. Além disso, o trabalho está alinhado com dois dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), já que se sugere a inclusão de técnicas para combater as alterações climáticas (13º) e visa promover o uso sustentável de ecossistemas terrestres, combater a desertificação, travar e reverter a degradação e a perda da biodiversidade (15º).

IMPACT INDICATORS

The *priming* technique as an inducer of greater tolerance to abiotic stress in seeds and seedlings is the main focus of this dissertation. This pre-sowing technique has important and positive impacts on revegetation projects for degraded areas, as it potentially induces plant tolerance mechanisms against abiotic stresses. The scientific and technological advances were improving the use of *priming* in seeds as a tool that favors the generation of plants with increasing tolerance to light stress. The seed *priming* technique is low cost and easy to apply, which favors its use in the routine of nurseryman and in projects that aim to generate tolerant seedlings to light stress. In revegetation projects, planting seedlings requires expenses related to human resources, materials, maintenance, and transportation of seedlings. Therefore, direct sowing of primed seeds makes the process cheaper and more efficient. The successful restoration of degraded areas generates immeasurable benefits for the environment, as it improves the quality of ecosystem services and prevents environmental disasters. The Atlantic Forest, one of the global hotspots, suffers from devastation for centuries. The conversion of pastures into restored areas is essential for the maintenance of this territory, which is home to most of the Brazilian population. Thus, it can be affirmed that this work touches on ecological, economic, scientific, and social issues. In addition, the work is aligned with two of the 17 Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations (UN), as it suggests techniques to combat climate change (13th) and aims to promote the sustainable use of terrestrial ecosystems, combat desertification, halt and reverse degradation and loss of biodiversity (15th).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. SEMENTES E GERMINAÇÃO.....	15
2.2. O <i>PRIMING</i> EM SEMENTES.....	17
2.3. ESTRESSE ABIÓTICO, ESPÉCIES REATIVAS DE OXIGÊNIO E SISTEMA ANTIOXIDANTE	20
2.4. LUZ, ESTRESSE LUMINOSO E ÁREAS DEGRADADAS DA MATA ATLÂNTICA.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. MATERIAL VEGETAL	27
3.2. CARACTERIZAÇÃO INICIAL DAS SEMENTES	28
3.3. CURVAS DE EMBEBIÇÃO E SECAGEM.....	30
3.4. PREPARO E DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METIONINA PARA O <i>PRIMING</i>	32
3.5. EXPERIMENTO I: RESPOSTAS GERMINATIVAS E BIOQUÍMICAS INDUZIDAS PELO <i>PRIMING</i>	33
3.6. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO E PREPARO DA SOLUÇÃO DE POLIETILENOGLICOL 6000.....	34
3.6.1. APLICAÇÃO DO <i>PRIMING</i> E TESTE DE GERMINAÇÃO	35
3.6.2. ANÁLISES BIOQUÍMICAS.....	35
3.6.2.1 EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO	36
3.6.2.2. EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE MALONDIALDEÍDO (MDA)	36
3.6.2.3. EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE PROTEÍNAS TOTAIS E EXTRATO ENZIMÁTICO	36
3.6.2.4. QUANTIFICAÇÃO DE ENZIMAS DO SISTEMA ANTIOXIDANTE	37
• Superóxido Dismutase (SOD)	37
• Catalase (CAT).....	37
• Ascorbato peroxidase (APX)	37
3.6.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	38
3.7. EXPERIMENTO II: <i>PRIMING</i> COM METIONINA PARA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO ESTRESSE LUMINOSO	38
3.7.1 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	39
3.7.2. AVALIAÇÃO DA TAXA FOTOSSINTÉTICA	42
3.7.3. AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO	42
3.7.4. ANÁLISES BIOQUÍMICAS.....	43
3.7.5. AVALIAÇÕES ANATÔMICAS.....	44
• Secções Transversais.....	44

•Secções Paradérmicas	45
3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	45
4. RESULTADOS	46
4.1. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METIONINA PARA O <i>PRIMING</i>	46
• <i>Tabebuia roseoalba</i>	46
• <i>Astronium fraxinifolium</i>	47
• <i>Myrsine coriacea</i>	47
• <i>Ceiba speciosa</i>	48
4.2. EXPERIMENTO I	49
• <i>Tabebuia roseoalba</i>	49
• <i>A. fraxinifolium</i>	51
• <i>Myrsine coriacea</i>	53
• <i>Ceiba speciosa</i>	55
4.3. EXPERIMENTO II	57
4.3.1. AVALIAÇÃO DA TAXA FOTOSSINTÉTICA	57
4.3.2. AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO	58
4.3.3. ANÁLISES BIOQUÍMICAS.....	62
4.3.4. AVALIAÇÕES ANATÔMICAS	65
5. DISCUSSÃO	69
• Alterações fisiológicas induzidas pelo <i>priming</i> em sementes	69
• <i>Priming</i> com metionina: da semente à plântula para mitigação do estresse luminoso.....	71
6. CONCLUSÃO	73
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
REFERÊNCIAS.....	78
ANEXO	89

1. INTRODUÇÃO

A fragmentação e a conversão de ambientes naturais da Mata Atlântica em áreas degradadas é uma grave problemática ambiental com o potencial de gerar sérias consequências ecológicas, sociais e econômicas. A maior parte da população brasileira vive neste Bioma, que desempenha importantes serviços ecossistêmicos ligados à manutenção da qualidade da água, à regulação térmica e à prevenção de desastres ambientais, como inundações, deslizamentos e erosões. Além disso, a Mata Atlântica é considerada um *hotspot* da biodiversidade mundial (Myers et al. 2000) por abrigar alta diversidade de espécies endêmicas e por ter perdido grande parte de seu território original.

Dados de Projeto MAPBiomas (2023) apontam que 65,1% do território da Mata Atlântica é ocupado por atividades ligadas à agropecuária como, silvicultura (6%), agricultura (28%), e principalmente pastagem (40%). Entretanto, apenas 26,2% do território é ocupado por florestas, mangues e restingas. Sendo assim, projetos e pesquisas que contribuam com a revegetação e restauração ecológica de tais ambientes são impreteríveis para que haja continuidade e manutenção de serviços ecossistêmicos e para a garantia da permanência de espécies nativas da fauna e flora.

A revegetação de ecossistemas degradados, principalmente por pastagem, encontra diversos obstáculos causados, principalmente, pelas condições ambientais que, majoritariamente, são adversas e estressantes para o estabelecimento de novas plantas. Temperatura elevada, baixa umidade, déficit hídrico e intensa luminosidade são condições que têm o potencial de interferir no crescimento e no desenvolvimento de plantas, capazes de causar estresse e danos oxidativos, que quando não controlados, podem ser fatais. Sendo assim, para a revegetação de tais ambientes, é indispensável que o material vegetal possua qualidade (Gazzola et al. 2023), e a maquinaria fisiológica necessária para tolerar as adversidades ambientais. Para isso, o *priming* em sementes se enquadra como uma possível e viável alternativa.

O método é baseado na hidratação controlada de sementes seguida por uma desidratação também controlada. A técnica é aplicável em sementes que toleram a desidratação (ortodoxas) e pode ser classificada de acordo com a solução em que a semente é hidratada (Lutts et al. 2016). Entre muitas, há o *hidropriming* e

osmopriming, que são assim classificados por hidratarem as sementes, respectivamente, em água e em soluções com baixo potencial osmótico. O aminoácido metionina, um importante componente do sistema antioxidante não enzimático e o Polietilenoglicol 6000 são compostos que, por diminuïrem o potencial osmótico das soluções, permitem que a hidratação de sementes ocorra de maneira mais lenta, possibilitando que o reparo de membranas seja mais eficiente e evitando danos de hidratação (Villela et al. 1991). Além disso, o *priming* é uma técnica de pré-semeadura que pode induzir maior porcentagem, sincronização e velocidade na germinação de sementes, além ser capaz de potencializar atividade do sistema antioxidante de plantas sob estresse abiótico (Paparella et al. 2015).

Entre as condições abióticas, a alta irradiância pode ser um fator estressante por ser capaz de causar a superprodução e acúmulo de espécies reativas de oxigênio e danos oxidativos severos ao aparelho fotossintético (Freitas et al. 2022). Isso reflete em prejuïzos no crescimento de plantas sob estresse e tal condição é comumente presente em áreas da Mata Atlântica degradadas em que houve a instalação de pastagens, em uso ou abandonadas. Sendo assim, o *priming* em sementes pode ser uma ferramenta relevante em projetos de revegetação, pois pode favorecer a sobrevivência de plântulas, fase em que há extrema sensibilidade às adversidades ambientais.

Então, o objetivo deste trabalho foi investigar as respostas germinativas e bioquímicas influenciadas pela aplicação da técnica do *priming* em sementes. Além disso, também foi investigado se essa técnica de pré-semeadura é capaz de gerar plântulas mais tolerantes ao estresse luminoso. Para isso, foram utilizadas sementes de quatro espécies arbóreas e nativas da Mata Atlântica: *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna (Paineira); *Astronium fraxinifolium* Schott (Gonçalo-Alves); *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (Ipê-branco) e *Myrsine coriacea* (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult (Pororoca). A principal hipótese investigada foi a de que o *priming* em sementes é capaz de promover melhorias no processo germinativo, no crescimento inicial, em parâmetros anatômicos, fotossintéticos e no sistema de defesa antioxidante enzimático. Consequentemente, o *priming* pode gerar plantas fisiologicamente capazes de tolerar as consequências da exposição ao sol pleno.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. SEMENTES E GERMINAÇÃO

O sucesso da reprodução sexuada de gimnospermas e angiospermas é concluído pela complexa formação de uma semente, estrutura responsável pela colonização de novos ambientes, sobrevivência e perpetuação da espécie (Matilla, 2022). A dispersão, colonização e perpetuação das espécies por sementes em ambientes diversos dependem de características do ambiente e inerentes às sementes.

Segundo Roberts (1973), o comportamento de tolerância à dessecação pode classificar as sementes em recalcitrantes ou ortodoxas. Segundo Alpert (2005) e Matilla (2022), a tolerância à dessecação é a capacidade de um indivíduo secar até o equilíbrio com ar seco moderado e possível recuperação metabólica após reidratação. A tolerância à dessecação é uma característica adquirida ao final da embriogênese. É caracterizada pela rápida diminuição no conteúdo de água, induzida principalmente pela atividade do fitormônio ácido abscísico (ABA) responsável pela indução da síntese e atividade de algumas macromoléculas, como oligossacarídeos e proteínas LEA (Chen & Arora, 2011). Os oligossacarídeos não redutores da família da rafinose associam-se aos fosfolipídios de membranas plasmáticas e de organelas celulares de modo a evitar o colapso e extravasamento de eletrólitos, garantindo a futura hidratação controlada. Já as proteínas LEA envolvem e protegem outras proteínas, além de garantir uma segura compactação e descompactação do material genético durante a hidratação.

As características de sementes ortodoxas são importantes atributos ligados à manutenção de sobrevivência da semente e da espécie ao longo do tempo, pois possibilita que sementes não hidratadas ou desidratadas sejam armazenadas e utilizadas para diversos fins, como propagação de culturas ou manutenção de ambientes naturais (El-Maarouf-Bouteau, 2022). Porém, ao longo do tempo, pode haver a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), causando estresse oxidativo e consequentemente o envelhecimento e perda de viabilidade (Lutts et al. 2016). O papel negativo das EROs está ligado à sua alta reatividade em relação a biomoléculas, como lipídios, ácidos nucleicos, proteínas e açúcares que podem causar alterações e danos celulares (Bailly et al. 2008). Embora a superprodução e acumulação de EROs seja desvantajosa para as estruturas celulares, sua produção controlada também é necessária para a sinalização de diversos eventos fisiológicos.

Segundo Mitler (2017) as EROs estão envolvidas na regulação de diferentes e importantes processos fisiológicos, como a proliferação celular, aclimatação sob estresse, regulação metabólica e diversos outros processos. A superprodução de EROs pode induzir, através de sinalização, a tolerância ao estresse ou causar danos citotóxicos que levam à morte da planta.

Bailly et al. (2008) propuseram o conceito “janela oxidativa” para relacionar a quantidade e o papel de EROs no processo de germinação de sementes. O conceito define um nível necessário para que a sinalização oxidativa ocorra e induza processos fisiológicos (expressão gênica, sinalização hormonal, oxidação proteica e regulação redox) que culminarão na germinação. A produção de EROs abaixo da janela oxidativa mantém a semente em estado de dormência e/ou quiescente, enquanto a produção descontrolada, acima da janela oxidativa, pode causar danos oxidativos e levar à formação de plântulas anormais.

O sucesso de plantas com sementes na colonização de ambientes está relacionado às estratégias que permitem a superação de desafios ambientais, como a manutenção de um estado de repouso entre o período de maturação da semente e a retomada do crescimento que ocorre com a germinação em condições favoráveis (Sharma et al. 2023).

A germinação de uma semente é a primeira etapa que inicia a vida de uma planta, sendo um delicado processo que resultará a transformação de um indivíduo quiescente e protegido por tegumentos em um organismo autotrófico submisso às diversas condições impostas pelo ambiente (Donohue et al. 2010). A protrusão da radícula resultante da hidratação e alongamento celular embrionário é o evento que marca a germinação visível de sementes, sendo a primeira etapa no estabelecimento de uma plântula (Bewley, 1997).

A germinação de sementes ortodoxas obedece ao padrão trifásico de embebição baseado em três fases (Nonogaki et al. 2010; El-Maarouf-Bouteau, 2022)(Figura 1). A primeira fase consiste no rápido aumento do peso da semente em decorrência da hidratação de todo conteúdo celular e início de importantes atividades metabólicas que se estendem até a fase II (platô), onde há limitada hidratação, mobilização de reservas, finalização do reparo e início da síntese do DNA. A respiração, transcrição e tradução de novos mRNAs, reparo e multiplicação mitocondrial são processos que percorrem todas as fases, incluindo a fase III, caracterizada pela protrusão da radícula e

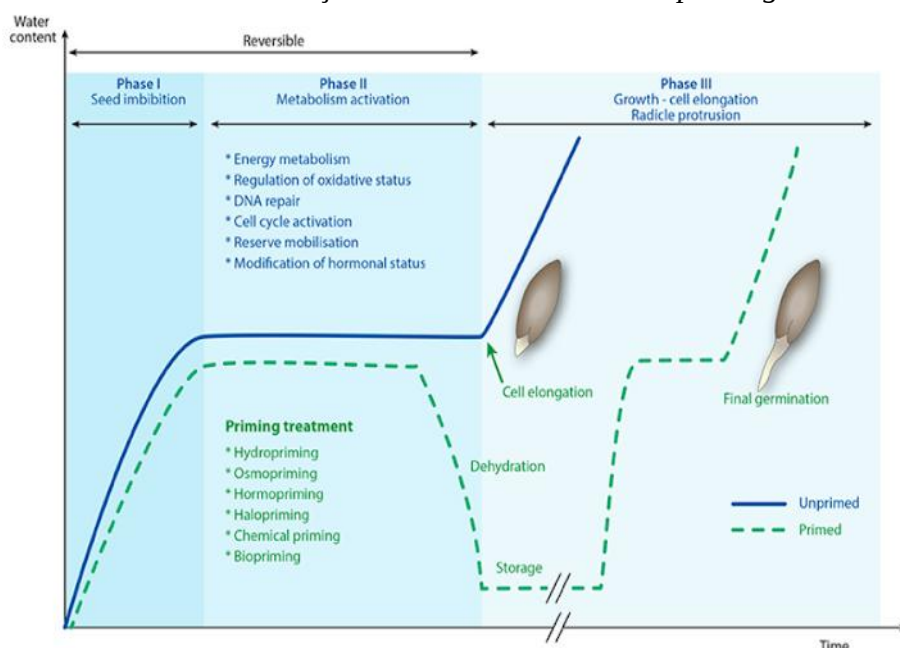
mobilização de reservas de tecidos de armazenamento (Nonogaki et al. 2010). A reversibilidade do processo é impossível na fase III, porém, até a fase II, é possível haver ciclos de hidratação e desidratação de sementes ortodoxas (Lutts et al. 2016). Entretanto, entre as fases da embebição, destaca-se a fase II como a que as sementes são mais tolerantes à dessecação (Dias et al. 2024).

2.2. O PRIMING EM SEMENTES

O *priming* em sementes é uma técnica de pré-semeadura capaz de melhorar parâmetros germinativos e fisiológicos de sementes e plantas, como aumento na porcentagem, velocidade e sincronização da germinação e indução de respostas fisiológicas de tolerância a estresses (Paparella et al. 2015; Bicalho et al. 2024). Embora seja um tratamento de pré-semeadura, seus efeitos podem durar por todo ciclo de vida de uma planta (Srivastava et al. 2021).

A aplicação do *priming* é indicada em sementes ortodoxas e não recalcitrantes (ou intermediárias), pois a metodologia é baseada na hidratação controlada de sementes até a fase II seguida pela desidratação até o peso inicial, de modo a evitar a germinação – protrusão da radícula (Lutts et al. 2016). Após a desidratação, há a possibilidade de armazenamento das sementes ou semeadura. Quando semeadas, as fases I e II ocorrem, geralmente, de maneira mais rápida (Figura 1).

Figura 1– Infográfico referente a curvas de hidratação de sementes ortodoxas e diferentes fases do padrão trifásico de embebição de sementes com e sem *priming*.



Legenda: O infográfico representa o conteúdo de água (eixo Y) ao longo do tempo (eixo X) de sementes ortodoxas durante as fases I, II e III do padrão trifásico de embebição (linha azul contínua). A técnica do *priming* é representada pela linha verde pontilhada, em que é verificada a hidratação até a metade da fase II seguida pela desidratação, reidratação e passagem mais rápida pelas fases I, II e III.

Fonte: Lutts et al. (2016).

A técnica pode ser classificada de acordo com a solução em que a semente será hidratada. Sendo assim, antes da desidratação até o peso inicial, as sementes podem ser embebidas apenas em água (*hidropriming*), em soluções osmóticas com baixo potencial hídrico (*osmopriming*), ou em soluções com moléculas bioativas ou com microrganismos benéficos (*biopriming*) (Paparella et al. 2015). Ainda é possível a hidratação das sementes em soluções com hormônios vegetais (*hormopriming*) (Rhaman et al. 2021), ou também em soluções salinas inorgânicas, como o NaCl, CaCl₂ e KNO₃ (*halopriming*) (El-Sanatawy et al. 2021; Orunsolu et al. 2025).

Diversos trabalhos indicam que a técnica do *priming* em sementes é capaz de induzir importantes processos fisiológicos que promovem melhores parâmetros germinativos e melhoram a tolerância à estresses abióticos em plântulas e plantas submetidas a condições adversas. Como já relatado, a hidratação induz a reativação metabólica e bioquímica em sementes, porém, a desidratação, processo essencial na técnica do *priming*, gera uma experiência estressante à semente, já que a quantidade de água fornecida não é suficiente para que ocorra a protrusão da radícula através do tegumento (Bailly, 2008). A geração de um estresse primário pode preparar um organismo para uma melhor resposta a um estresse posterior (Hilker & Schmölling, 2019). Sendo assim, muitos trabalhos indicam que o *priming* em sementes é capaz de induzir melhores respostas de tolerância a diversos estresses abióticos em sementes e plantas, como a estimulação da atividade de enzimas antioxidantes.

Segundo o trabalho de Espanany et al. (2016), o *hormopriming* (ácido salicílico) e *halopriming* (nitrato de potássio - KNO₃ e cloreto de potássio - KCl) induziram maior taxa de germinação e menor nível de estresse oxidativo em sementes de cominho preto (*Nigella sativa*) submetidas à estresse provocado por cádmio. O metal levou à alta peroxidação lipídica e aumento de malondialdeído (MDA) nas mudas (controle) de cominho, porém, em sementes condicionadas ao *hormopriming*, foi verificado diminuição no acúmulo de MDA, possivelmente pelo tratamento ter favorecido o reparo de membranas celulares durante o condicionamento. Resultados parecidos foram

encontrados por Pereira et al. (2022), onde o *priming* (água, ácido salicílico e NO) em sementes armazenadas de girassol (*Helianthus annuus* L.) aumentou a velocidade da germinação, além de melhorar o sistema antioxidante e seus efeitos citotóxicos. Silva et al. (2023) indicaram que o *priming* em sementes de Ipê-rosa (*Handroanthus heptaphyllus*) cultivadas em rejeitos de minério de ferro induziu respostas em plântulas relacionadas ao metabolismo antioxidante e ao acúmulo de Fe e Mn.

No trabalho de Dias et al. (2024) foi verificado que para o *hidropriming*, o tempo e os ciclos de hidratação são fatores capazes de influenciar diferentes respostas germinativas e bioquímicas. No trabalho, foi verificado que a hidratação de sementes de *H. heptaphyllus* até a fase II induziu o aumento de parâmetros germinativos (germinação, sincronização, tempo médio de germinação e índice de velocidade de germinação) em relação as sementes que hidrataram até a fase I. Além disso, verificou-se que o maior tempo de hidratação gerou plântulas com maior conteúdo de açúcares totais e prolina, enquanto plântulas oriundas de sementes que hidrataram por menos tempo apresentaram maior conteúdo de pigmentos fotossintéticos maior comprimento de raiz e parte aérea.

O armazenamento de sementes é outro fator que pode refletir em parâmetros germinativos e bioquímicos, pois o tempo e as condições de armazenamento (umidade e temperatura) podem levar a deterioração e a perda progressiva da viabilidade de sementes. Orunsolu et al. (2025) investigaram o efeito do *halopriming* em sementes de *H. annuus* armazenadas a curto prazo (0, 7, 14 e 30 dias) e verificaram que a técnica induziu o aumento dos parâmetros germinativos (%G, IVG e T50) e melhorou parâmetros bioquímicos, como o menor conteúdo de H₂O₂ em sementes armazenadas.

Trabalhos com *osmopriming* também mostraram dados interessantes relacionados à tolerância à estresses abióticos. Foi observado por Chen & Arora (2011) que o *osmopriming* com polietilenoglicol (PEG) em sementes de espinafre (*Spinacia oleracea*) submetidas a estresse hídrico (déficit) e térmico (frio), foi capaz de induzir maior porcentagem de germinação e comprimento de radícula em sementes tratadas com *priming* submetidas aos estresses.

Segundo Lutts et al. (2016), a técnica do *priming* em sementes pode induzir a proteção contra estresse oxidativo a partir da regulação da produção e acúmulo de EROS, além de ser capaz de gerar sinalizações que resultam em respostas fisiológicas, como aumento da atividade do sistema antioxidante enzimático, por exemplo. A atuação

do *priming* em sementes está ligada à ativação de enzimas envolvidas na mobilização de reservas e ao enfraquecimento do endosperma, como hidrolases, proteases, α -amilase e desidrogenases, além de também estar envolvido na indução da regulação positiva de fatores de transcrição ligados a respostas à estresse, como proteínas de reparo de DNA e componentes antioxidantes (Srivastava et al. 2021; Farooq et al. 2019). Então, segundo as conclusões de Farooq et al. 2019, o *priming* em sementes é capaz de fortalecer os mecanismos de defesa das plantas, aumentar a tolerância a condições estressantes e estabilizar a integridade de membranas através da indução de diversos processos, como o aumento da atividade do sistema antioxidante.

2.3. ESTRESSE ABIÓTICO, ESPÉCIES REATIVAS DE OXIGÊNIO E SISTEMA ANTIOXIDANTE

Estresse pode ser definido como qualquer fator potencialmente desfavorável aos organismos vivos (Levitt J, 1980; Lichtenthaler, 1988). Já o estresse em plantas pode ser definido como:

Estado em que as crescentes demandas feitas a uma planta levam a uma desestabilização inicial das funções, seguida pela normalização e resistência melhorada. Se os limites de tolerância forem excedidos e a capacidade adaptativa for sobrecarregada, danos permanentes ou até mesmo a morte podem ocorrer. O estresse, portanto, contém elementos destrutivos e construtivos: é um fator de seleção, bem como uma força motriz para resistência melhorada e evolução adaptativa. (Lascher, 1987, p.158).

Uma condição estressante é gerada por fatores bióticos ou abióticos que podem ou não induzir estresse em uma planta. O estresse biótico é causado por organismos vivos capazes de causar danos ou infecção, como herbívoros e patógenos - nematoides, fungos, bactérias ou vírus (Gall et al. 2015). Já o abiótico é gerado como consequência de determinadas condições que, em diferentes quantidades e intensidades possuem o potencial de interferir no crescimento e desenvolvimento de plantas (Zhu, 2016).

Fatores térmicos, nutricionais, hídricos e luminosos em excesso ou déficit são sinais ambientais capazes de induzir respostas fisiológicas desfavoráveis. Estas condições adversas são percebidas pelas plantas de diversas maneiras, seja por via de receptores de uma única folha ou através de todo corpo vegetal (Fichman & Mittler,

2020). Uma das consequências bioquímicas mensuráveis dos estresses abióticos é a formação descontrolada de EROs, que podem resultar no estresse oxidativo, como manifestação comum dos diversos tipos de fatores abióticos desfavoráveis. As EROs são subprodutos provenientes do metabolismo aeróbico, formadas em diversas organelas celulares, como em cloroplastos, mitocôndrias, peroxissomos e em compartimentos onde há a presença de proteínas e de moléculas capazes de excitar ou doar elétrons ao oxigênio molecular (Mittler, 2017). Radicais superóxido ($-\text{O}_2^-$), radicais hidroxila ($-\text{OH}$) e formas não radicais, como o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio singlete ($^1\text{O}_2$) são os principais representantes dessas moléculas (Rajput et al. 2021). A elevação e acúmulo de EROs pode levar ao estresse oxidativo, devido a um desequilíbrio de oxidantes e antioxidantes, podendo causar a destruição de biomoléculas e o comprometimento da sinalização redox (Choudhary et al. 2024).

Os vegetais possuem diferentes mecanismos de defesa contra a superprodução e acúmulo de EROs. Os efeitos gerados pelas por essas moléculas podem ser amenizados a partir do sistema de defesa antioxidante enzimático, sendo as principais enzimas: superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) (Chen & Arora, 2011), peroxidases (POX), glutathione peroxidase (GPX), glutathione redutase (GR), glutathione S-transferases (GST) (Rajput et al. 2021) e também por componentes do sistema antioxidante não enzimático: metionina (Soares et al, 2019), ácido ascórbico, glutathione, flavonóides, isoprenóides, carotenóides, tocoferóis (vitamina E), ubiquinona e plastoquinona, que assim como as enzimas antioxidantes, atuam em diferentes compartimentos da célula vegetal (Rudenko et al. 2023).

A enzima antioxidante SOD [EC 1.15.1.1] é classificada de acordo com o cofator utilizado pela enzima, sendo SOD de ferro (Fe SOD) localizadas no cloroplasto, SOD de manganês (Mn SOD) encontrada em mitocôndrias e peroxissomos e SOD de Cobre-Zinco (Cu/Zn SOD) situada no cloroplasto e citosol (Alschera et al. 2002). A SOD é responsável por catalisar a dismutação de O_2 em H_2O_2 e oxigênio molecular (Soares et al, 2019). Já a CAT [EC.1.11.1.6] degrada peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água (H_2O) e oxigênio (O_2) (Chen & Arora, 2011) e sua atividade é realizada em glioxissomos e principalmente em peroxissomos (Rudenko et al, 2023).

A APX [EC 1.11.1.11] é outra importante enzima do sistema enzimático antioxidante responsável por catalisar a oxidação de compostos orgânicos na presença de H_2O_2 (Mishra et al. 2023). Esta catálise é dependente do ciclo do ácido ascórbico-

glutathione reduzida (Chen & Arora, 2011). Segundo Mishra et al. (2023), há diferentes categorias de APX, diferenciadas de acordo com sua localização celular, podendo ser as isoformas ligadas a membranas encontradas em peroxissomas, glioxissomos e tilacóides de cloroplastos, enquanto as isoformas solúveis são encontradas em mitocôndrias, no citosol e no estroma de cloroplastos.

Segundo Soares et al. (2019), o aminoácido Metionina é um importante componente do sistema não enzimático do metabolismo antioxidante de plantas. Hildebrandt et al. (2015) afirma que o catabolismo de aminoácidos possui relevância não apenas no processo natural de senescência de plantas, mas também na tolerância ao estresse em plantas terrestres. Embora seja possível a oxidação de todos os aminoácidos, a oxidação de cisteína e metionina por EROs ocorre com mais frequência devido à presença de enxofre na cadeia lateral, que possui baixo potencial de oxidação (Vogt, 1995; Enache & Oliveira-Brett, 2011).

A metionina também está diretamente envolvida na biossíntese do etileno, fitormônio que pode estar relacionado a processos de crescimento, amadurecimento de frutos climatéricos, abscisão de folhas e flores e a respostas de tolerância a estresse em plantas (Khan et al. 2024).

Estudos indicam que a aplicação de aminoácidos em sementes (imersão ou *priming*) é capaz de induzir importantes respostas germinativas e fisiológicas. Segundo Ren et al. (2023) a imersão de sementes de milho em solução exógena de metionina induziu melhoria metabólica endospermática e embrionária ligadas ao processo germinativo. O estudo de Abdelkader et al. (2023) indicou que o *priming* em sementes de cebola (*Allium cepa* L.) com 10 diferentes aminoácidos exógenos na concentração de 0,5 g/L foi capaz de gerar interessantes respostas ligada velocidade na germinação e ao aceleração do crescimento de mudas.

Como já citado, na técnica do *priming*, a hidratação de sementes em soluções com baixo potencial hídrico é denominada *osmopriming* e o seu principal objetivo é limitar a lesão oxidativa causada por EROs (Paparella et al. 2015). Sendo assim, a metionina pode ser considerada um agente osmótico utilizado na técnica do *osmopriming*.

2.4. LUZ, ESTRESSE LUMINOSO E ÁREAS DEGRADADAS DA MATA ATLÂNTICA

A elevada irradiância pode induzir o estresse luminoso em plantas por fornecer níveis de energia luminosa acima daqueles utilizados na fotossíntese, podendo levar a diminuição da eficiência do fotossistema II e consequentemente a fotoinibição (Freitas et al. 2022). Embora a organela celular mais afetada sob tal condição seja o cloroplasto (Szymańska et al. 2017), todo o corpo vegetal é vulnerável aos prejuízos causados. A cadeia de transporte de elétrons fotossintética é um dos principais locais ligados à geração de EROs, possuindo grande potencial de formação de oxigênio singlete $^1\text{O}_2$ e ânion superóxido ($\bullet\text{O}_2^-$). (Rajput et al. 2021). Segundo Duque et al. (2013), as plantas possuem diversos mecanismos fisiológicos ligados à fotoproteção e à evitação de fotoinibição e fotodanos. A regulação da dissipação de energia pode ser regulada através do ciclo da xantofila e da fotorrespiração, processo metabólico ocorrido em cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos. A fotorrespiração pode gerar peróxido de hidrogênio em peroxissomos e embora a CAT atue no processo de desintoxicação oxidativa nesta organela, em altas concentrações de H_2O_2 sua atividade pode ser inativada e, como consequência, a organela se torna um compartimento celular tóxico (Goto-Yamada et al. 2023).

O desenvolvimento das plantas em níveis diferentes de luminosidade pode classifica-las em diferentes grupos ecológicos relacionados à sucessão ecológica: plantas pioneiras e não pioneiras (Swaine & Whitmore, 1988). O grupo de plantas pioneiras é composto por espécies que necessitam da presença de luz solar plena para germinar e apresentam o crescimento e desenvolvimento satisfatórios sob condições de maior luminosidade – locais abertos, clareiras ou bordas de áreas fragmentadas. Diferentemente, as espécies não pioneiras possuem sementes que irão germinar em ambientes sombreados e terão seu pleno crescimento e desenvolvimento em condições de moderada luminosidade, como abaixo de copas de florestas, no sub-bosque.

Budowski (1965) classifica as espécies entre pioneiras, secundárias iniciais, secundárias tardias e clímax, sendo cada grupo representado por características específicas em relação ao ciclo de vida, altura, dossel, crescimento, tolerância a sombra, tamanho, viabilidade e síndrome de dispersão de sementes e diversos outros atributos. As características de espécies pioneiras são ideais para a colonização de novos ambientes e para a facilitação do estabelecimento de espécies de estágios sucessionais

avançados. Porém, em projetos de revegetação é necessário que sejam utilizadas pioneiras e não pioneiras, já que, normalmente, as pioneiras possuem um curto ciclo de vida e podem formar um dossel homogêneo (Budowski, 1965; Schneider, 2023).

Embora o plantio de mudas e a semeadura direta sejam métodos de restauração ativa (Schneider et al. 2023), a semeadura direta é um método que gera menor custo de implantação e facilita a restauração de grandes áreas. Porém, a mortalidade de plântulas ou a não emergência são fatores que podem levar ao fracasso da restauração. Segundo Gazzola et al. (2023), a disponibilidade de sementes com boa qualidade fisiológica é um fator essencial para a eficácia da técnica, já que as sementes e plântulas poderão ser submetidas a áreas degradadas com diversas intensidades e tipos de estresses abióticos e bióticos.

A degradação de áreas naturais é motivada por inúmeros fatores, porém, no território Brasileiro, grandes impactos são causados pela expansão agropecuária. A Mata Atlântica abriga, aproximadamente, 20% de todas as espécies do planeta, porém, o intenso processo de degradação e perda de espécies endêmicas a colocou entre os cinco *hotspots* mundiais (Schneider et al. 2023). Dados do MapBiomas (2023) apontam que 13% do território do Brasil é coberto por este Bioma que abriga 53,5% da área urbana do Brasil, porém, apenas 26,2% de sua extensão é ocupada por áreas naturais (florestas, mangues e restingas). Segundo dados coletados pelo Sistema de Alertas de Desmatamento (SAD) (Fundação S.O.S. Mata Atlântica, 2023) no ano de 2022 e 2023, 74.556 e 81.353 ha, respectivamente, do Bioma foram desmatados. A agropecuária é o fator de maior relevância relacionado à degradação do Bioma, sendo a conversão de áreas originais em áreas de pastagem a principal causa de degradação (Projeto MapBiomas, 2023).

A flora da Mata Atlântica está presente em grande extensão da costa brasileira, sendo assim, está sujeita a grandes variações edáficas, térmicas, nutricionais e luminosas. Tais fatores podem explicar a grande diversidade de suas fitofisionomias, previstas na LEI Nº 11.428, DE 22 DE DEZEMBRO DE 2006:

No Art. 2º da LEI Nº 11.428, DE 22 DE DEZEMBRO DE 2006 consideram-se integrantes do Bioma Mata Atlântica as seguintes formações florestais nativas e ecossistemas associados, com as respectivas delimitações estabelecidas em mapa do Instituto Brasileiro

de Geografia e Estatística - IBGE, conforme regulamento: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semidecidual; e Floresta Estacional Decidual, bem como os manguezais, as vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste. (Brasil, 2006).

Para restauração de áreas degradadas, é indicado o plantio de alta diversidade de espécies nativas, já que a introdução de espécies exóticas pode causar sérios prejuízos ecológicos (Assis et al. 2013). Plantas da espécie *Myrsine coriacea* (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult., pertencentes à Família Primulaceae são árvores pioneiras (Oliveira & Leme, 2013), perenifólias, heliófilas, higrófilas com características de formações secundárias, mas são encontradas, preferencialmente, em encostas e beiras de córregos (Pascotto, 2007), sendo também muito comuns em florestas pluviais da encosta Atlântica (Venâncio & Miura, 2013). Silveira et al. (2013) realizaram sua avaliação silvicultural em pastagens abandonadas e concluíram que a espécie apresenta maior sobrevivência (95,83%) e melhor crescimento quando estabelecida em encostas de morros, onde os solos apresentam melhor drenagem. Seus pequenos frutos globosos de coloração arroxeada são abundantemente consumidos por *Didelphis albiventris* (Gambá de orelha branca), o que pode oferecer de grande vantagem para a nutrição da fauna local e para a dispersão de suas sementes (Oliveira & Leme, 2013). Pascotto (2007), também ressaltou que a espécie é ornitocórica, atributo desejável em projetos de restauração ecológica (Silveira et al. 2013).

A espécie *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith pertencente à Família Bignoniaceae, é classificada como não pioneira (Colmanetti & Barbosa, 2013) e possui importância ornamental, econômica e ecológica (Gandolphi & Bittencourt, 2010), sendo muito utilizada no paisagismo de áreas urbanas (Stockman et al. 2007) e no reflorestamento de terrenos secos e pedregosos (Lorenzi, 2002). A espécie é representada por árvores de 8 a 10 metros de altura (Costa et al. 2019) amplamente distribuídas ao longo do território brasileiro, principalmente em Florestas Estacionais Semidecíduais (Stockman et al. 2007).

Embora majoritariamente presente em áreas de Cerrado, a espécie *Astronium fraxinifolium* Schott, popularmente conhecida como “Gonçalo-Alves” também ocupa o

território da Mata Atlântica brasileira (Drumond et al. 1999). Pertencente à Família Anacardiaceae, a espécie é classificada como pioneira, decídua e heliófila e possui potencial de fitorremediação por tolerar o cultivo em solo contaminado com boro e por fitoextrair este contaminante do solo e acumulá-lo, em maior parte, em sua parte aérea sem que isso cause lhe danos fisiológicos (Leite et al. 2022). A espécie é amplamente utilizada em estudos de ligados aos temas de adubação verde, reflorestamento e recuperação de solos degradados (Kitamura et al. 2008; Miranda et al. 2011; Feitosa et al. 2011; Junior et al. 2015). Além disso, possuem fácil produção de mudas em viveiro (Miranda et al. 2011) e apresentam uma madeira pesada e compactada, com ampla utilização em construções navais e civis (Lorenzi 2002).

A espécie *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna, antigamente denominada *Chorisia speciosa* A. St.-Hil. (Bombacaceae) é uma planta atualmente pertencente à Família Malvaceae (Rosselli et al. 2020). É classificada ecologicamente como não pioneira (Colmanetti & Barbosa, 2013) ou clímax exigente à luz (Carvalho et al. 2006). É uma espécie nativa de florestas subtropicais e tropicais da América do Sul (Rosselli et al. 2020). Muitos trabalhos apontam sua utilização em projetos de restauração da Mata Atlântica (Schneider et al. 2023; Almeida et al. 2020; Lima Filho et al. 2019). Por apresentar uma floração rosa exuberante, é muito utilizada no paisagismo e sua densa produção de paina a torna uma potencial espécie para produção sustentável de fibra natural (Gómez-Maquo et al. 2022). Estudos de Leal et al. (2021) realizaram interessantes descobertas ligadas a obtenção de nanocelulose a partir da fibra de *C. speciosa*. A espécie é representada por árvores de 10 a 20 metros de altura que crescem retas e estreitas, mas ao longo do tempo, sua base torna-se arredondada (Rosselli et al. 2020). Segundo Marzinek & Mourão (2003) sementes maduras de *C. speciosa* apresentam a coloração escura (quase preta), formato obovoide e levemente achatadas na região da rafe. O endosperma é encontrado em pequena quantidade, já que o embrião ocupa grande parte da cavidade seminal e ambos são ricos em material lipídico e possuem pequena quantidade de amido. Seus frutos são cápsulas deiscentes que abrigam muitas sementes imersas em painas, as quais são utilizadas para favorecer a dispersão da semente pelo vento e também para usos comerciais, como enchimento de travesseiros e colchões, enquanto as fibras dos frutos podem ser utilizadas para confecção de cordas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

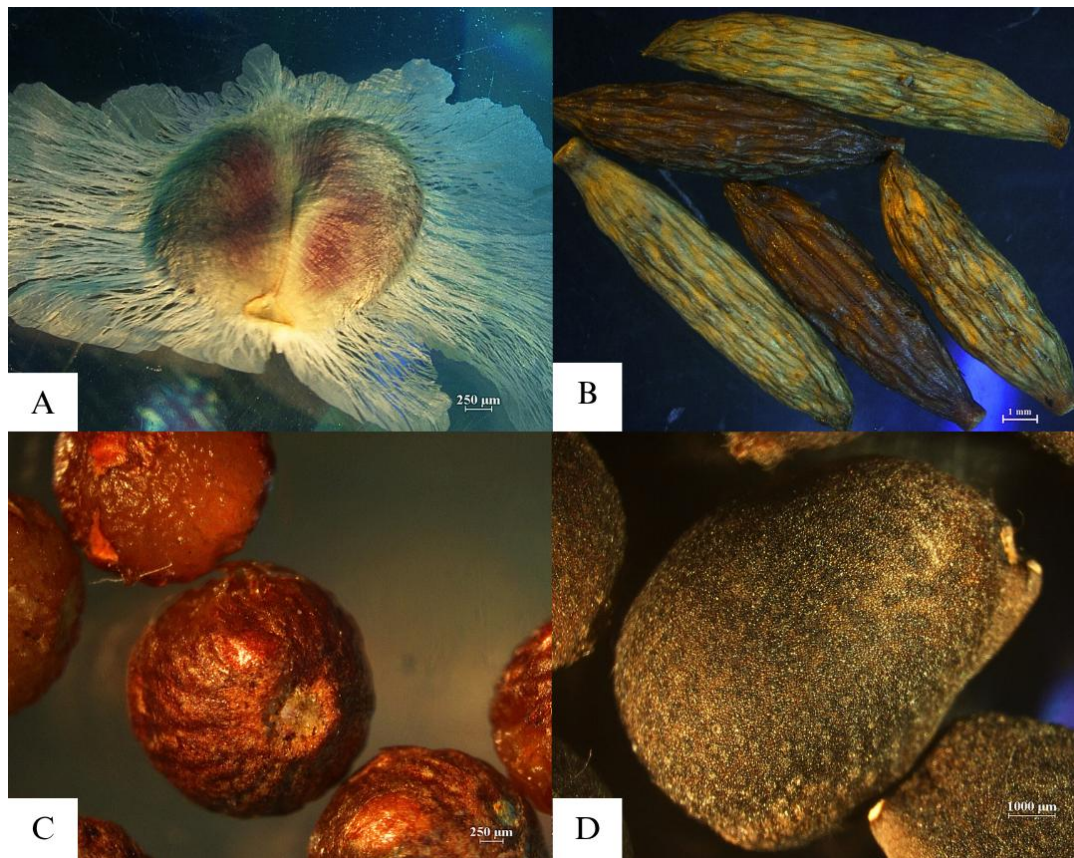
3.1. MATERIAL VEGETAL

Foram utilizadas sementes de quatro espécies arbóreas e nativas da Mata Atlântica: *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith (Ipê-branco), *Astronium fraxinifolium* Schott (Gonçalo-Alves), *Myrsine coriacea* (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult (Pororoca) e *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna (Paineira) (Figura 2).

As sementes de *T. roseoalba* e *A. fraxinifolium* foram doadas pela Rede Sementes do Xingu, associação não-governamental sem fins lucrativos, estruturada por povos indígenas, agricultores familiares e comunidades urbanas. Canarana-MT e Porto Alegre do Norte-MT, foram, respectivamente, os locais de coleta das sementes a partir de 20 matrizes de *T. roseoalba* e 8 matrizes de *A. fraxinifolium*.

Já as sementes de *M. coriacea* e *C. speciosa* foram doadas pelo Professor Lucas Amaral de Melo, docente do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras. Sementes de *M. coriacea* foram coletadas de 8 indivíduos localizados na zona rural do município de Carmo da Mata – MG no mês de janeiro de 2024, enquanto as sementes de *C. speciosa* foram coletadas em agosto do mesmo ano em matrizes localizadas no município de Ribeirão Vermelho-MG.

Figura 2 – Fotografias de estereomicroscópio de sementes das espécies utilizadas no experimento I. (A) *Tabebuia roseoalba* (Ridl.) Sandwith, (B) *Astronium fraxinifolium* Schott, (C) *Myrsine coriacea* (Sw.) R.Br. ex Roem. & Schult e (D) *Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna.



Imagens realizadas no Microscópio estereoscópio com epi-fluorescência SMZ 1500 (Nikon), instalado no Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural (LME) do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras. Fonte: Do autor (2025).

Ao longo de todo o trabalho as sementes foram mantidas em sacos de papel kraft e armazenadas em câmara fria sob temperatura de 4°C para evitar que fatores como a luz, temperatura ou umidade interferissem na viabilidade das sementes.

3.2. CARACTERIZAÇÃO INICIAL DAS SEMENTES

A caracterização das sementes e os experimentos foram realizados no Setor de Fisiologia Vegetal e de Botânica Aplicada do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizada no município de Lavras/MG.

- Determinação do grau de umidade (U%)

A determinação do grau de umidade (%U) foi realizada a partir da utilização de cinco repetições de 20 sementes (para cada espécie) através do método de estufa a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas, conforme descrito nas Regras para análise de sementes (RAS), descrita em Brasil (2009) a partir da utilização do seguinte cálculo:

$$\% \text{ de Umididade } (\%U) = \frac{100 * (M_i - M_f)}{M_i - t}$$

Onde:

M_i : massa inicial, massa do recipiente mais o peso da semente úmida.

M_f : massa final, massa do recipiente mais o peso da semente seca.

T: tara, massa do recipiente.

- Peso de mil sementes (PMS)

O peso de mil sementes foi também determinado através do método descrito por Brasil (2009), em que, para cada espécie, foram pesadas oito repetições de 100 sementes e em seguida calculado o peso aproximado de mil sementes através da seguinte fórmula:

$$\text{Peso de mil sementes (PMS)} = \frac{\text{Peso da amostra} * 1000}{n^{\circ} \text{ total de sementes}}$$

- Teste de germinação

Para realização do teste de germinação, as sementes de *T. roseoalba*, *A. fraxinifolium* e *M. coriacea* foram desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio (NaClO) 1%, já as sementes de *C. speciosa* foram desinfestadas em hipoclorito de sódio a 2,5% e detergente também durante 10 minutos. Em seguida, o material vegetal foi cuidadosamente enxaguado em água corrente, depois em água deionizada e inseridos em placas de Petri contendo dupla camada de papel filtro esterilizado em estufa a 105°C durante duas horas e umedecidos com solução fungicida de Nistatina a 0,5% (Vieira et al. 2017) para evitar a contaminação fúngica.

Após a desinfestação, as placas de Petri contendo as sementes foram inseridas em câmaras de germinação sob fotoperíodo de 12 horas (40 μmol fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Aquelas contendo sementes de *C. speciosa*, *M. coriacea* e *A. fraxinifolium* foram inseridas em câmaras de germinação com a temperatura constante de 25°C. Para *M. coriacea*, 25° C foi a temperatura ótima de germinação observada em pré-teste e para *C. speciosa*, foi realizado de acordo com Silva et al. (2021). As placas de Petri contendo sementes de *T. roseoalba* foram submetidas a 30°C também constante (Stockman et al. 2007). Neste teste de germinação para caracterização inicial, todas as espécies continham 5 repetições de 20 sementes.

A germinação foi contabilizada diariamente até a sua estabilização e as sementes foram hidratadas com água deionizada quando necessário. O critério utilizado para determinar a germinação foi a protrusão da radícula (>2 mm).

A porcentagem de germinação final (%G) foi o parâmetro germinativo avaliado através da utilização da seguinte fórmula:

$$\%G = \frac{N^{\circ} \text{ de sementes germinadas} * 100}{N^{\circ} \text{ de sementes total}}$$

Além da %G, também foi calculado a variável índice de velocidade de germinação (IVG), conforme proposto por (Maguire, 1962) e representado pela fórmula abaixo.

$$IVG = \sum \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} \dots \dots \cdot \frac{Gn}{Nn'}$$

Onde:

G: número de sementes germinadas.

N: dias da instalação do teste.

O PMS, a %U, a %G e o IVG estão apontados logo abaixo, na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados referentes à caracterização inicial do material vegetal. Os valores representam as médias $\pm$ desvio padrão. PMS: Peso de mil sementes. U (%): Grau de umidade. G (%): Porcentagem de germinação final. IVG: Índice de velocidade de germinação.

Espécie	PMS (g)	U (%)	G (%)	IVG
<i>T. roseoalba</i>	20,73 $\pm$ 0,11	9,63 $\pm$ 0,41	75 $\pm$ 6,32	5,03 $\pm$ 0,5
<i>A. fraxinifolium</i>	34,9 $\pm$ 0,31	12,22 $\pm$ 0,21	100 $\pm$ 0	9,7 $\pm$ 0,10
<i>M. coriacea</i>	7,22 $\pm$ 0,07	9,48 $\pm$ 0,42	92 $\pm$ 2	2,15 $\pm$ 0,1
<i>C. speciosa</i>	165,93 $\pm$ 1,17	7,69 $\pm$ 0,10	86 $\pm$ 1,87	3 $\pm$ 0,17

Fonte: Do autor (2025).

3.3. CURVAS DE EMBEBIÇÃO E SECAGEM

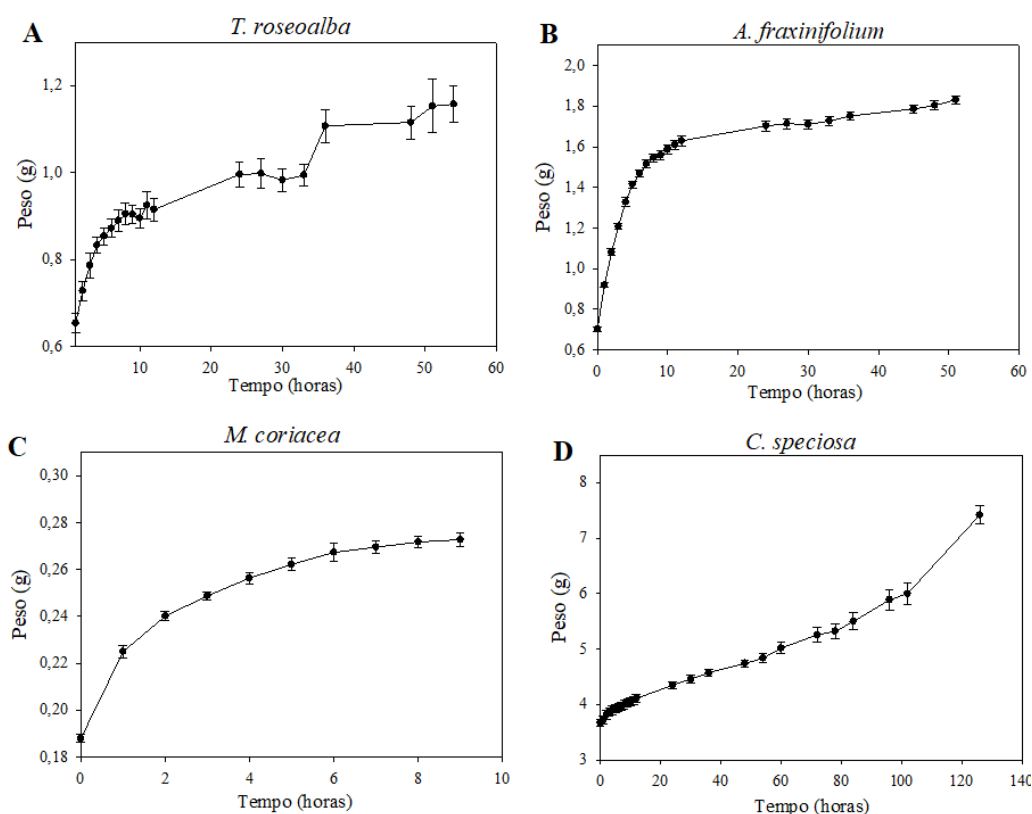
Para a realização da curva de embebição, cinco repetições contendo 20 sementes (de cada espécie) foram pesadas em balança analítica Marte/Shimadzu AY220 e

posteriormente inseridas em placas de Petri contendo dupla camada de papel de germinação esterilizado e hidratado com água deionizada.

As placas de Petri contendo as sementes foram mantidas fechadas em temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ \text{C}$) e as sementes foram pesadas a cada hora durante as 12 primeiras horas e 16, 20, 24, 36, 48 e 72 horas após o início da embebição ou até a protrusão radicular.

O tempo necessário para as sementes chegarem até o meio da fase II do padrão trifásico foi de 12 horas para *T. roseoalba* e *A. fraxinifolium*, 6 horas para *M. coriacea* e 48 horas para *C. speciosa* (Figura 3).

Figura 3 – Curvas de embebição de sementes de (A) *T. roseoalba*; (B) *A. fraxinifolium*; (C) *M. coriacea* e (D) *C. speciosa*.



Fonte: Do autor (2025).

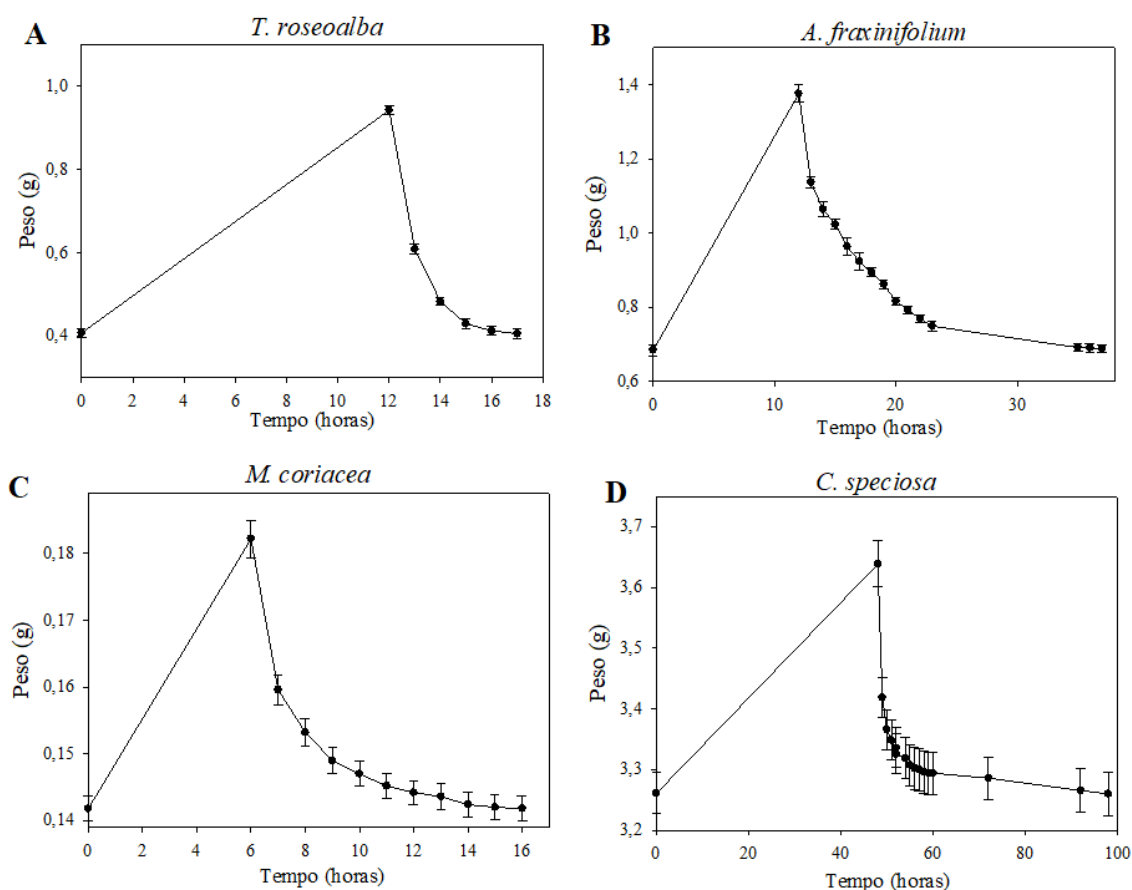
Para a elaboração da curva de secagem, cinco repetições de 20 sementes (de cada espécie) foram pesadas (peso inicial) e passaram pelo processo de embebição até a estabilização da fase II. Após atingirem a metade da fase II, foram pesadas e inseridas em uma camada de papel de germinação seco e esterilizado acondicionado em caixas de

germinação sem tampa contendo 70 g de sílica gel na coloração azul, que era trocada sempre que sua coloração mudava para a cor rosa (indicando retenção de umidade).

A secagem das sementes ocorreu em temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ \text{C}$) e as pesagens foram realizadas a cada hora durante as 12 primeiras horas e 16, 20, 24, 36, 48 e 72 horas após o início da secagem ou até que as sementes atingissem seu peso inicial.

O tempo necessário para as sementes chegarem até o peso inicial foi de 5 horas para *T. roseoalba*, 26 horas para *A. fraxinifolium*, 11 horas para *M. coriacea* e 51 horas para *C. speciosa* (Figura 3.1).

Figura 3.1 - Curvas de secagem de sementes de (A) *T. roseoalba*; (B) *A. fraxinifolium*; (C) *M. coriacea* e (D) *C. speciosa*.



Fonte: Do autor (2025).

3.4. PREPARO E DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METIONINA PARA O PRIMING

Para cada espécie foram realizados testes de germinação com 6 diferentes tratamentos, sendo todos eles compostos por 5 repetições contendo 20 sementes. Os

tratamentos aplicados foram: sem *priming* (controle), *priming* com água (*hidropriming*) e 4 tratamentos de *priming* com diferentes concentrações de metionina: 0,25; 0,5; 0,75 e 1,0 g/L (baseado em Abdelkader et al. (2023) com modificações).

Para o *priming*, sementes de *T. roseoalba*, *A. fraxinifolium*, *M. coriacea* e *C. speciosa* foram hidratadas até a metade da fase II, ou seja, durante 12, 12, 6 e 48 horas, respectivamente, em água (*hidropriming*) e em diferentes concentrações de metionina (0,25; 0,5; 0,75; 1g/L). *T. roseoalba* e *C. speciosa* foram hidratadas em caixas de germinação contendo dupla camada de papel filtro esterilizado e umedecido com 8 mL das soluções, enquanto *A. fraxinifolium*, *M. coriacea* foram hidratadas em placas de Petri também com dupla camada de papel filtro esterilizado, porém, com 6 mL de cada solução. Devido às discrepâncias de tamanho das sementes, o tamanho da placa e volume de solução foram adequados às suas respectivas necessidades.

Após a hidratação até a metade da fase II, as sementes de *T. roseoalba*, *A. fraxinifolium*, *M. coriacea* e *C. speciosa* foram controladamente desidratadas durante 5, 26, 11 e 51 horas, respectivamente, até atingirem o seu peso inicial. Para a desidratação, cada repetição de 20 sementes foi inserida em caixas de germinação contendo uma camada de papel filtro e 70g de sílica gel na coloração azul.

Após atingirem o peso inicial, as sementes dos tratamentos com *priming* e do tratamento controle (sem *priming*) foram desinfestadas e seguiram para o teste de germinação, conforme descrito na caracterização inicial das sementes.

Diariamente foi realizada a avaliação da germinação e ao final do experimento, foram analisados os parâmetros %G e IVG, os quais foram utilizados como base para a definição da concentração de metionina a ser utilizada para cada espécie nos experimentos I e II.

3.5. EXPERIMENTO I: RESPOSTAS GERMINATIVAS E BIOQUÍMICAS INDUZIDAS PELO PRIMING

O primeiro experimento foi conduzido em laboratório, sob condições controladas e em delineamento inteiramente casualizado, sendo composto por 4 tratamentos (sem *priming* (controle), *hidropriming* e *priming* com metionina e polietilenoglicol 6000) contendo 5 repetições de 20 sementes cada - para cada espécie.

3.6. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO E PREPARO DA SOLUÇÃO DE POLIETILENOGLICOL 6000

Após a análise dos parâmetros avaliados no teste de germinação com diferentes concentrações de metionina, foi escolhida, para cada espécie, a concentração que influenciou maiores resultados de G (%) e IVG. Foi, então, realizada a caracterização das soluções de metionina a serem utilizadas no experimento I. O pH das soluções foi definido a partir da utilização do medidor de pH MS Tecnopon– mPA-210 e o potencial osmótico foi determinado através da equação de Van't Hoof, representada logo abaixo.

$$\Psi\pi = -RTC$$

Onde:

$\Psi\pi$: Potencial osmótico (atm).

R: Constante geral dos gases perfeitos (0,082 atm.L.mol⁻¹K⁻¹).

T: Temperatura (K).

C: concentração (mol L⁻¹).

Após o cálculo e a determinação do potencial osmótico de cada concentração de metionina, foi calculado também o potencial osmótico de Polietilenoglicol 6000 (PEG) equivalente aos das soluções de metionina utilizado para cada espécie. Os dados referentes aos valores de potencial osmótico de PEG utilizados foram baseados na tabela de Vilela et al. (1991). As soluções de PEG também foram caracterizadas em relação ao seu pH, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do pH e do potencial osmótico das soluções de metionina e de polietilenoglicol 6000 em relação à concentração de metionina utilizada no *priming* e à temperatura de germinação de cada espécie.

	Espécie			
	<i>T. roseoalba</i>	<i>A. fraxinifolium</i>	<i>M. coriacea</i>	<i>C. speciosa</i>
Temperatura de germinação (°C)	30	25	25	25
Concentração de Metionina (g/L)	1	1	1	0,5
pH da solução de metionina	5,7	5,7	5,7	6,1
$\Psi\pi$ da solução de metionina (bar)	-0,1712	-0,16602	-0,16602	-0,0829
Concentração de PEG com $\Psi\pi$ equivalente ao de metionina(g/L)	14,614	13,0309	13,0309	6,506
H da solução de PEG	7,7	7,7	7,7	7,8

Fonte: Do autor (2025).

3.6.1. APLICAÇÃO DO PRIMING E TESTE DE GERMINAÇÃO

Para o *priming*, as sementes foram hidratadas até a metade da fase II em solução de metionina, de polietilenoglicol 600 ou em água (*hidropriming*). A concentração da solução de metionina para as sementes das espécies *T. roseoalba*, *A. fraxinifolium* e *M. coriacea* foi de 1 g/L e para as sementes de *C. speciosa* foi de 0,5 g/L. Já a concentração de PEG foi equivalente ao potencial osmótico das concentrações de metionina (Tabela 2).

Após a hidratação até a metade da fase II, as sementes foram controladamente desidratadas até atingirem o peso inicial. A secagem das sementes ocorreu em temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ \text{C}$) e em caixas de germinação contendo uma camada de papel filtro esterilizado e 70 g. de sílica gel na coloração azul, que foi trocada sempre quando apresentava coloração rosa.

A desinfestação foi realizada assim que as sementes atingiram o peso inicial. O protocolo de desinfestação foi o mesmo realizado no teste de germinação de caracterização inicial.

Depois de desinfestadas, as sementes referentes aos quatro tratamentos (sem *priming* (controle) e com *priming* – água, metionina e PEG) foram semeadas em placas de Petri ou caixas de germinação contendo dupla camada de papel filtro esterilizada e umedecida com solução de Nistatina a 0,05% (Vieira et al. 2017) e então inseridas em câmaras de germinação com fotoperíodo de 12 horas ($40 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em suas respectivas temperaturas \u00f3timas de germinação (Tabela 2).

3.6.2. AN\u00c1LISES BIOQU\u00cdMICAS

Nas an\u00e1lises bioqu\u00edmicas, al\u00e9m dos quatro tratamentos j\u00e1 citados, foi adicionado um outro tratamento controle, por\u00e9m, com sementes n\u00e3o hidratadas e que n\u00e3o passaram pelo *priming* (CNH: controle n\u00e3o hidratado). Ap\u00f3s passarem pelo *priming* e serem reidratadas at\u00e9 a fase II, as sementes foram coletadas para as an\u00e1lises bioqu\u00edmicas

Para cada an\u00e1lise bioqu\u00edmica, foram maceradas, em N_2 l\u00edquido e polivinilpirrolidona (PVP), 0,1 g de sementes de cada tratamento de cada esp\u00e9cie. Cada repeti\u00e7\u00e3o contendo 0,1 g de massa fresca foi inserida em microtubos *ependorf* de 2 mL e posteriormente armazenadas em ultrafreezer -80°C at\u00e9 o in\u00edcio das an\u00e1lises.

3.6.2.1 EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

A quantificação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) seguiu o protocolo de Velikova et al. (2000). Após maceradas e pesadas, as amostras foram homogeneizadas com ácido tricloroacético (TCA) 0,1% e posteriormente centrifugadas a 12.000 g durante 15 minutos à 4 °C. Uma alíquota do sobrenadante foi coletada e utilizada para a reação com iodeto de potássio (KI) (1 M) e tampão fosfato de potássio (KH_2PO_4) (10 mM - pH 7,0). Foi realizada leitura da absorbância em espectrofotômetro a 390 nm e os níveis de H_2O_2 foram quantificados através de uma curva padrão.

3.6.2.2. EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE MALONDIALDEÍDO (MDA)

A peroxidação lipídica foi determinada pela quantificação de malondialdeído (MDA). A extração e quantificação de MDA de sementes de *T. roseoalba* seguiu o protocolo de Freitas-Silva et al. (2021), onde 0,1 g de matéria fresca macerada em N_2 líquido e PVPP foi homogeneizada em solução composta por ácidotricloroacético (TCA) 20% (p/v) e ácido tiobarbitúrico 0,5% (TBA)(p/v). Em seguida, as amostras foram aquecidas durante 30 minutos a 90 °C, posteriormente refrigeradas durante 15 minutos e então centrifugadas a 10000 g por 30 minutos. A leitura foi realizada em espectrofotômetro nas absorbâncias de 532 e 600 nm. Já a extração e a quantificação da peroxidação lipídica das demais espécies seguiram o protocolo de Buege & Aust (1978). Então, 0,1 g de material vegetal macerado foi homogeneizado em solução composta por ácido tricloroacético (TCA) 10% e ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,5% e centrifugadas a 12000 g a 4°C durante 25 minutos. Uma alíquota do sobrenadante foi coletada e pipetada em um meio de reação contendo solução de TBA 0,5% e TCA 10%, que foi aquecido durante 30 minutos a 90 °C, posteriormente resfriado em gelo. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 535 e 600 nm. Os resultados da peroxidação foram expressos em $\eta mol MDA.g^{-1}$ de matéria fresca (MF), considerando o coeficiente de extinção molar e a diferença de absorbância entre 535 e 600nm.

3.6.2.3. EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE PROTEÍNAS TOTAIS E EXTRATO ENZIMÁTICO

Para a extração de proteínas totais, 0,1 g de material macerado foi homogeneizado em solução composta por 100 mM de tampão fosfato de potássio (pH

7,8), 0,1 mM de ácido etilenodiaminatetracético (EDTA), 1mM de ácido ascórbico e água deionizada. Posteriormente, a solução foi centrifugada a 13000 g a 4 °C durante 10 minutos e o sobrenadante foi coletado, o qual também foi utilizado para a quantificação de enzimas do sistema antioxidante (Bielmelt et al. 1998).

Para a quantificação, uma alíquota do sobrenadante foi coletada para reação em solução de Bradford. A leitura em espectrofotômetro foi realizada em 595 nm (Bradford, 1976). O resultado da quantificação de proteínas totais foi expresso em mg.g^{-1} de MF.

3.6.2.4. QUANTIFICAÇÃO DE ENZIMAS DO SISTEMA ANTIOXIDANTE

• Superóxido Dismutase (SOD)

Para a quantificação de Superóxido dismutase, uma alíquota do sobrenadante obtido para quantificação de proteínas foi inserida em um meio de reação composto por 50 mM de tampão fosfato de potássio (pH 7,8), 14 mM de metionina, 0,1 μM de EDTA, 75 μM de NBT (Nitro blue Tetrazolium Chloride), 2 μM de Riboflavina e água deionizada, conforme a metodologia descrita por Giannopolitis & Ries (1977). A reação ocorreu sob a iluminação com luz fluorescente (15W) durante 7 minutos. Foi realizada, então, a leitura em espectrofotômetro à 560 nm, sendo uma unidade de SOD definida como a quantidade de enzima necessária para inibir em 50% a redução do NBT. O resultado foi expresso em SOD atividade ($\text{U min}^{-1} \text{g proteína}^{-1}$).

• Catalase (CAT)

Para a quantificação de catalase, uma alíquota do sobrenadante foi inserida em um meio de reação composto por 100 mM de tampão fosfato de potássio (pH 7,0), 12,5 mM de H_2O_2 e água deionizada. A leitura em espectrofotômetro ocorreu de 15 em 15 segundos ao longo de 3 minutos, onde foi mensurado o consumo de H_2O_2 a 240 nm, conforme a metodologia descrita por Anderson et al. (1995). O resultado foi expresso em atividade de CAT ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{ proteína}$).

• Ascorbato peroxidase (APX)

Para a quantificação de ascorbato peroxidase, uma alíquota do sobrenadante foi inserida em um meio de reação composto por 100 mM de tampão fosfato de potássio

(pH 7.0), 0,5 mM de ácido ascórbico, 0,1 mM de H₂O₂ e água deionizada. Foi avaliada a oxidação do ascorbato na leitura de 290 nm durante 3 minutos, seguindo a metodologia de Nakano & Asada (1981). O resultado foi expresso em m APX atividade ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ proteína}$).

3.6.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento I foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado e os resultados foram analisados estatisticamente através do software estatístico R, versão 4.2.2 (R Core Team, 2021) com o auxílio do pacote ExpDes.pt.

Os dados foram submetidos a teste de normalidade de Shapiro-Wilk, análise de variância e quando significativos pelo teste F, as médias foram submetidas ao teste Tukey a 5% de significância. Para a elaboração de gráficos, foi utilizado o programa SigmaPlot.

Os controles hidratados e não hidratados foram comparados separadamente aos demais tratamentos (CNH: controle não hidratado e CH: controle hidratado). Os resultados das análises que compararam os tratamentos controles foram representados por letras maiúsculas seguidas por um asterisco (A* ou B*), assim como o valor de *P* (*P**). A outra análise estatística comparou os tratamentos controle hidratado (CH), *hidropriming*, *priming* com metionina e com PEG e os seus valores são representados por letras minúsculas sem asterisco (a, b ou ab), assim como o valor de *P* (*P*).

3.7. EXPERIMENTO II: PRIMING COM METIONINA PARA MITIGAÇÃO DOS EFEITOS DO ESTRESSE LUMINOSO

No experimento II, foi avaliado se a aplicação do *priming* com metionina em sementes de *C. speciosa* é capaz de gerar plântulas mais tolerantes ao estresse luminoso. Para isso, foram avaliados parâmetros de crescimento, bioquímicos, anatômicos, fotossintéticos e fisiológicos de plântulas cultivadas durante 60 dias.

O segundo experimento foi conduzido em ambiente externo, aberto, e em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2, sendo sementes tratadas com metionina (com *priming*) e sementes controle (sem *priming*) e duas condições luminosas: sol pleno e sombrite 50% (Figura 4 A e B), totalizando 4

tratamentos, sendo cada tratamento composto por 6 repetições (vasos) contendo 3 plantas cada.

A aplicação do *priming* em sementes de *C. speciosa* foi realizada assim como no experimento I, ou seja, foram hidratadas em solução de metionina 0,5 g/L durante 48 horas e posteriormente foram controladamente desidratadas ao longo de 51 horas em temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ \text{C}$) e após atingirem o peso inicial, foram desinfestadas em solução de hipoclorito de sódio 2,5% e uma gota de detergente durante 10 minutos e logo depois foram enxaguadas em água corrente, água deionizada e então semeadas em vasos.

Em cada vaso foram semeadas dez sementes de *C. speciosa*, porém, apenas três plântulas (plântula A, B e C) foram utilizadas para as análises e as outras desbastadas. Nas plântulas “A” foram realizadas análises de trocas gasosas e posteriormente foram utilizadas para avaliações de crescimento e massa seca. Das plântulas “B” foram coletadas folhas exclusivamente para análises bioquímica e da plântula “C” foram coletadas folhas também para análises bioquímicas e anatômicas.

3.7.1 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

O experimento II foi conduzido na área externa do setor de Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, localizada no município de Lavras-MG, Brasil (altitude: 918 m; latitude: $21^\circ 14' \text{S}$; longitude: $45^\circ 00' \text{W}$). A classificação climática proposta por Köppen é do tipo Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) caracterizado pelo inverno seco e verão chuvoso, subtropical, com temperatura média anual de $19,4^\circ \text{C}$ e precipitação total média anual de 1530 mm (Brasil, 1992; Dantas et al. 2007).

Na Tabela 3 constam os dados referentes à condição microclimática de Lavras captados através da Estação Climatológica Principal (ECP) de Lavras (Convênio UFLA/INMET), situada no *Campus* sede da UFLA. Os gráficos referentes às médias diárias seguem no material anexo.

Tabela 3 - Dados meteorológicos de Lavras-MG durante a condução do experimento II (fevereiro - abril de 2025).

Umidade relativa do ar (%)	68,13 ± 1,08
Pressão (hPa)	912,67 ± 0,13
Insolação (h)	7,81 ± 0,36
Temperatura máxima (°C)	31,87 ± 0,30
Temperatura mínima (°C)	18,96 ± 0,15
Pluviosidade diária (mm/dia)	2,59 ± 0,97
Pluviosidade total durante o experimento (mm)	160,8

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os valores são as médias observadas ao longo do experimento ± o desvio padrão.

Após tratadas e desinfestadas, as sementes de *C. speciosa* foram semeadas em vasos de polietileno de 1,7 L preenchidos com solo advindo do *Campus* sede Universidade Federal de Lavras. Análises físico-químicas realizadas no Laboratório de Análises de Solo do Departamento de Ciência do Solo da mesma Universidade caracterizaram o solo como vermelho argiloso e com o com pH 4,3.

Após a semeadura, os vasos foram inseridos em bancadas com ou sem sombrite (Figura 4 A e B), umedecidos diariamente e as plântulas foram cultivadas ao longo de 60 dias, fase em que, algumas plântulas ainda apresentavam o par de folhas cotiledonares e dois pares de folhas verdadeiras expandidas.

Figura 4 – Representação das duas condições referentes às duas condições de luminosidades do experimento II. (A) Condição de sol pleno. (B) Condição de sombrite 50%.



Fonte: Do autor (2025).

A radiação global incidente sobre as duas condições luminosas (Figura 4 A e B) foram semanalmente avaliadas. As medições foram realizadas em condições de céu limpo nos horários de 08H, 12H e 16H com a utilização de um espectrorradiômetro (Data Logger Model LI-400). As plantas submetidas ao sol pleno (figura 4 A), cresceram submetidas a 100% de irradiância solar, enquanto as plantas cultivadas sob sombrite (figura 4 B), cresceram em um ambiente caracterizado por interceptar 50% da irradiância solar incidente. A radiação incidente diferiu estatisticamente entre os dois tratamentos (Tabela 4).

Paralelamente às medições da radiação, foram realizadas medições da temperatura (°C) e da umidade relativa do ar (UR%) dentro de cada tratamento de luminosidade através de termo-higrômetro digital HTC-1. Os dados de temperatura e UR% não diferiram estatisticamente entre os dois tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4 - Caracterização da radiação, temperatura e umidade relativa do ar nos tratamentos de sol pleno e sombrite 50% nos horários do dia 8H, 12H e 16H.

Radiação incidente (W.m²)			
Condição de luminosidade	8H	12H	16H
Sol pleno	581,32 ± 41,43 a	915,875 ± 72,27 a	454,5345 ± 35,81 a
Sombrite 50%	291,013 ± 37,89 b	538,85 ± 33,105 b	230,74 ± 17,91 b
Temperatura (°C)			
Condição de luminosidade	8H	12H	16H
Sol pleno	26,6 ± 1,6 ns	31,7 ± 1,4 ns	30,8 ± 1,4 ns
Sombrite 50%	26,3 ± 0,8 ns	30,04 ± 1,3 ns	30 ± 1,1 ns
Umidade relativa do ar (%)			
Condição de luminosidade	8H	12H	16H
Sol pleno	68 ± 10,07 ns	53,5 ± 3,6 ns	53 ± 7,3 ns
Sombrite 50%	71,3 ± 5,6 ns	63,5 ± 6,1 ns	55,3 ± 8,1 ns

Os valores são as médias observadas ao longo do experimento ± o desvio padrão. As letras representam significância pelo teste Tukey a 5%. Ns = não significativo. Fonte: Do autor (2025).

3.7.2. AVALIAÇÃO DA TAXA FOTOSSINTÉTICA

A avaliação de trocas gasosas foi realizada no folíolo central de folhas completamente expandidas cultivadas ao longo de 60 dias. Foram utilizadas 5 repetições de cada tratamento, sendo avaliada uma plântula de cada repetição.

As avaliações ocorreram entre o período de 9 às 12 da manhã com a utilização do analisador de gás no infravermelho modelo da LiCor LI-6400- XT 6400xt (Li-Cor Inc., Lincoln, Nebraska, EUA). A luz foi fornecida em uma densidade de fótons fotossintéticos de $1500 \mu\text{mol. m}^{-2}. \text{s}^{-1}$, a temperatura foliar foi de 30°C e o valor de déficit de pressão de vapor entre ar e folha de 2 kPa, aproximadamente. A área foliar (cm^2) foi corrigida de acordo com a área dos folíolos utilizados com a utilização do programa Easy leaf area. A variável analisada foi a taxa fotossintética líquida e os resultados foram expressos em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

3.7.3. AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO

As avaliações de crescimento foram realizadas a partir de 6 repetições contendo 1 plântula cultivada ao longo de 60 dias.

Para a avaliação do crescimento inicial, com a utilização de uma régua milimetrada foi determinado o comprimento da parte aérea e da raiz. Já o diâmetro da base do caule foi mensurado com um paquímetro digital e a determinação da área foliar (de folhas verdadeiras - não cotiledonares) foi realizada através do programa Easy Leaf Area.

Foi utilizada a balança analítica Marte/Shimadzu AY220 para a determinação do peso fresco da plântula inteira e de suas partes específicas (folhas, caule, raiz), que foram destacadas, pesadas e inseridas em sacos de papel Kraft identificados para serem utilizados para a determinação da massa seca.

Para a obtenção dos valores de massa seca, as folhas, caules e raízes devidamente separados, identificados e armazenados em sacos de papel Kraft foram inseridos em estufa de circulação de ar forçada sob temperatura de 60°C até o peso constante (5 dias) para a obtenção da massa seca das plântulas. Após 5 dias, o material vegetal foi pesado para a determinação da massa seca de folhas, caule, raiz e também para a verificação da área foliar específica.

3.7.4. ANÁLISES BIOQUÍMICAS

Para a realização de análises bioquímicas foram coletadas o primeiro par de folhas completamente expandidas de duas plantas do mesmo vaso e imediatamente inseridas em N₂ líquido e armazenadas em ultrafreezer a -80°C até o início das análises. Para todas as análises foram utilizadas seis repetições de 0,1 g de material macerado em N₂ líquido e PVPP.

3.7.4.1. EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

Para a extração e quantificação de H₂O₂ foi seguido o protocolo executado no experimento I, descrito por Velikova et al. (2000).

3.7.4.2. EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE MALONDIALDEÍDO

A extração e quantificação de MDA foi realizada conforme a metodologia de Buege & Aust (1978), a mesma utilizada descrita no experimento I.

3.7.4.3. EXTRAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE PROTEÍNAS TOTAIS E ENZIMAS DO SISTEMA ANTIOXIDANTE

Proteínas totais foram extraídas e quantificadas, respectivamente, pelos métodos de Bielmelt et al. (1998) e Bradford (1976) e o sobrenadante foi utilizado para a quantificação de enzimas do sistema antioxidante, seguindo o mesmo protocolo do experimento I, em que a quantificação de SOD, CAT e APX seguiram os protocolos de Giannopolitis & Ries (1977), Anderson et al. (1995) e Nakano & Asada (1981), respectivamente.

3.7.4.4. PIGMENTOS

A quantificação de clorofilas *a*, *b*, totais e carotenoides foi realizada através da metodologia utilizada por Gomes et al. (2014) e os cálculos seguiram as equações descritas por Lichtenthaler & Buschmann (2001). A extração foi realizada a partir da maceração de 0,1 g de folhas em 5 mL de acetona 80%. Então, o extrato foi filtrado em lâ de vidro e o volume foi completado para 10 mL com acetona 80%. As leituras foram realizadas a 663,2, 646,8 e 470 nm em espectrofotômetro.

Os cálculos de μg de clorofila/g de matéria fresca foliar seguiram as equações:

$$\text{Clorofila } a: 12.25 \times A_{663,2} - 2,79 \times A_{646,8};$$

$$\text{Clorofila } b: 21.50 \times A_{646,8} - 5,10 \times A_{663,2}.$$

Já os cálculos de μg de Carotenoides/g de matéria fresca foliar:

$$\text{Carotenoides: } (1000 \times A_{470} - 1,82 \times C_a - 85,02 \times C_b) / 198$$

3.7.5. AVALIAÇÕES ANATÔMICAS

As análises anatômicas foram realizadas no Setor de Botânica do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras. Foram coletadas as primeiras folhas verdadeiras completamente expandidas de uma planta de cada repetição e para todas as avaliações anatômicas foram utilizadas 3 repetições. Imediatamente após a coleta, o material foi fixado em solução de FAA 70% (formaldeído-ácido acético-álcool) (90 ml de etanol 70% + 5 ml de ácido acético 96% + 5 ml de solução de formaldeído) (Johansen, 1940) e posteriormente foi armazenado em solução de álcool 70% até o início das análises (Jensen, 1962).

•Secções Transversais

As secções transversais da região média dos folíolos passaram pela série de desidratação em etanol 80%, 90% e 100% (duas horas em cada) e posteriormente foram armazenadas em solução 1:1 de etanol e historesina durante 24 horas até serem inseridos em historesina pura (Historesin Leica) durante 14 dias.

Depois de duas semanas para a infiltração, as amostras foram emblocadas em historesina, conforme especificações do fabricante, utilizando histomoldes e após secarem durante 24 horas em estufa a 40°C, as amostras foram seccionadas transversalmente na espessura de 9 μm , com o uso de um micrótrono rotativo semi-automático.

Após seccionado, o material vegetal foi corado com o corante azul de toluidina 0,05% (O'Brien & Mc Cully 1981), e as lâminas foram montadas com Entellan para a confecção de lâminas permanentes. Através das imagens obtidas, foi avaliada a espessura da camada de células da epiderme das superfícies abaxial e adaxial (μm), espessura do parênquima paliçádico (μm) e esponjoso (μm) e espessura do mesofilo

(μm). Foram realizadas quatro medições em cada secção transversal, totalizando 12 medições por tratamento.

•Secções Paradérmicas

Para a análise da superfície da epiderme, foram realizadas secções no tecido foliar também na região mediana do folíolo central. O material foi inserido em microtubos contendo 2 mL de solução de hipoclorito de sódio 2,5% e colocados em estufa a 50°C durante 2 horas para a dissociação da superfície adaxial e abaxial. Posteriormente, a solução de hipoclorito de sódio 2,5% foi substituída por água deionizada.

Após a dissociação, o material foi corado com o corante Safranina 1% e foram produzidas lâminas semi-permanentes com glicerina 50% (Johansen 1940) para a avaliação do índice estomático, que foi calculado através da equação (Salisbury 1927):

$$\text{Índice estomático (IE)} = \text{NE} / (\text{NE} + \text{NC}) \times 100$$

Onde:

NE: número de estômatos por unidade de área foliar.

NC: número de células epidérmicas na mesma área.

As lâminas de secções transversais e paradérmicas da região mediana de folíolos centrais de cada folha foram fotografadas e avaliadas através do microscópio óptico Nikon, modelo Eclipse E100, acoplado a uma câmera de captura Infinity. As imagens com o material vegetal foram analisadas com o auxílio do software de análise de imagens ImageJ 1.54 (Wayne Rasband, National Institutes of Health, USA).

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento II foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e os resultados foram analisados estatisticamente através do software estatístico R, versão 4.2.2 (R Core Team, 2021) com o auxílio do pacote ExpDes.pt.

Foi verificada a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias através do teste de Shapiro-Wilk. Então, os dados foram submetidos à análise de variância fatorial com dois fatores (condição e tratamento) e quando significativos pelo

teste F, as médias foram submetidas ao teste Tukey a 5% de significância. Para a elaboração de gráficos, foi utilizado o programa SigmaPlot.

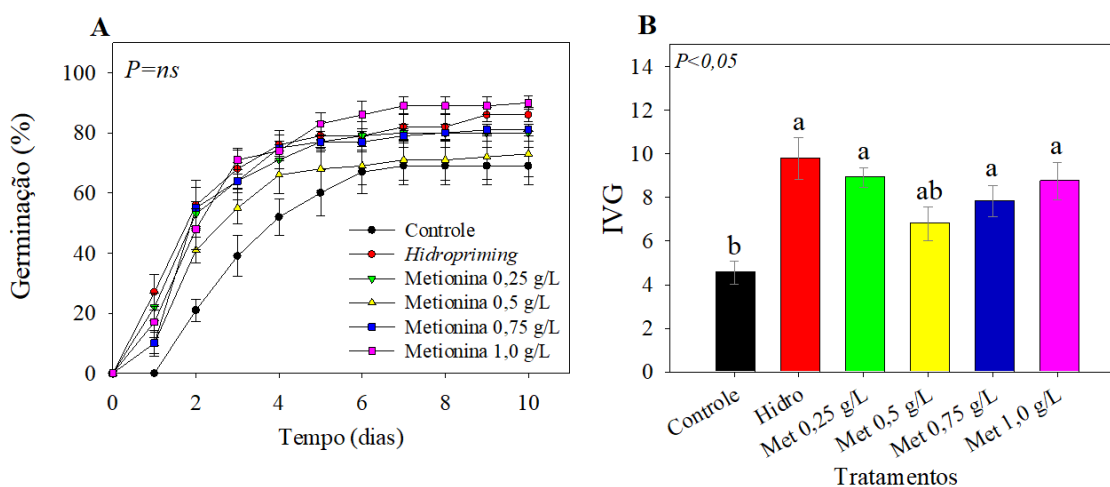
4. RESULTADOS

4.1. DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE METIONINA PARA O PRIMING

• *Tabebuia roseoalba*

No teste de germinação para a determinação da concentração de metionina para a aplicação do *priming* foi verificado que, embora não seja significativo, a porcentagem de germinação final de sementes submetidas ao *priming* foi maior quando comparada ao controle (Figura 5 A). Além disso, sementes referentes aos tratamentos com *priming* com água, metionina 0,25, 0,75 e 1,0 g/L germinaram mais rapidamente, diferindo significativamente da velocidade de germinação de sementes do tratamento controle (Figura 5 B). Sendo assim, a melhor concentração de metionina para a espécie *T. roseoalba* foi a de 1,0 g/L.

Figura 5 – Parâmetros germinativos de sementes de *T. roseoalba* sem *priming* (controle) e com *priming* com água (*hidropriming*) e com metionina nas concentrações de 0,25; 0,5; 0,75 e 1,0 g/L. (A) Porcentagem de germinação acumulada. (B) IVG.

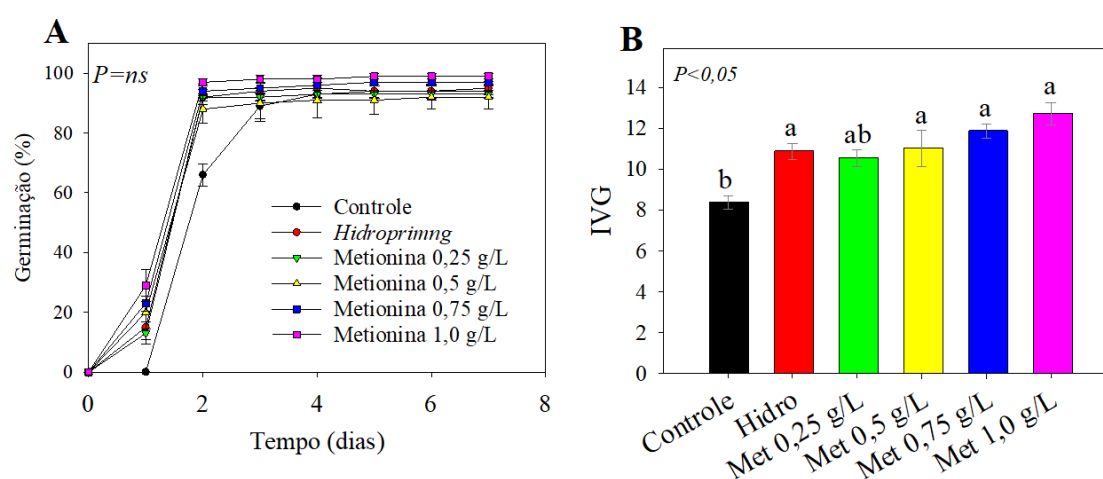


As barras representam as médias $\pm$ desvio padrão. As letras minúsculas comparam os resultados estatísticos em cada parâmetro. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo. Fonte: Do autor (2025).

• *Astronium fraxinifolium*

Para espécie *A. fraxinifolium* foi verificado no gráfico de germinação acumulada (Figura 6 A) que o *priming* adiantou em um dia a germinação, refletindo em diferença significativa no IVG (Figura 6 B). E, embora não significativo, o aumento da concentração de metionina resultou em aumento proporcional no valor de germinação final e no IVG. Então, para sementes de *A. fraxinifolium*, a concentração de metionina que resultou em melhores parâmetros germinativos foi a de 1 g/L.

Figura 6 – Parâmetros germinativos de sementes de *A. fraxinifolium* sem *priming* (controle) e com *priming* com água (*hidropriming*) e com metionina nas concentrações de 0,25; 0,5; 0,75 e 1,0 g/L. g/L. (A) Porcentagem de germinação acumulada. (B) IVG.



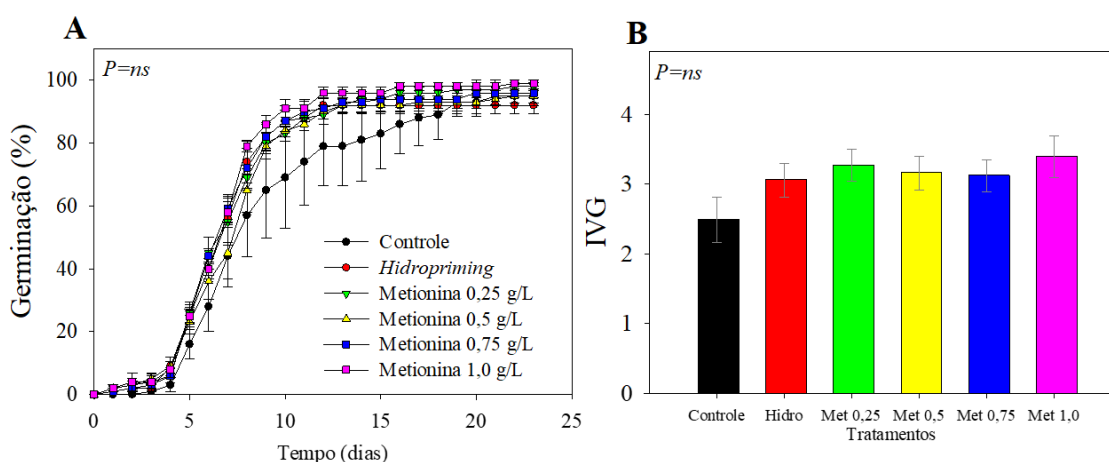
As barras representam as médias $\pm$ desvio padrão. As letras minúsculas comparam os resultados estatísticos em cada parâmetro. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo. Fonte: Do autor (2025).

• *Myrsine coriacea*

No gráfico de germinação acumulada de sementes de *M. coriacea* (Figura 7 A) é possível visualizar que os tratamentos de *priming* adiantaram e aumentaram a porcentagem de germinação nos dias iniciais, mas a partir do 20º dia, a porcentagem de germinação de todos os tratamentos tornou-se muito próximas, resultando em não significância estatística na germinação, nem no IVG (Figura 7 B). Porém, a

porcentagem de germinação final e o valor de IVG foram maiores na concentração 1,0 g/l de metionina, então, por isso tal concentração foi escolhida como ideal para as sementes desta espécie.

Figura 7 – Parâmetros germinativos de sementes de *M. coriacea* sem *priming* (controle) e com *priming* com água (*hidropriming*) e com metionina nas concentrações de 0,25; 0,5; 0,75 e 1,0 g/l. g/L. (A) Porcentagem de germinação acumulada. (B) IVG.

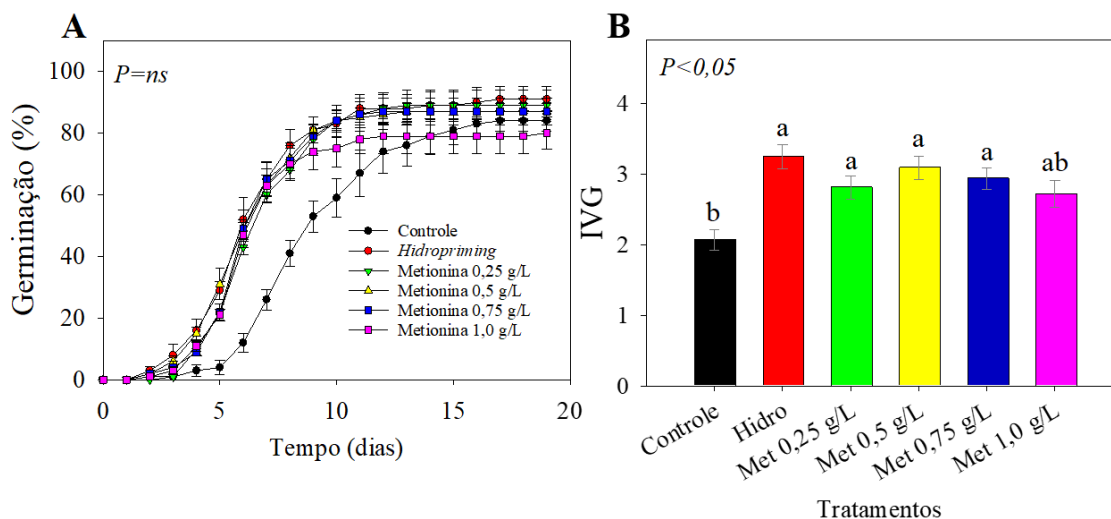


As barras representam as médias $\pm$ desvio padrão. As letras minúsculas comparam os resultados estatísticos em cada parâmetro. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo. Fonte: Do autor (2025).

• *Ceiba speciosa*

Todos os tratamentos com *priming* adiantaram a germinação de sementes de *C. speciosa* (Figura 8 A), refletindo em diferença significativa no IVG (Figura 8 B). Embora não significativo estatisticamente, a concentração de metionina 1,0 g/L influenciou uma queda na germinação, mantendo a porcentagem de germinação final abaixo do valor do tratamento controle, como evidenciado no gráfico de germinação acumulada (Figura 8 A). Por isso, a concentração ideal de metionina para *C. speciosa* não foi de 1g/L, assim como para as outras espécies, mas sim de 0,5 g/L.

Figura 8 – Parâmetros germinativos de sementes de *C. speciosa* sem *priming* (controle) e com *priming* com água (*hidropriming*) e com metionina nas concentrações de 0,25; 0,5; 0,75 e 1,0 g/L. g/L. (A) Porcentagem de germinação acumulada. (B) IVG.



As barras representam as médias $\pm$ desvio padrão. As letras minúsculas comparam os resultados estatísticos em cada parâmetro. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ns = não significativo. Fonte: Do autor (2025).

4.2. EXPERIMENTO I

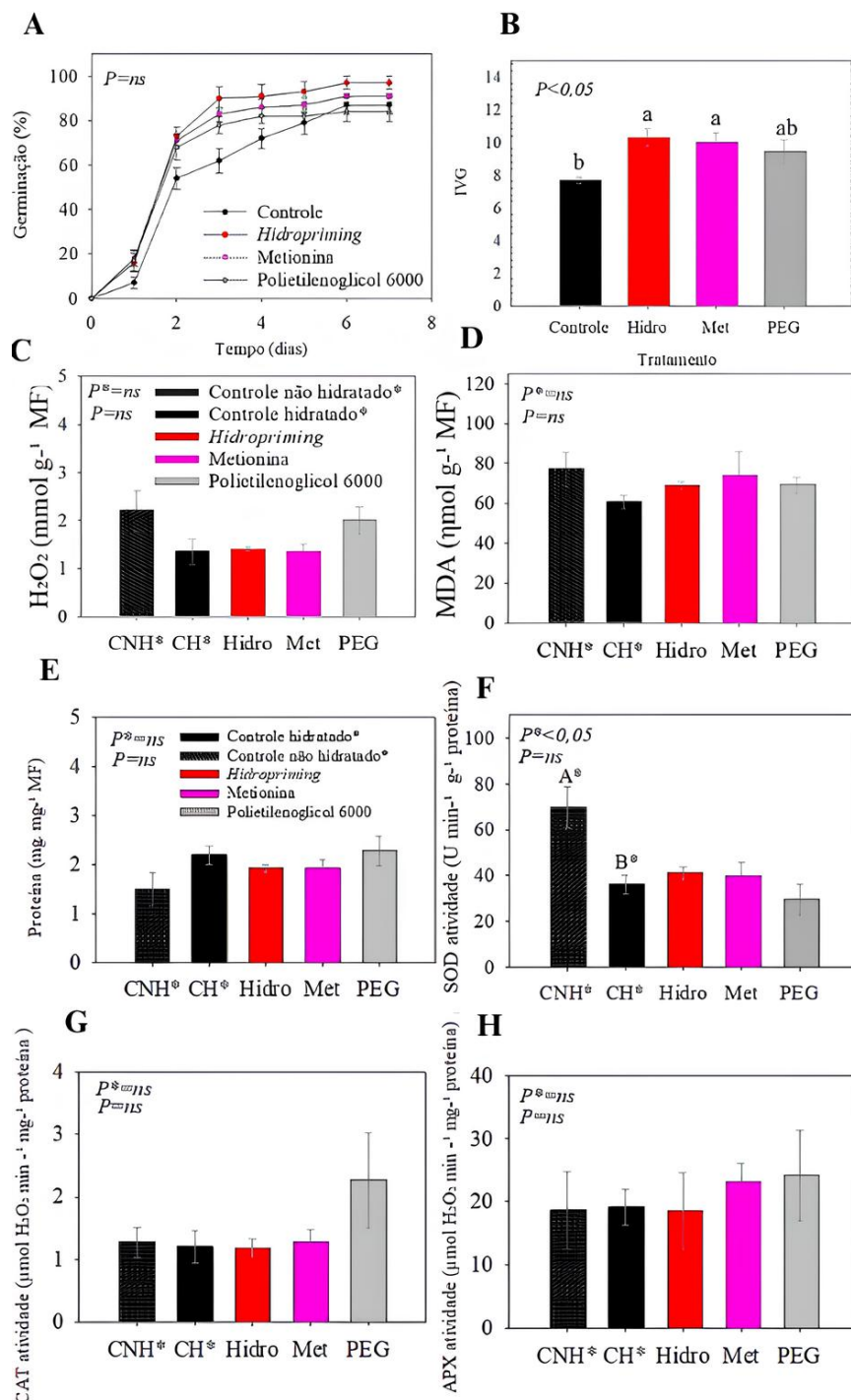
•*Tabebuia roseoalba*

No experimento I, foi verificado no gráfico de germinação acumulada (Figura 9 A) que todos os tratamentos com *priming* aumentaram a porcentagem de germinação nos primeiros dias, refletindo em aumento estatisticamente significativo no IVG (Figura 9 B), principalmente para as sementes submetidas ao *priming* com água e metionina. Já a porcentagem de germinação final (Figura 9 A) não diferiu entre os tratamentos ($P=ns$).

Os valores de H_2O_2 e MDA não diferiram estatisticamente ($P=ns$) entre nenhum tratamento (Figura 9 C e D) para a espécie *T. roseoalba*.

Foi verificado que as sementes oriundas do tratamento controle não hidratado (CNH) possuem o conteúdo de SOD significativamente maior ($P<0,05$) que as sementes do controle hidratado (CH) (Figura 9 F). Além disso, não houve significância para nenhuma outra variável bioquímica analisada. (Figura 9 C-H).

Figura 9 – Parâmetros germinativos (A-B) e bioquímicos (C-H) de sementes de *T. rosealba* sem *priming* (controle hidratado e não hidratado), com *priming* com água (*hidropriming*), com metionina 1,0 g/L e com polietilenoglicol 6000. (A) Germinação acumulada (%). (B) IVG. (C) Níveis de H_2O_2 . (D) Conteúdo de MDA. (E) Proteína total e enzimas do sistema antioxidante (F) SOD. (G) CAT e (H) APX.



As barras representam as médias $\pm$ desvio padrão. As letras maiúsculas seguidas por asterisco comparam estatisticamente os tratamentos controles (CNH* e CH*) e as letras minúsculas comparam todos os tratamentos com exceção do controle não hidratado. As letras representam

diferença estatística no teste Tukey a 0,5% de probabilidade. P^* = valor de p entre os tratamentos. ns =não significativo. Fonte: Do autor (2025).

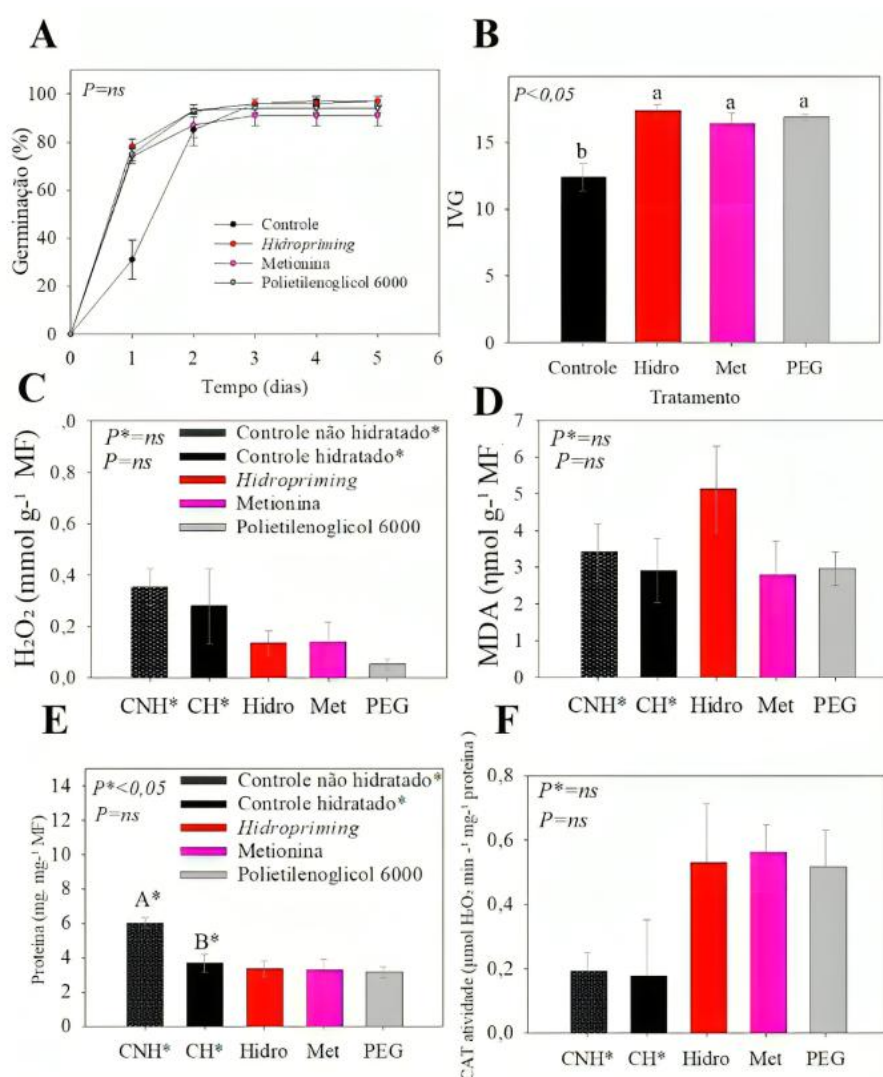
•***A. fraxinifolium***

No experimento I, foi verificado que as sementes submetidas aos tratamentos de *priming* tiveram a germinação adiantada, diferindo estatisticamente do tratamento controle em relação ao IVG (Figura 10 B). Já a porcentagem de germinação dos diferentes tratamentos não apresentou diferença significativa ($P=ns$) (Figura 10 A).

Os resultados obtidos através das análises bioquímicas mostraram que a aplicação do *priming* em sementes de *A. fraxinifolium* não causou alterações significativas ($P=ns$) em relação ao conteúdo de H_2O_2 (Figura 10 C) e MDA (Figura 10 D).

O conteúdo de proteína total encontrado em sementes do tratamento controle não hidratado foi significativamente maior ($P^*<0,05$) que o conteúdo de proteína de sementes do controle hidratado (Figura 10 E). A atividade de CAT (Figura 10 F), embora tenha tendenciado aumentar nas sementes dos tratamentos com *priming*, não apresentou significância pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. As atividades de SOD e APX para esta espécie ficaram abaixo do limite de detecção da técnica ou não tiveram atividades, e por isso não estão sendo apresentadas.

Figura 10 – Parâmetros germinativos (A-B) e bioquímicos (C-F) de sementes de *A. fraxinifolium* sem *priming* (controle hidratado e não hidratado), com *priming* com água (*hidropriming*), com metionina 1,0 g/L e com polietilenoglicol 6000. (A) Porcentagem de germinação acumulada. (B) IVG. (C) Nível de H_2O_2 . (D) Conteúdo de MDA e de (E) Proteína total e (F) Atividade da enzima do sistema antioxidante CAT.



As barras representam as médias $\pm$ desvio padrão. As letras maiúsculas seguidas por asterisco comparam estatisticamente os tratamentos controles (CNH* e CH*) e as letras

minúsculas comparam todos os tratamentos com exceção do controle não hidratado. As letras representam diferença estatística no teste Tukey a 0,5% de probabilidade. P^* = valor de p entre os tratamentos controles (CNH* e CH*), P = valor de p entre os tratamentos controle hidratado (CH), *hidropriming*, metionina e polietilenoglicol 6000. *ns*=não significativo. Fonte: Do autor (2025).

• ***Myrsine coriacea***

A aplicação do *priming* em sementes desta espécie não refletiu em significância estatística entre o tratamento controle em nenhum dos parâmetros germinativos avaliados ($P=ns$) (Figura 11 A e B).

Os resultados das análises bioquímicas mostram que o conteúdo de H_2O_2 (Figura 11 C) foi significativamente menor ($P<0,05$) nas sementes que foram tratadas com o *priming* quando comparada ao controle. Já as sementes do tratamento controle hidratado e não hidratado não diferiram em relação ao conteúdo de peróxido ($P^*=ns$).

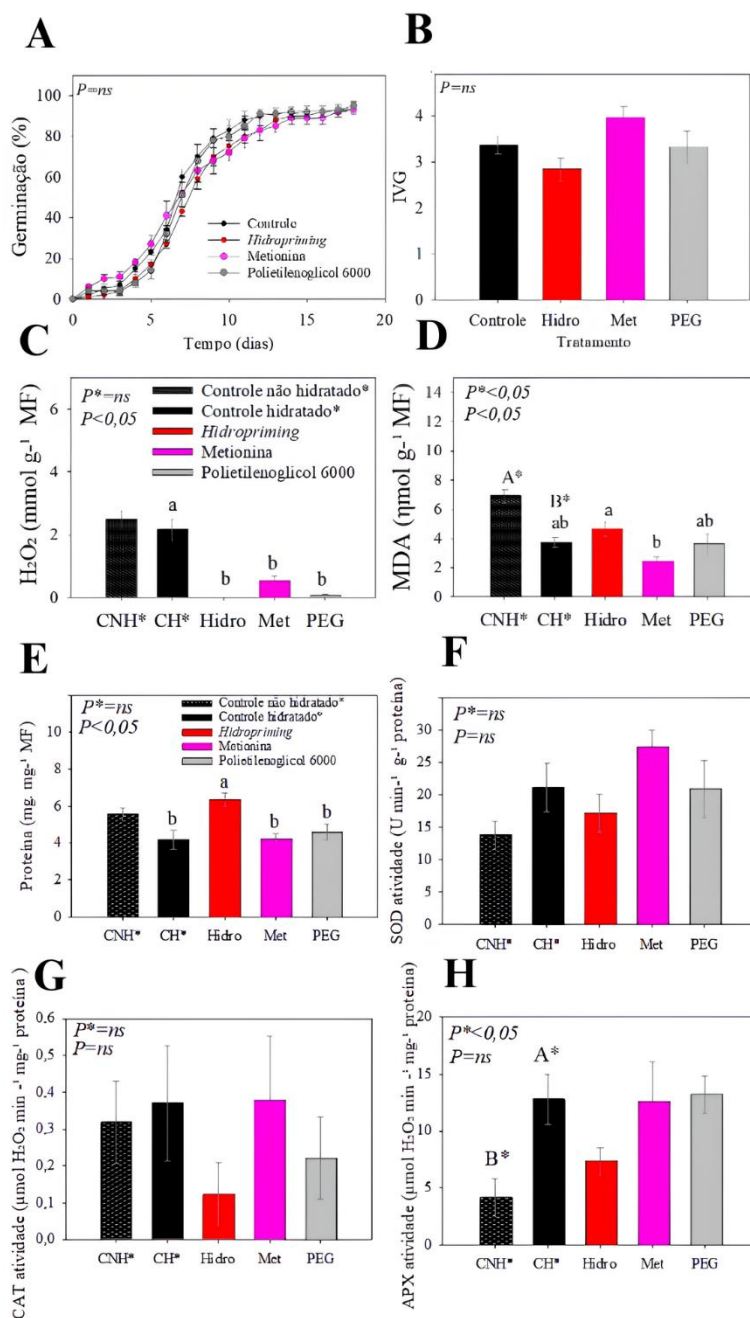
Em relação ao conteúdo de MDA (Figura 11 D), houve diferença significativa para os dois grupos avaliados ($P^*<0,05$ e $P<0,05$). Foi verificado que sementes referentes ao controle não hidratado possuem maior nível de peroxidação lipídica em relação a sementes do tratamento controle hidratado ($P^*<0,05$). Na análise estatística que compara os tratamentos controle hidratado, *hidropriming* e *priming* com metionina e polietilenoglicol 6000 foi verificado que o *priming* com metionina refletiu em menor peroxidação lipídica, diferente do *hidropriming*, que levou ao aumento de peroxidação.

O conteúdo de proteínas (Figura 11 E) foi igual ($P^*=ns$) para os tratamentos controle hidratado e não hidratado, porém, maior no tratamento de *hidropriming* ($P<0,05$) em relação aos tratamentos controle hidratado e com *priming* com metionina e polietilenoglicol 6000.

Foi verificado que a atividade de APX (Figura 11 H) de sementes hidratadas é significativamente maior que o de sementes não hidratadas ($P^*<0,05$), porém estatisticamente igual ($P=ns$) aos tratamentos de *priming* com água, com metionina e com polietilenoglicol 6000. As outras enzimas do sistema antioxidante avaliadas (SOD

e CAT) (Figura 11 F e G) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos para a espécie *M. coriacea*.

Figura 11 – Parâmetros germinativos (A-B) e bioquímicos (C-H) de sementes de *M. coriacea* sem *priming* (controle), com *priming* com água (*hidropriming*), com metionina 1,0 g/L e com polietilenoglicol 6000. (A) Germinação acumulada (%). (B) IVG. (C) Conteúdo de H_2O_2 , (D) MDA e (E) Proteína total. (F) Enzimas do Sistema antioxidante SOD, (G) CAT e (H) APX.



As barras representam as médias $\pm$ desvio padrão. As letras maiúsculas seguidas por asterisco comparam estatisticamente os tratamentos controles (CNH* e CH*) e as letras minúsculas comparam todos os tratamentos com exceção do controle não hidratado. As letras representam diferença estatística no teste Tukey a 0,5% de probabilidade. P*= valor de p entre os tratamentos controles (CNH* e CH*), P= valor de p entre os tratamentos controle hidratado (CH), *hidropriming*, metionina e polietilenoglicol 6000. ns=não significativo. Fonte: Do autor (2025).

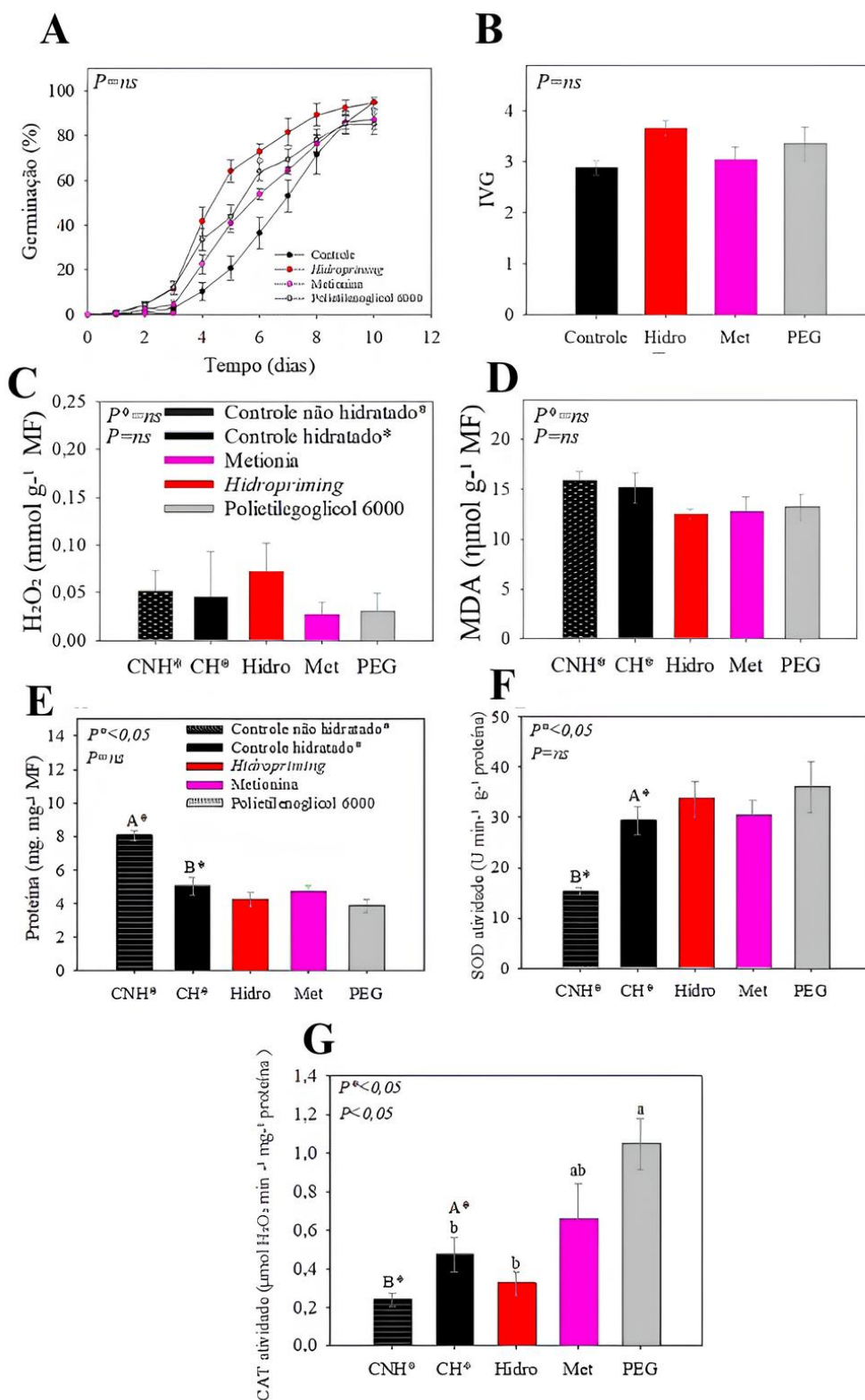
• *Ceiba speciosa*

No experimento I, a aplicação do *priming* com água e solução de metionina e polietilenoglicol 6000 não refletiu em diferença nos parâmetros germinativos analisados (P=ns) (Figura 12 A e B), assim como o conteúdo de H₂O₂ (Figura 12 C) e de MDA (Figura 12 D), que não diferiu estatisticamente entre nenhum tratamento (P*=ns e P=ns).

O conteúdo de proteína total (Figura 12 E) foi maior (P*<0,05) em sementes do tratamento controle não hidratado quando comparado as sementes do controle hidratado. Porém, não houve diferença entre os outros tratamentos (P=ns), assim como a atividade de SOD, que diferiu apenas entre os tratamentos controle (P*<0,05) (Figura 12 F). Foi verificado que sementes hidratadas, quando comparadas com sementes não hidratadas, apresentam maior atividade de SOD (Figura 12 F).

A Atividade de CAT também diferiu entre os tratamentos (P*<0,05 e P<0,05) (Figura 12 G). Sementes do tratamento controle não hidratado possuíram menor atividade de CAT quando comparado ao outro controle (P*<0,05). Além disso, foi verificado que o em sementes que passaram pelo *priming* com PEG houve um potencial aumento da atividade de CAT quando comparado ao tratamento controle e *hidropriming*. As atividades de SOD e APX para esta espécie ficaram abaixo do limite de detecção da técnica ou não tiveram atividades, e por isso não estão sendo apresentadas.

Figura 12 – Parâmetros germinativos (A-B) e bioquímicos (C-H) de sementes de *C. speciosa* sem *priming* (controle), com *priming* com água (*hidropriming*), com metionina 1,0 g/L e com polietilenoglicol 6000. (A) Germinação acumulada (%). (B) IVG. (C) Conteúdo de H_2O_2 , (D) MDA e (E) Proteína total. (F) Enzimas do Sistema antioxidante SOD e (G) CAT.



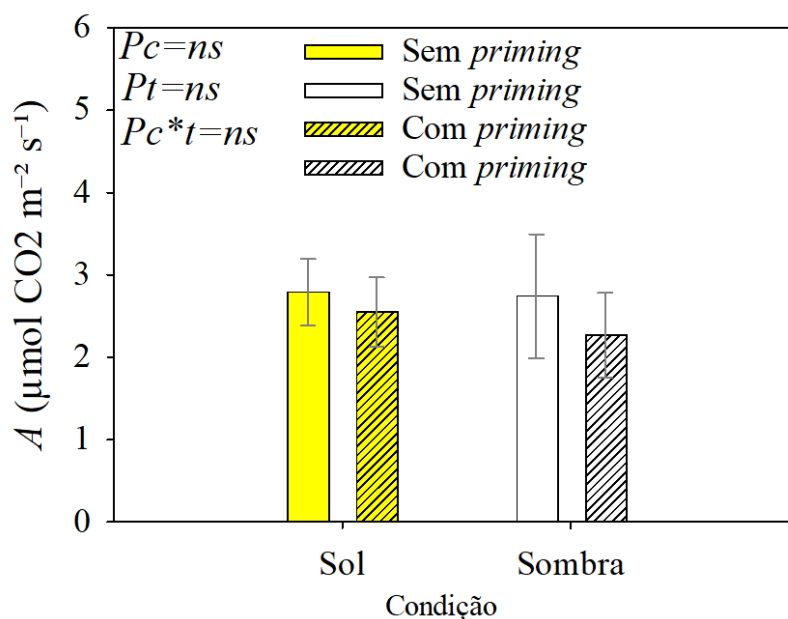
As barras representam as médias $\pm$ desvio padrão. As letras maiúsculas seguidas por asterisco comparam estatisticamente os tratamentos controles (CNH* e CH*) e as letras minúsculas comparam todos os tratamentos com exceção do controle não hidratado. As letras representam diferença estatística no teste Tukey a 0,5% de probabilidade. P*= valor de p entre os tratamentos controles (CNH* e CH*), P= valor de p entre os tratamentos controle hidratado (CH), *hidropriming*, metionina e polietilenoglicol 6000. ns=não significativo. Fonte: Do autor (2025).

4.3. EXPERIMENTO II

4.3.1. AVALIAÇÃO DA TAXA FOTOSSINTÉTICA

Após tratadas, semeadas e cultivadas (Figura 13), as plântulas de *C. speciosa* de 60 dias foram avaliadas em relação à sua taxa fotossintética líquida (Figura 14) e foi verificado que as condições luminosas e os tratamentos de *priming* não influenciaram em diferença nessa variável analisada (P=ns).

Figura 14 – Taxa fotossintética de plântulas de *C. speciosa* submetidas às condições de sol pleno ou sombrite e aos tratamentos com *priming* com metionina ou sem *priming* (controle).



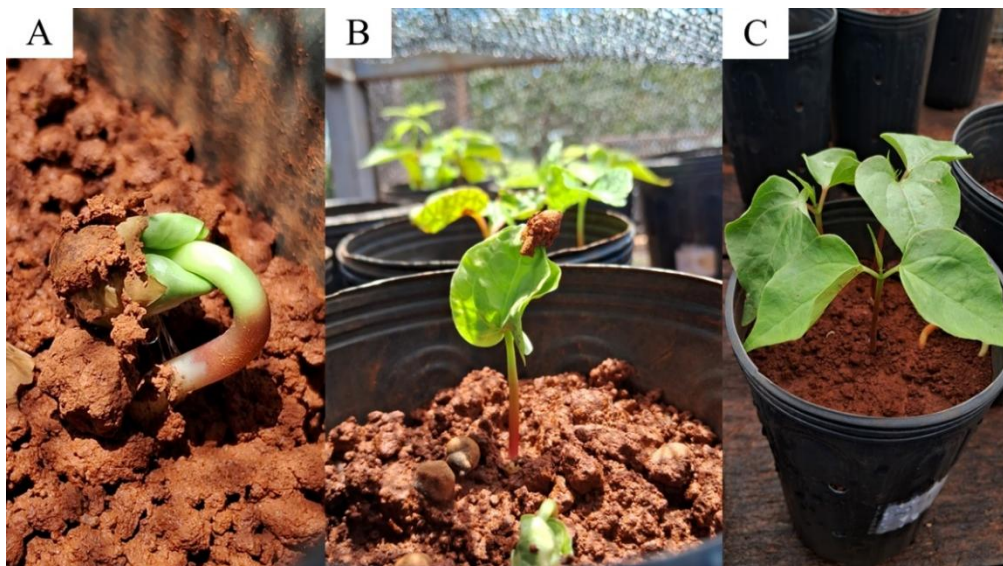
Barras são médias $\pm$ erro padrão. Letras maiúsculas comparam a condição nos diferentes tratamentos. Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro das condições. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P_c = valor de p entre as condições, P_t = valor de p entre os tratamentos e P_{c*t} = valor de p da interação entre as condições e os tratamentos. ns = não significativo. Fonte: Do autor (2025).

4.3.2. AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO

Os resultados referentes às avaliações de crescimento inicial mostraram que plântulas de 60 dias (Figura 14 A-D) apresentaram diferença na altura da parte aérea quando cultivadas sob diferentes condições luminosas, independente do tratamento aplicado na semente. Plantas cultivadas sob sol pleno apresentaram menor altura da parte aérea quando comparadas com plantas cultivadas sob sombra ($P_c < 0,05$) (Figura 15 A).

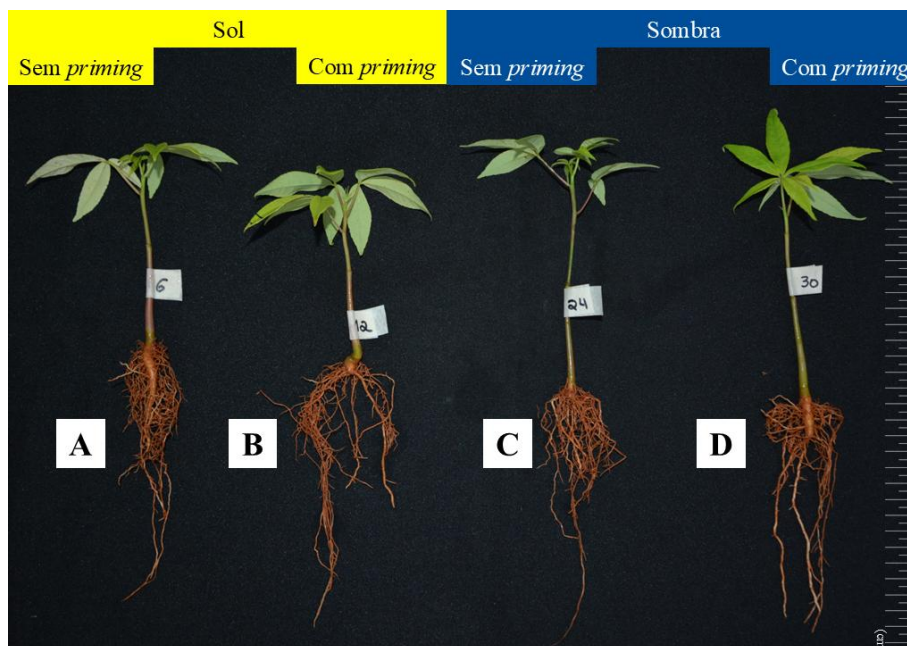
Os outros parâmetros de crescimento (comprimento da raiz, comprimento da planta inteira, peso fresco, e diâmetro da base do caule) (Figura 15 B, C, D e E, respectivamente) não apresentaram diferença estatística em nenhum fator, ou seja, na condição, no tratamento, nem na interação entre condição e tratamento ($P_c = ns$; $P_t = ns$ e $P_c * t = ns$).

Figura 13 – Emergência (A) e crescimento de plântulas (B e C) de *C. speciosa* até o aparecimento do primeiro par de folhas verdadeiras. (A) Emergência de uma plântula 10 dias após o início do experimento. (B) Plântula de aproximadamente 15 dias com as folhas cotiledonares ainda fechadas. (C). Plântula com as folhas cotiledonares expandidas e com os primórdios de folhas verdadeiras, próximo do 20º dia de cultivo.



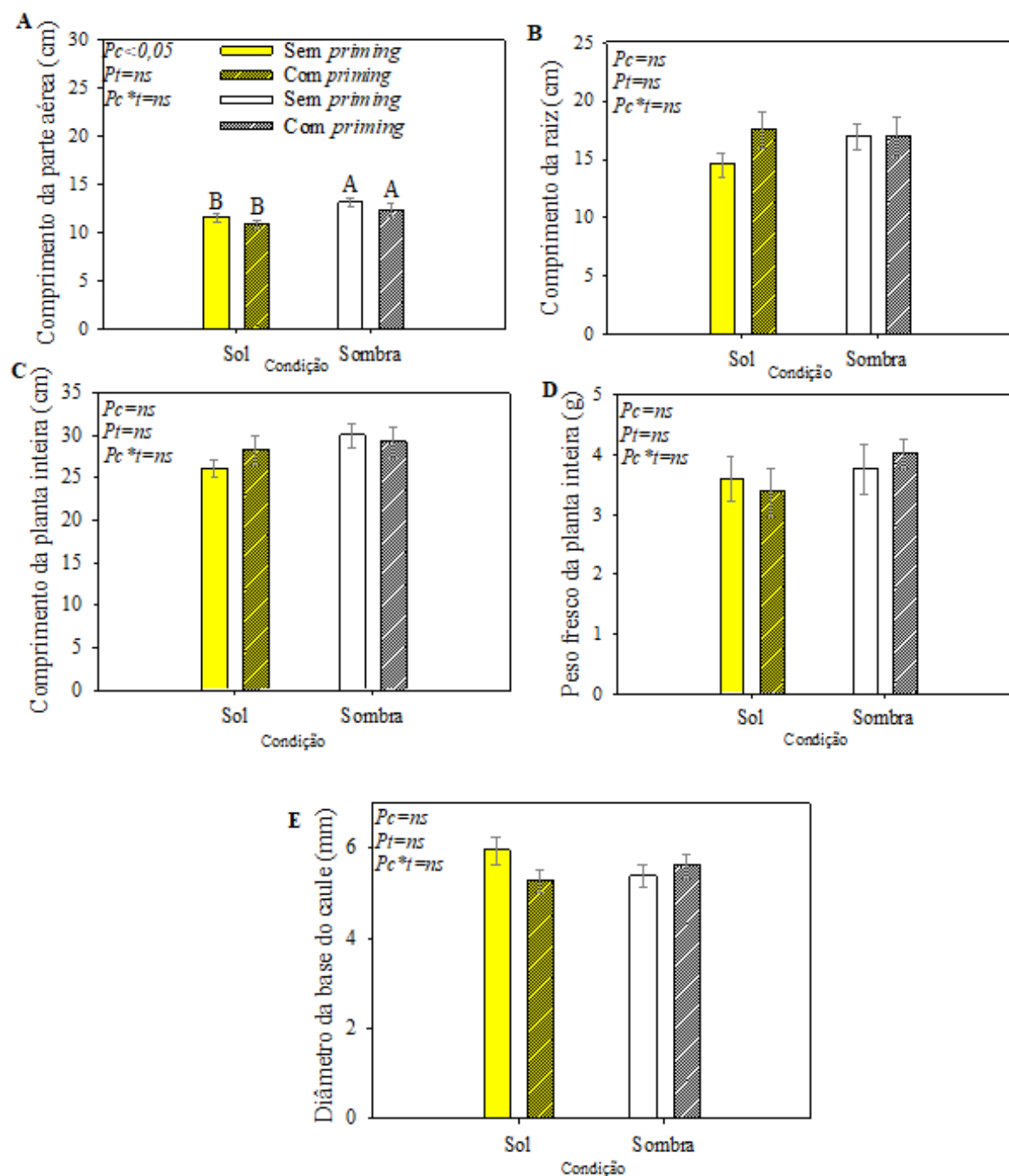
Fonte: Do autor (2025).

Figura 14 – Plântulas de *C. speciosa* cultivadas ao longo de 60 dias sob as condições de sol pleno (A e B) e sombrite (C e D) referentes aos tratamentos sem *priming* (A e C) e com *priming* (B e D).



Fonte: Do autor (2025).

Figura 15 – Parâmetros de crescimento inicial de plântulas de *C. speciosa* submetidas às condições de sol pleno ou sombrite e aos tratamentos com *priming* com metionina ou sem *priming* (controle). (A) Comprimento da parte aérea, (B) Comprimento da raiz (C) Comprimento da planta inteira, (D) Peso fresco da planta inteira e (E) Diâmetro da base do caule.

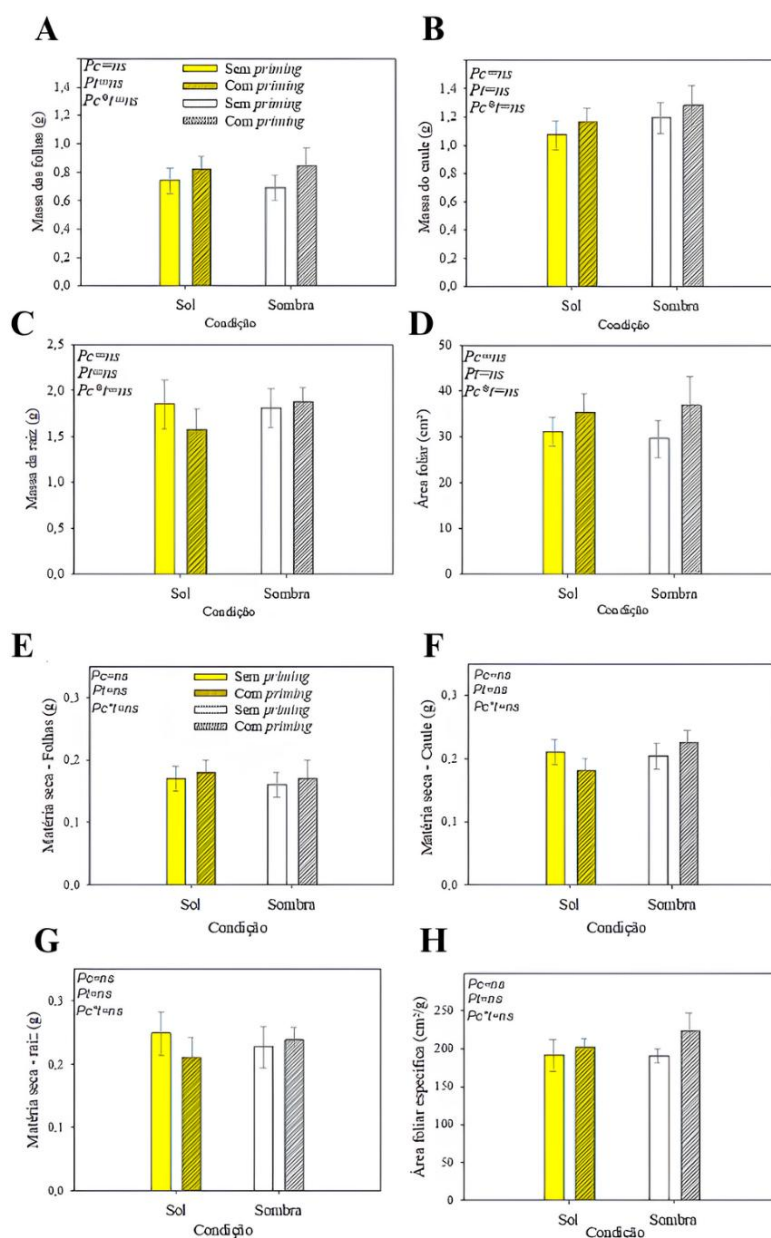


Barras são médias $\pm$ erro padrão. Letras maiúsculas comparam a condição nos diferentes tratamentos. Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro das condições. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P_c = valor de p entre as condições, P_t = valor de p entre os tratamentos e P_c*t =

valor de p da interação entre as condições e os tratamentos. *ns* = não significativo. Fonte: Do autor (2025).

Os parâmetros avaliados relacionados ao peso fresco (de folhas, do caule e da raiz) e a área foliar de plântulas de *C. speciosa* (Figura 16 A-D) mostraram que as condições e os tratamentos avaliados não influenciaram em resultados significativamente diferentes entre as plantas ($P_c=ns$; $P_t=ns$ e $P_c*t=ns$).

Figura 16 – Peso fresco (A-C), área foliar (D), massa seca (E-G) e área foliar específica (H) de plântulas de *C. speciosa* submetidas às condições de sol pleno ou sombreado e aos tratamentos com *priming* com metionina ou sem *priming* (controle). (A) Massa das folhas, (B) Massa do caule, (C) Massa da raiz e (D) Área foliar, (E) Massa seca das folhas. (F) Massa seca do caule. (G) Massa seca da raiz. (H) Área foliar específica.



Barras são médias $\pm$ erro padrão. Letras maiúsculas comparam a condição nos diferentes tratamentos. Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro das condições. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P_c = valor de p entre as condições, P_t = valor de p entre os tratamentos e P_{c*t} = valor de p da interação entre as condições e os tratamentos. *ns* = não significativo. Fonte: Do autor (2025).

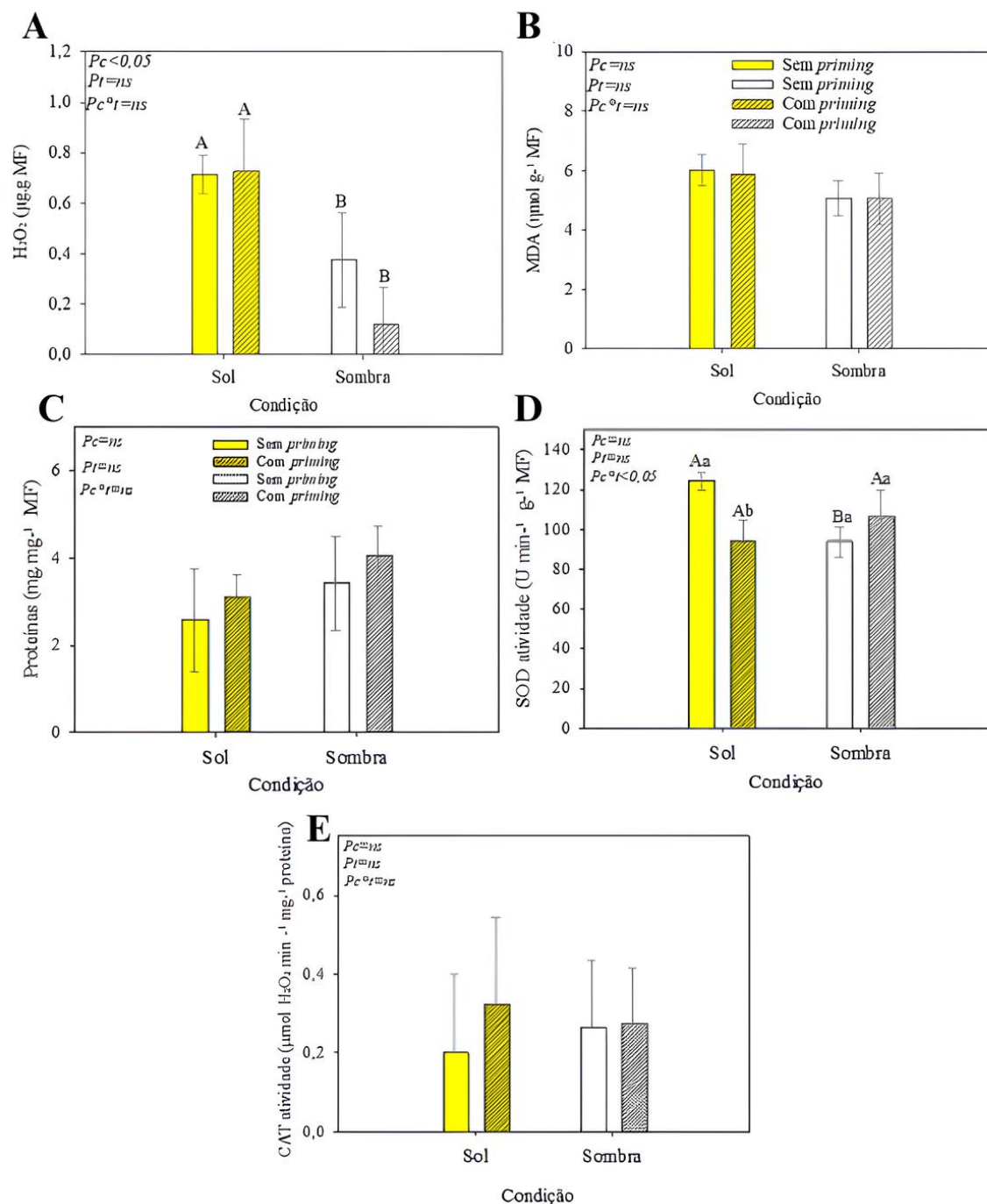
Os resultados referentes a matéria de folhas, do caule e da raiz (Figura 16 E-G) e área foliar específica, (Figura 16 H) também mostram que as condições e os tratamentos avaliados não influenciaram em resultados significativamente diferentes entre as plântulas de *C. speciosa* ($P_c=ns$; $P_t=ns$ e $P_{c*t}=ns$).

4.3.3. ANÁLISES BIOQUÍMICAS

Os resultados referentes a quantificação de H_2O_2 mostram que as plântulas cultivadas sob sol pleno possuíram maior conteúdo de H_2O_2 em relação as plântulas cultivadas sob sombra, independente do tratamento aplicado na semente ($P_c<0,05$) (Figura 17 A). Porém, os dados de MDA (Figura 17 B) indicam que não houve diferença de peroxidação lipídica estatisticamente significativa entre as plântulas submetidas aos quatro tratamentos avaliados no experimento II ($P_c=ns$; $P_t=ns$ e $P_{c*t}=ns$).

Os resultados mostraram que o conteúdo de proteína total (Figura 17 C) e a atividade da enzima CAT (Figura 17 E) não foram significativamente diferentes entre as plântulas dos quatro tratamentos. Porém, a atividade de SOD (Figura 17 D) foi significativamente diferente na interação entre condição e tratamento ($P_{c*t}<0,05$). Os dados indicam que a atividade de SOD de plântulas oriundas de sementes do tratamento sem *priming*, foi maior na condição de sol pleno e menor em sob sombra. Além disso, na condição de sol pleno, as plântulas referentes a sementes sem *priming* apresentaram maior atividade de SOD quando comparada a plântulas oriundas de sementes com *priming*.

Figura 17 – Parâmetros bioquímicos de plântulas de *C. speciosa* submetidas às condições de sol pleno ou sombrite e aos tratamentos com *priming* com metionina ou sem *priming* (controle). (A) Níveis de H_2O_2 e (B) Conteúdo de MDA. (C) Proteína total. (D) Atividade da SOD. (E) Atividade da CAT.

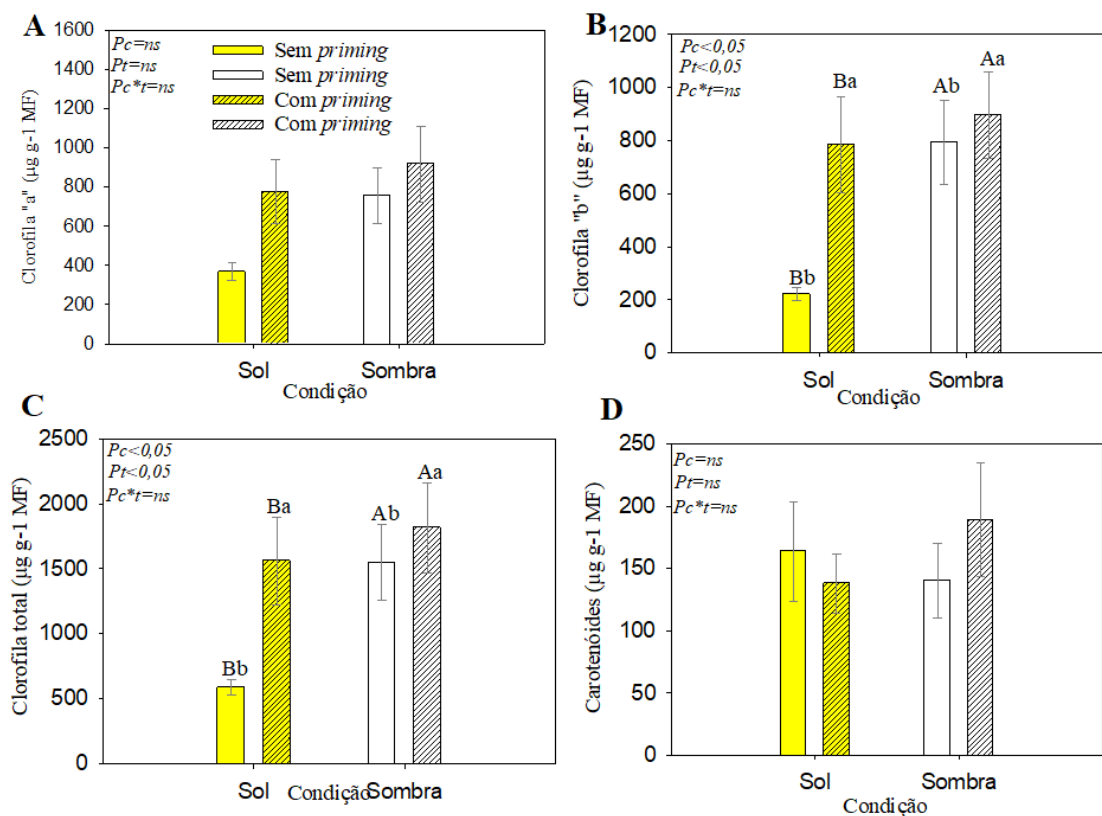


Barras são médias $\pm$ erro padrão. Letras maiúsculas comparam a condição nos diferentes tratamentos. Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro das condições. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P_c = valor de p entre as condições, P_t = valor de p entre os tratamentos e $P_c \times t$ =

valor de p da interação entre as condições e os tratamentos. *ns* = não significativo. Fonte: Do autor (2025).

Os resultados apontam que o conteúdo de clorofilas “a” e de carotenoides não diferiram significativamente entre as plântulas submetidas aos quatro tratamentos ($P_c=ns$; $P_t=ns$ e $P_{c*t}=ns$) (Figura 18 A e D). Já os dados de clorofila “b” e clorofila total (Figura 18 B e C) apresentaram diferença significativa tanto em relação à condição quanto em relação ao tratamento ($P_c<0,05$ e $P_t<0,05$). Foi observado que a condição de sombra influenciou o maior conteúdo de clorofila “b” e clorofilas totais. Além disso, as plântulas oriundas de sementes que passaram pelo *priming* também apresentaram maior conteúdo de clorofila “b” e de clorofila total, independente da condição luminosa.

Figura 18 – Conteúdo de (A) Clorofila “a”, (B) Clorofila “b”, (C) Clorofila total e (D) Carotenóides de plântulas de *C. speciosa* cultivadas sob condições de sol pleno ou sombreado e submetidas tratamentos de *priming* com metionina ou sem *priming* (controle).

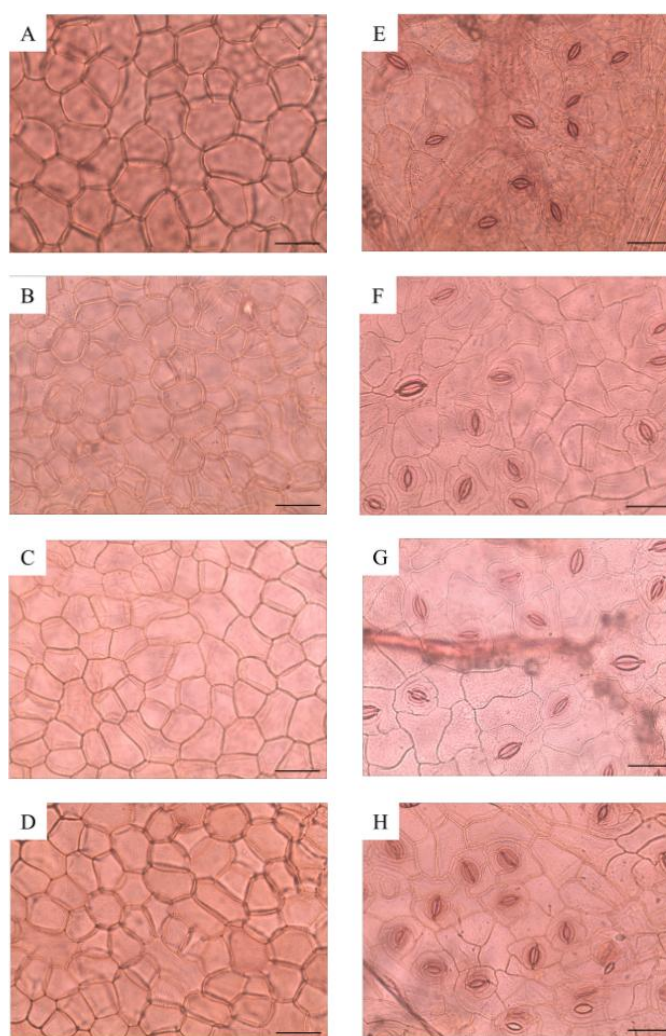


Barras são médias $\pm$ erro padrão. Letras maiúsculas comparam a condição nos diferentes tratamentos. Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro das condições. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P_c = valor de p entre as condições, P_t = valor de p entre os tratamentos e P_{c*t} = valor de p da interação entre as condições e os tratamentos. *ns* = não significativo. Fonte: Do autor (2025).

4.3.4. AVALIAÇÕES ANATÔMICAS

Os resultados obtidos através das análises da superfície adaxial e abaxial mostraram que os folíolos de *C. speciosa* não possuem estômatos na superfície adaxial, portanto a espécie é hipostomática (Figura 19 E-H). Além disso, não foi verificada diferença estatisticamente significativa em relação ao índice estomático entre as plantas submetidas aos quatro tratamentos (Figura 21 F)

Figura 19 - Epiderme adaxial (A-D) e abaxial (E-H) de folíolos centrais de folhas de plântulas de *C. speciosa* cultivadas sob condições de sol pleno (A, E; B, F) e sombrite (C, G; D, H) sombrite, referentes aos tratamentos sem *priming* (A, E; C, G) ou com *priming* (B, F; D, H). Barras de escala =100 μ m.



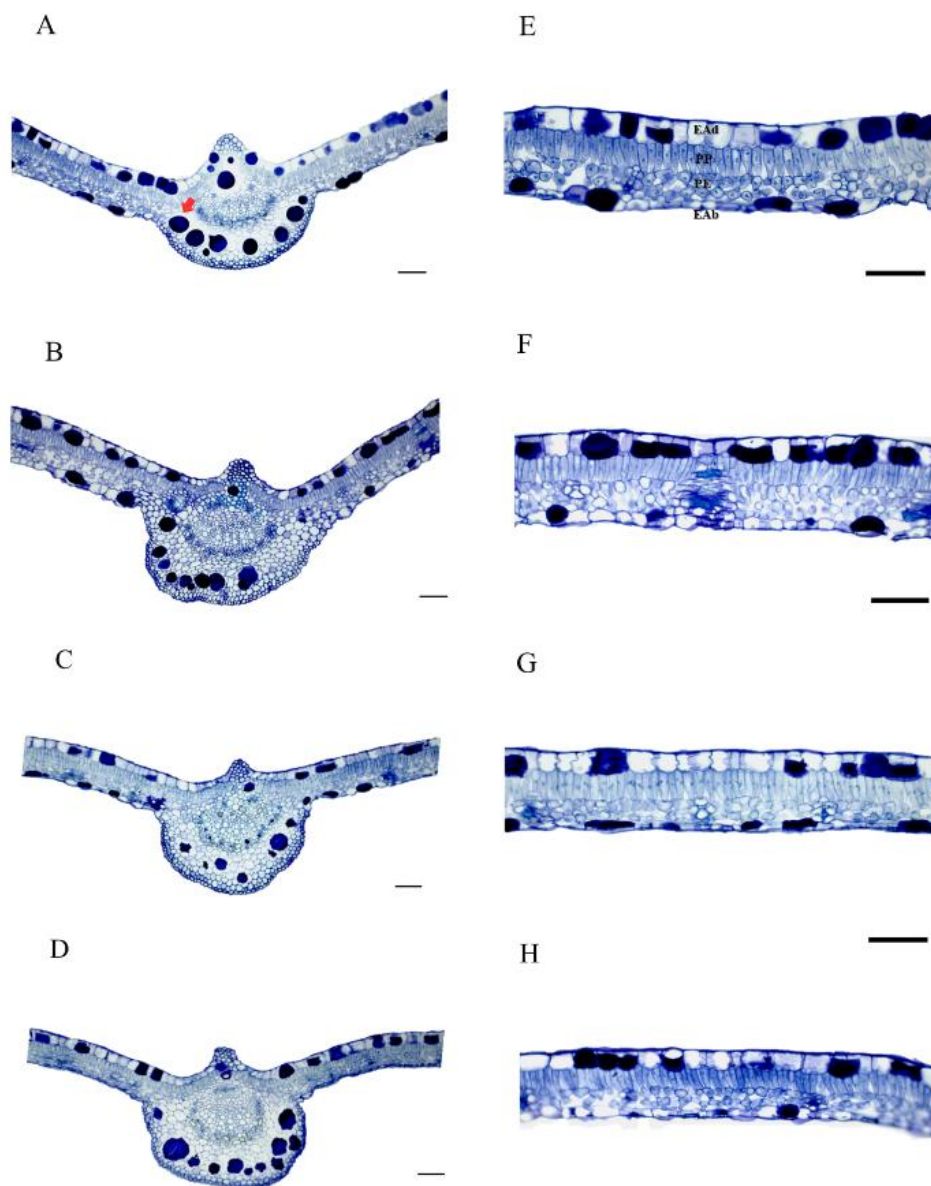
Fonte: Do autor (2025).

Os resultados referentes às avaliações de secções transversais (Figura 20 A- H) mostram que a espécie possui idioblastos secretores (Figura 20 A- seta vermelha) tanto

em regiões periféricas da nervura central (Figura 20 A-D) quanto na epiderme abaxial e adaxial do mesofilo (Figura 20 E-H).

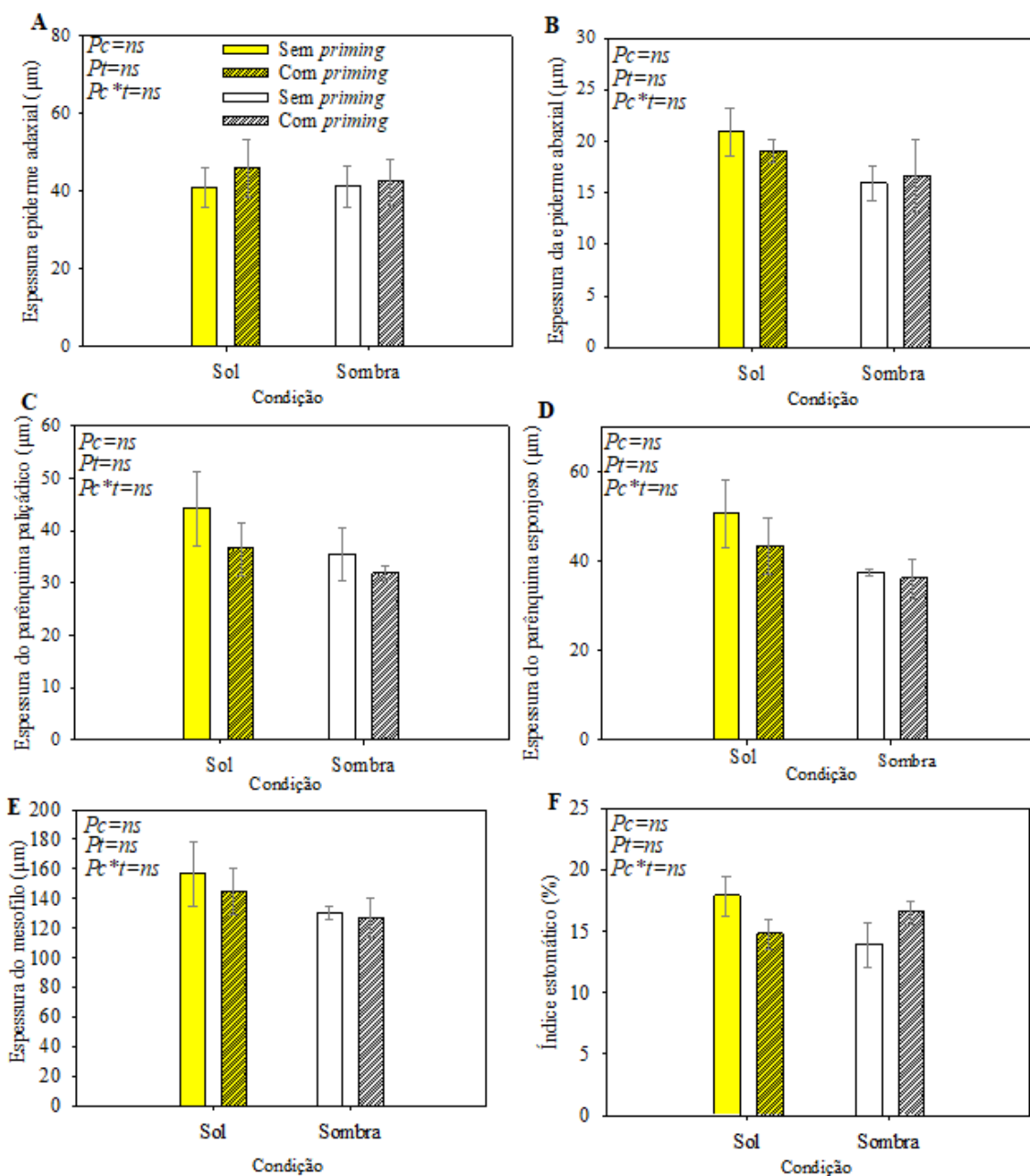
As medições e análises da espessura da epiderme abaxial e adaxial, do parênquima paliçádico e esponjoso da espessura do mesofilo (Figura 20 A- E) apontaram que as condições luminosas e os tratamentos aplicados nas sementes não influenciaram em resultados estatisticamente significativos entre os tratamentos avaliados.

Figura 20 - Secções foliares transversais da nervura central (A-D) e do mesofilo (E-H) de plântulas de *C. speciosa* cultivadas sob condições de sol pleno (A, B; E, F) e sombrite (C, D; G e H) referentes aos tratamentos sem *priming* (A, E; C, G) e com *priming* (B, F; D, H). Barras de escala =100 μ m. Seta vermelha: idioblastos. EAd: epiderme adaxial. PP: parênquima paliçádico. PE: parênquima esponjoso. EAb: epiderme abaxial.



Fonte: Do autor (2025).

Figura 21 - Espessura da epiderme adaxial (A), abaxial (B), do parênquima paliçádico (C), parênquima esponjoso (D), espessura total do mesofilo (D) e índice estomático (F) de folíolos de *C. speciosa* cultivadas sob condições de sol pleno ou sombrite e referentes aos tratamentos sem *priming* ou com *priming*.



Barras são médias $\pm$ erro padrão. Letras maiúsculas comparam a condição nos diferentes tratamentos. Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro das condições. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. P_c = valor de p entre as condições, P_t = valor de p entre os tratamentos e P_c*t = valor de p da interação entre as condições e os tratamentos. *ns* = não significativo. Fonte: Do autor (2025).

5. DISCUSSÃO

• Alterações fisiológicas induzidas pelo *priming* em sementes

Este trabalho traz o efeito do *priming* em espécies de Mata Atlântica que são alvo em projetos de revegetação. O aumento da velocidade da germinação nas espécies *T. roseoalba* (Figura 9 B) e *A. fraxinifolium* (Figura 10 B) submetidas ao *hidropriming* e *osmopriming* (com metionina e PEG) pode ser devido à ativação do metabolismo pré-germinativo, como a ativação de enzimas envolvidas tanto na mobilização de reservas quanto no enfraquecimento do endosperma, como hidrolases, proteases, α -amilase e desidrogenases (Guimarães et al. 2008; Srivastava et al. 2021). Além disso, durante a hidratação também há o reparo do material genético, mobilização de reservas, modificação do status hormonal e regulação do status oxidativo (Luts et al. 2016). Tais fatores permitem que, após as sementes serem tratadas com o *priming*, as fases I, II e III do processo germinativo ocorra de forma mais rápida durante a reidratação, resultando em uma antecipação da germinação e consequentemente um maior valor de IVG.

Em relação as variáveis bioquímicas avaliadas, foi indicado que sementes de *A. fraxinifolium* (Figura 10 E) e de *C. speciosa* (Figura 12 E) não hidratadas (CNH) possuíram o conteúdo de proteína total significativamente maior quando comparado a sementes hidratadas (CH). Segundo Bewley et al. (2012), carboidratos, lipídeos e proteínas são importantes reservas poliméricas presentes em tecidos internos da semente. Sendo assim, após a hidratação e ao longo do processo germinativo, proteínas de armazenamento são mobilizadas para que sejam supridas as demandas de crescimento da nova plântula (Müntz et al. 2001), o que também pode justificar o aumento da atividade de enzimas do sistema antioxidante em sementes hidratadas de *M. coriacea* (APX) (Figura 11 H) e de *C. speciosa* (SOD e CAT) (Figura 12 F e G).

O menor conteúdo de MDA verificados nas sementes de *M. coriacea* tratadas com *priming* com metionina em relação a sementes que passaram pelo *hidropriming* (Figura 11 D), indicam que a combinação da técnica com o aminoácido foi capaz de diminuir a peroxidação lipídica e, consequentemente, danos oxidativos. Tal resultado pode ser explicado, pois, a metionina, além de ser um componente do sistema antioxidante, também forma uma solução com baixo potencial osmótico, característica

que permite uma lenta embebição, possibilitando que o reparo e membranas seja mais eficiente e evitando danos os gerados pela rápida hidratação (Villela et al. 1991), condição contrastante fornecida pela técnica de *hidroprimng*, em que as sementes absorvem água de forma mais rápida, gerando maiores danos as membranas. Além disso, também foi verificado que, sementes desta espécie que não foram hidratadas, apresentaram o conteúdo de MDA ainda maior em relação às sementes do tratamento controle não hidratado, o que pode ser compreendido, já que sementes não hidratadas estão mais sujeitas a danos oxidativos por possuírem o metabolismo extremamente reduzido e inativação do sistema antioxidante enzimático.

Em relação ao menor conteúdo de H_2O_2 encontrado em sementes de *M. coriacea* que passaram pelo *priming* foi significativamente menor em sementes quando comparado às sementes não submetidas a técnica (Figura 11 C), indicando que o *priming* possui o potencial de diminuir o conteúdo dessa EROs capaz de gerar prejuízos ao processo germinativo. Durante a hidratação de sementes, a produção de H_2O_2 ocorre, principalmente, através da respiração mitocondrial. Essa ERO não possui elétrons desemparelhados e por isso é capaz de, facilmente, atravessar membranas biológicas e causar danos oxidativos longe do local de sua formação (Sharma et al. 2012). Embora seja essencial para sinalização durante a germinação (Bahin et al. 2011) possui grande potencial oxidante, o que a torna capaz de interagir muitas biomoléculas, como ácidos nucleicos, proteínas e lipídios, causando estresse oxidativo, que quando não controlado pode levar a danos celulares e prejuízos ao processo germinativo (Wojtyla et al. 2016).

O *priming* com PEG foi capaz de ativar o sistema antioxidante, por meio do aumento da atividade da CAT em sementes de *C. speciosa* referentes ao tratamento de *priming* com PEG (Figura 12 G). Resultados semelhantes foram também encontrados no trabalho de Ma et al. (2024), que avaliou o efeito do *priming* com PEG em sementes de *Coronilla varia* L. e verificou-se maiores atividade de CAT, POD e SOD quando as sementes foram submetidas a estresse hídrico.

Assim, nas sementes das espécies estudadas, a aplicação do *priming* resultou não somente o aumento da porcentagem e velocidade de germinação como reativou o sistema antioxidante, levando ao menor acúmulo de H_2O_2 , aumento de atividade enzimática e, conseqüentemente, menor peroxidação lipídica. Essas respostas, em

conjunto, são importantes para potencial inserção da técnica em programas de revegetação utilizando-a preferencialmente nas espécies mais responsivas.

• **Priming com metionina: da semente à plântula para mitigação do estresse luminoso**

O aumento do comprimento de parte aérea significativo das plântulas de *C. speciosa* na condição de sombra foi independente do pré-tratamento em sementes. (Figura 15 A). O maior comprimento de parte aérea pode indicar uma resposta morfogenética ligada a espécies arbóreas exigentes à luz que procuram superar a altura de plantas sob sombreamento, como é o caso da espécie *C. speciosa*, classificada ecologicamente como não pioneira (Colmanetti & Barbosa, 2013) e clímax exigente à luz (Carvalho et al. 2006). Respostas comuns de plantas arbóreas crescidas em condições de pleno sol relativas ao crescimento e alocação de matéria seca, incluem maiores recursos para folhas (tamanho) que para raízes (biomassa) (García-Pérez et al. 2021), além disso, plantas cultivadas sob alta radiação tendem a investir em massa radicular, de maneira a compensar perdas por transpiração (Poorter (1999); Moraes Neto et al. (2000); Contrin et al. (2020)). Resultados semelhantes não foram encontrados em nenhum dos tratamentos avaliados neste trabalho, talvez, pelas avaliações terem sido realizadas em plântulas em fase inicial de crescimento, ou seja, plantas ainda muito jovens em fase de crescimento.

As diferenças em relação à altura de plantas de sol e sombra não influenciaram em diferença significativa na taxa fotossintética líquida entre os tratamentos, assim como a aplicação dos tratamentos nas sementes. Porém, o *priming*, em ambas as condições luminosas, se mostrou eficiente na geração de plântulas com maior conteúdo de pigmentos fotossintéticos, como clorofila *b* (Figura 18 B) e clorofila total (Figura 18 C). No trabalho de Silva et al. (2023), plântulas de ipê rosa (*Handroanthus heptaphyllus*) advindas de sementes tratadas com *priming* com H₂O₂ e cultivadas em latossolo vermelho também possuíram maior conteúdo de clorofila *b*, enquanto, no trabalho de Dias et al. (2024), plântulas da mesma espécie, advindas de sementes que passaram pelo *hidropriming* com diferentes tempos de hidratação, foi verificado o aumento do conteúdo de clorofila *a*, clorofila total e carotenoides. A relação entre o *priming* com metionina e aumento do conteúdo de clorofila pode ser justificado, pois a metionina é um aminoácido que, além de compor o sistema antioxidante não enzimático

atua também na doação de grupos metila envolvidos em importantes processos fisiológicos de plantas, como na biossíntese de clorofilas através da geração de S-adenosilmetionina (Sekula et al. 2020), o que pode justificar o maior conteúdo de tais pigmentos em plântulas advindas de sementes que passaram pelo *priming* com metionina.

Em relação à anatomia, não foram indicadas diferenças significativas entre os tratamentos. Porém, foi verificado, a partir da análise da superfície da epiderme (Figura 19 A-H) que as folhas de *C. speciosa* são hipoestomáticas, característica comum entre plantas adaptadas a ambientes com a presença de intensa luminosidade, pois a presença de estômatos exclusivamente na epiderme abaxial os protege da luz solar direta, do aquecimento excessivo e pode auxiliar na redução de perda de água por transpiração.

Em secções transversais (Figura 20 A-H), foi verificado que as folhas de *C. speciosa* possuem idioblastos secretores. Gonçalves et al. (2024), em estudos anatômicos do Gênero *Ceiba*, verificaram que folhas de *C. speciosa* apresentam idioblastos mucilaginosos, cristalíferos e fenólicos. Tais estruturas estão dispostas aleatoriamente no mesofilo, na epiderme, no córtex do pecíolo e no tecido parenquimático da nervura central, exceto na porção central do sistema vascular, próximos às células de xilema.

Segundo Rocha et al (2011), a presença de estruturas secretoras internas, como idioblastos podem possuir funções relacionadas a reserva de água e carboidratos, no balanço hídrico, na resistência contra a seca e na proteção contra herbívora e patógenos. Já a presença de estruturas secretoras de mucilagem em partes externas da planta, pode estar relacionada a proteção de estruturas ou órgãos em desenvolvimento, retenção de água, reserva de carboidratos, redução da transpiração, proteção contra radiação e na manutenção da germinação de sementes (Pimentel et al. 2011; Rocha et al. 2011) como o caso de sementes de *C. speciosa*, que durante a germinação, secretam uma densa mucilagem que envolve a radícula e a protege contra a desidratação.

Pode-se observar que as plântulas de *C. speciosa* não tiveram grandes alterações morfológicas ou biométricas resultantes dos tratamentos aplicados. Dessa forma, foram verificadas respostas bioquímicas. O aumento do conteúdo de H_2O_2 (Figura 17 A) de plântulas cultivadas sob sol pleno, independente do tratamento aplicado na semente, poderia indicar que a condição de pleno sol foi capaz de levar ao aumento no conteúdo de H_2O_2 . Entretanto, esse aumento não foi refletido em incremento na peroxidação

lipídica, o que indica ausência de estresse oxidativo. Para lidar com o excesso de energia em decorrência da alta luminosidade, mecanismos de evitamento de danos podem ser acionados (Duque et al. 2013), como a fotorrespiração. Neste processo metabólico, a geração de H_2O_2 é rapidamente controlada pela CAT presente em peroxissomos (Goto-Yamada et al. 2023).

Apesar de não ter sido verificada alteração na atividade da CAT entre os tratamentos testados, a atividade da SOD foi pronunciada em plântulas crescidas a pleno sol oriundas de sementes não tratadas com *priming*, quando comparada às plântulas advindas de sementes não tratadas cultivadas sob sombra. Isso se justifica pois, diferente da condição de sombra, a exposição ao sol pleno é potencialmente mais estressante e segundo Demidchik (2015), o aumento da atividade do sistema de defesa antioxidante pode ser induzido por estresses, sendo o vazamento de elétrons da cadeia transportadora de elétrons a principal causa do estresse oxidativo. Além disso, na condição de sol foi verificado que plântulas advindas de sementes tratadas com *priming* possuíam atividade da SOD significativamente menor quando comparada à de plântulas advindas de sementes sem *priming*. Isso indica que o *priming* em si não foi eficiente para manter a ativação do sistema antioxidante enzimático. Entretanto, considerando todos os resultados apresentados, não houve indícios de estresse oxidativo em decorrência da irradiância ou do *priming*. Esses resultados indicam que as plantas condicionadas ao sol pleno, foram capazes de lidar com o maior conteúdo de EROs sem que este causasse danos significativos à integridade de membranas, seja por meio das enzimas antioxidantes, seja pelo conteúdo de carotenoide, seja por outros agentes antioxidantes não mensurados neste trabalho.

6. CONCLUSÃO

A hipótese do primeiro experimento, de que a aplicação do *priming* em sementes de quatro espécies nativas da Mata Atlântica seria capaz de promover melhorias em parâmetros germinativos e bioquímicos foi aceita, mas com pequenas ressalvas, já que a aplicação desta técnica em sementes de *T. roseoalba* e *A. fraxinifolium* não gerou benefícios significativos relacionados aos parâmetros bioquímicos e na porcentagem de germinação final, porém, a aplicação da técnica influenciou o aumento significativo do

IVG para ambas as espécies. Já as sementes de *M. coriacea* e *C. speciosa* tratadas com *priming* foram beneficiadas em alguns parâmetros bioquímicos, como a diminuição do conteúdo de H_2O_2 e MDA e aumento do conteúdo de proteína total em sementes de *M. coriacea* e aumento da atividade da enzima CAT em sementes de *C. speciosa*, porém, tais questões não geraram influência estatisticamente significativa nos parâmetros germinativos.

Já a segunda hipótese, referente ao experimento II, de que a aplicação do *priming* em sementes de *C. speciosa* seria capaz de gerar plântulas mais tolerantes ao estresse luminoso não foi corroborada, visto que plântulas oriundas de sementes tratadas com metionina não apresentaram resultados melhores aos de plântulas advindas de sementes não tratadas, ou seja, o *priming* não foi capaz de gerar resultados significativamente melhores relacionados à taxa fotossintética, ao crescimento inicial, a matéria seca, a parâmetros bioquímicos e anatômicos, embora tenha influenciado o aumento no conteúdo de clorofila *b* e totais. Além disso, verificou-se que a condição de sombra foi ideal para o cultivo de plântulas da espécie, pois gerou plântulas com menor conteúdo de H_2O_2 .

Pode-se concluir que, neste trabalho, a técnica do *priming* foi eficiente para o processo germinativo das espécies *T. roseoalba*, *A. fraxinifolium*, *M. coriacea* e *C. speciosa*. Porém, não foi capaz de gerar plântulas de *C. speciosa* mais tolerantes a condição de sol pleno.

Então, não se recomenda a aplicação da técnica do *priming* com metionina em sementes de *C. speciosa* em projetos que visem vegetar áreas da Mata Atlântica com condição de alta irradiância. Porém, sob condições ideais, o *priming* foi capaz de gerar benefícios no processo germinativo de sementes das quatro espécies avaliadas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto avaliado, pode-se considerar que o *priming* gerou benefícios em parâmetros bioquímicos do processo germinativo de sementes das espécies *M. coriacea* e *C. speciosa* e no IVG de *T. roseoalba* e *F. fraxinifolium*, duas espécies que, naturalmente germinam de forma mais rápida (1-2 dias). Apesar disso, a técnica não aumentou a porcentagem de germinação de nenhuma espécie, embora todas as espécies avaliadas possuam a porcentagem de germinação final consideravelmente elevada (>75%).

As plântulas de *C. speciosa* com e sem *priming* cultivadas sob sol pleno, embora tenham apresentado maior conteúdo de H_2O_2 e menor altura da parte aérea, não possuíram outras características que indicassem estresse, já que os outros parâmetros avaliados não foram significativamente diferentes entre si. Sendo assim, foi possível observar que *C. speciosa* é capaz de crescer em condição de sol pleno sem que haja sérios prejuízos fisiológicos, embora não seja uma espécie pioneira e sim secundária/clímax que precisaria de condições mais amenas para o crescimento pleno. Vários indicadores avaliados neste trabalho ressaltam que *C. speciosa* pode ser considerada em programas de revegetação em áreas abertas. Ficou evidente que a espécie possui características morfoanatômicas e fisiológicas de plasticidade, que a permite ajustar-se às condições ambientais de luminosidade nas fases iniciais do seu desenvolvimento. Isso corrobora com os trabalhos que classificam a espécie como clímax exigentes à luz.

Além disso, as respostas de sementes de espécies nativas da Mata Atlântica ao *priming* podem estar intrinsecamente relacionadas às condições ambientais encontradas pelas espécies ao longo de suas histórias evolutivas. O ambiente úmido e com temperaturas amenas de florestas tropicais úmidas não fornece um ambiente estressante ao processo germinativo, diferente de alguns fatores encontrados em áreas de Savana, por exemplo. Em ambientes sazonais, as espécies naturalmente selecionadas possuem estratégias para o crescimento e desenvolvimento sob condições de elevadas amplitudes térmicas e períodos de seca. É possível que o *priming* seja melhor “memorizado” por sementes de espécies que ao longo da sua história evolutiva, já passam pelo “*priming* natural”, ou seja, que já estão expostas a condições estressantes, como ciclos de hidratação e desidratação, exposição à elevadas temperaturas e à diferentes compostos

químicos. Outros trabalhos em andamento do grupo de pesquisa Seeds têm corroborado os achados dessa dissertação, direcionando para as conclusões iniciais de que o *priming* em sementes de espécies nativas de Mata Atlântica não tem sido uma técnica pré-
semeadura eficiente como tem sido em espécies de campos rupestres ou cerrado.

REFERÊNCIAS

- ABDELKADER, M.; VORONINA, L.; PUCHKOV, M.; SHCHERBAKOVA, N.; PAKINA, E.; ZARGAR, M.; LYASHKO, M. Seed *Priming* with Exogenous Amino Acids Improves Germination Rates and Enhances Photosynthetic Pigments of Onion Seedlings (*Allium cepa* L.). **Horticulturae**, v. 9. 2023. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010080>.
- ALMEIDA, C. de & VIANI, R.A.G. Espécies arbóreas plantadas na restauração da Mata Atlântica (versão 2 – agosto 2020). **Laboratório de Silvicultura e Pesquisas Florestais, LASPEFUFSCar**. 2020. Disponível em: <https://laspef.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Almeida-e-Viani2020-especies-plantadas-na-restauracao-Mata-Atlantica.pdf>.
- ALPERT, P. The Limits and Frontiers of Desiccation-Tolerant Life. **Integrative and Comparative Biology**, v. 45, issue 5, p. 685–695. 2005. <https://doi.org/10.1093/icb/45.5.685>.
- ALSCHER, R. G., ERTURK N., HEATH L. S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, p. 1331–1341. 2002. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1331>.
- ALTIVO, F. DE S., & PIÑA RODRIGUES, F.C.M. Funcionalidade ecológica da restauração de áreas degradadas no bioma Mata Atlântica, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira De Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, v. 43, p.17–31. 2017. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820170175>.
- ANDERSON, M. D.; PRASAD, T. K. & STEWART, C. R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings. **Plant Physiology**, v. 109, p.1247–1257. 1995.
- ASSIS, G. B., SUGANUMA, M. S., MELO, A. C. G. DE., & DURIGAN, G. Uso de espécies nativas e exóticas na restauração de matas ciliares no Estado de São Paulo (1957 - 2008). **Revista Árvore**, v. 37, p. 599–609. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000400003>.
- BAHIN, E., BAILLY, C., SOTTA, B., KRANNER, I., CORBINEAU, F., AND LEYMARIE, J. Crosstalk between reactive oxygen species and hormonal signalling pathways regulates grain dormancy in barley. **Plant, Cell and Environment**. v. 34, no. 6, p. 980–993. 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02298.x>.
- BAILLY, C., EL-MAAROUF-BOUTEAU, H., CORBINEAU F. From intracellular signaling networks to cell death: the dual role of reactive oxygen species in seed physiology. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 10, p. 806-814. 2008. doi: 10.1016/j.crv.2008.07.022.
- BEWLEY, J.D. Seed germination and dormancy. **Plant Cell**, v. 9, ed. 7, p. 1055–1066. 1997. <https://academic.oup.com/plcell/article/9/7/1055/5986415>.

BEWLEY, J.D., BRADFORD, K.J., HILHORST, H.W.M., NONOGAKI, H. (2013). Structure and Composition. In: Seeds. Springer, New York, NY.
https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4_1.

BICALHO et al. Germinação: princípios, processos e aplicações/ organização Fabian Borgetti -- 1 ed. -- Brasília, DF: rede de Sementes do Cerrado, 2024. Vários autores. ISBN 978-85-99887-20-2.

BILGER W, BJÖRKMAN O. Role of the xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light-induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. **Photosynthesis Research**, v.25, p. 173-185. 1990. doi: 10.1007/BF00033159.

BITTENCOURT, N. S.; PEREIRA, E. J.; SÃO-THIAGO, P. S.; SEMIR, J. The reproductive biology of *Cybistax antisyphilitica* (Bignoniaceae), a characteristic tree of the South American savannah-like “Cerrado” vegetation. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 206, issue 10, p. 872-886. 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.flora.2011.05.004>.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254. 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. Normais climatológicas (1961-1990). Brasília: 1992. 84 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília, 2009. http://www.agricultura.gov.br/images/MAPA/arquivos_portal/ACS/sementes_web.pdf.

BUDOWSKI, G. Distribution of tropical american rain forest species in the light of sucessional processes. **Turrialba**, v. 15, n. 1, p. 40-42, 1965.

BUEGE, J.A. & AUST, S.D. Microsomal lipid peroxidation. **Methods in enzymology**, v. 52, p. 302–310. 1978. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(78\)52032-6](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(78)52032-6).

CARVALHO, L. R. DE, SILVA, E. A. A. DA, & DAVIDE, A. C. Classificação de sementes florestais quanto ao comportamento no armazenamento. **Revista Brasileira De Sementes**, v. 28, p. 15–25. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222006000200003>.

CHEN, K. & ARORA, R. Dynamics of the antioxidant system during seed *osmopriming*, post-priming germination, and seedling establishment in Spinach (*Spinacia oleracea*). **Plant Science**, v. 180, issue 2, p. 212-220. 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.007>.

CHOUDHARY, R., RAJPUT, V.D., GHODAKE, G. *ET AL.* Comprehensive journey from past to present to future about seed *priming* with hydrogen peroxide and hydrogen sulfide concerning drought, temperature, UV and ozone stresses- a review. **Plant Soil**. 2024. <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11104-024-06499-9>.

COLMANETTI, M. A. A., & BARBOS, L. M. Fitossociologia e estrutura do estrato arbóreo de um reflorestamento com espécies nativas em Mogi-Guaçu, SP, Brasil. **Hoehnea**, v. 40, p. 419–435. 2013. <https://doi.org/10.1590/S2236-89062013000300003>.

CONTIN, D.R., HABERMANN, E., ALVES, V.M. et al. Effect of different irradiance levels on anatomy and growth of two Malvaceae species during two seasons. **Brazilian Journal of Botany** v. 43, p. 257–269. <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00609-4>. 2020.

COSTA, S., LOHMANN, LG, & BURIL, MT. Flora de Pernambuco, Brasil: aliança Tabebuia e tribo Jacarandae (Bignoniaceae). **Biota Neotropica**, v. 19. 2019. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2019-0737>.

DANTAS, A. A. A., CARVALHO, L. G. DE, & FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência E Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1862–1866. 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000600039>.

DAWEI YAN, LISZA DUERMAYER, CATALINA LEOVEANU, EIJI NAMBARA. The Functions of the Endosperm During Seed Germination. **Plant and Cell Physiology**, v. 55, issue 9, p. 1521–1533. 2014. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu089>.

DEMIDCHIK, V. *Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 109, p. 212–228. 2015. doi:10.1016/j.envexpbot.2014.06.021.

DIAS, G. S., CHAVES, J. T. L., SANTOS, T. R. S., GARCIA, Q. S., ARTUR, M. A. S., BICALHO, E. M. Be prepared: how does discontinuous hydration in *Tabebuia heterophylla* seeds induce stress tolerance in seedlings? **Plant Biology**. 2024. <https://doi.org/10.1111/plb.13719>.

DOLFERUS, R. To grow or not to grow: A stressful decision for plants. **Plant Science**, v. 229, p. 247–261. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.10.002>.

DONOHUE, K., CASAS, K.K., BURGHART, L., KOVACH, L.K. & WILLIS, C.G. Germination, post germination adaptation, and species ecological ranges. **Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics**, v. 41, p. 293–319. 2010. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144715>.

DRUMOND, M. A., & MEIRA NETO, J. A. A. Composições florística e fitossociológica de uma mata secundária de um trecho da Mata Atlântica. **Ciência Rural**, v. 29, n. 4, p. 657–661. <https://doi.org/10.1590/S0103-84781999000400015>. 1999.

DUQUE, A.S.; DE ALMEIDA, A.M.; DA SILVA, A.B.; DA SILVA, J.M.; FARINHA, A.P.; SANTOS, D.; DE SOUSA ARAÚJO, S. Abiotic stress responses in plants: Unraveling the complexity of genes and networks to survive. In *Abiotic Stress: Plant Responses and Applications in Agriculture*; Vahdati, K., Leslie, C., Eds.; INTECH Open: Rijeka, Croatia, p. 49–102. 2013.

EL-MAAROUF-BOUTEAU, H. The Seed and the Metabolism Regulation. **Biology**, v. 11. 2022. <https://doi.org/10.3390/biology11020168>.

EL-SANATAWY, A.M.; ASH-SHORMILLESY, S.M.A.I.; QABIL, N.; AWAD, M.F.; MANSOUR, E. Seed Halo-*Priming* Improves Seedling Vigor, Grain Yield, and Water Use Efficiency of Maize under Varying Irrigation Regimes. **Water**, v. 13, 2115. 2021. <https://doi.org/10.3390/w13152115>.

ENACHE, T.A., OLIVEIRA-BRETT, A.M. Boron doped diamond and glassy carbon electrodes comparative study of the oxidation behaviour of cysteine and methionine. **Bioelectrochemistry**, v. 81, issue 1, p. 46-52. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2011.02.001>.

ESPANANY, A., FALLAH, S., TADAYYON, ALI. Seed *priming* improves seed germination and reduces oxidative stress in black cumin (*Nigella sativa*) in presence of cadmium. **Industrial Crops and Products**, v. 79, p. 195-204. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.016>.

FARIA, J.M.R. Desiccation tolerance and sensitivity in *Medicago truncatula* and *Inga vera* seeds. 2006. 145p. Tese (Doutorado) Wageningen University, Wageningen.

FAROOQ, M., USMAN, M., NADEEM, F., UR REHMAN, H., WAHID, A., BASRA, S. M. & SIDDIQUE, K. H. Seed *priming* in field crops: potential benefits, adoption and challenges. **Crop and Pasture Science**, v. 70, p. 731–771. 2019. <https://doi.org/10.1071/CP18604>.

FEDER, N. & O'BRIEN, T.P. Plant microtechnique: some principles and new methods. **American Journal of Botany**, v. 55, p. 123-142. 1968.

FEITOSA, D. G., MALTONI, K. L., CASSIOLATO, A. M. R., & PAIANO, M. O. Crescimento de mudas de Gonçalo-Alves (*Astronium fraxinifolium*) sob diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 401–411. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000300004>. (2011).

FICHMAN, Y. AND MITTLER, R. Rapid systemic signaling during abiotic and biotic stresses: is the ROS wave master of all trades? **Plant Journal**, v. 102, n. 5, p. 887-896. 2020. <https://doi.org/10.1111/tpj.14685>.

FINCH-SAVAGE, W.E. AND LEUBNER-METZGER, G. Seed dormancy and the control of germination. **New Phytologist**, v. 171, p. 501-523. 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>.

FONSECA, S. C. L., & FREIRE, H. B. Sementes recalcitrantes: problemas pós-colheita. **Bragantia**, v. 62, edição 2, p. 297–303. 2003. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052003000200016>.

FREITAS, F. M.; NASCIMENTO, A. R. T.; SANCHES, M.C. Can morpho-physiological responses to natural light conditions in *Cybistax antisiphilitica* (Mart.) Mart. explain its widespread occurrence in Brazilian Savannas? **Flora**, v. 286, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2021.151990>.

GALL, H., PHILIPPE, F., DOMON, J., GILLET, F., PELLOUX, J., & RAYON, C. Cell Wall Metabolism in Response to Abiotic Stress. **Plants**, v. 4, n. 1, p. 112 - 166. 2015. <https://doi.org/10.3390/plants4010112>.

GANDOLPHI, G., & BITTENCOURT JR, N. S. Sistema reprodutivo do Ipê-Branco: *Tabebuia roseo-alba* (Ridley) Sandwith (Bignoniaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, (3), p. 840–851. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000300026>.

GARCÍA-PÉREZ, J.L.; OLIET, J.A.; VILLAR-SALVADOR, P.; GUZMÁN, J.E. Root Growth Dynamics and Structure in Seedlings of Four Shade Tolerant Mediterranean Species Grown under Moderate and Low Light. **Forests** 2021, 12, 1540. <https://doi.org/10.3390/f12111540>.

GAZZOLA, M. D., ROVEDDER, A. P. M., MATIELLO, J., SCHENATO, R. B., CRODA, J. P., CAMARGO, B., & PIAIA, B. B. Semeadura direta de espécies florestais para restauração ecológica na transição Pampa – Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 3, e68327. 2023. <https://doi.org/10.5902/1980509868327>.

GENTRY, A.H. Bignoniaceae Part 11 - Tribe Tecomeae. *Flora Neotropica*, v. 25, p. 1-362. 1992.

GIANNOPOLITIS, C.N. & RIES, S.K. Superoxide dismutases: II. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. **Plant Physiology**, v. 59, issue 2, p. 315–318. 1977. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.315>.

GOMES, M. P.; SOARES, A. M.; GARCIA, Q. S. Phosphorous and sulfur nutrition modulate antioxidant defenses in *Myracrodruon urundeuva* plants exposed to arsenic. **Journal of Hazardous Materials**, v. 276, p. 97–104, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.05.020>.

GÓMEZ-MAQUEO, X.; GAMBOA-DEBUEN, A. The Biology of the Genus *Ceiba*, a Potential Source for Sustainable Production of Natural Fiber. **Plants**, v. 11. 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11040521>.

GONÇALVES, L. P., LUNA, B. N. DE., FERREIRA, C. D. M., BOVINI, M. G., & TONI, K. L. G. D. Leaf secretory structures in *Ceiba* (Malvaceae - Bombacoideae): ontogeny, anatomy and histochemistry. **Rodriguésia**, 75, e01342023. 2024. <https://doi.org/10.1590/2175-7860202475008>.

GOTO-YAMADA, S., OIKAWA, K., HAYASHI, Y., MANO, S., YAMADA, K., & NISHIMURA, M. Pexophagy in plants: a mechanism to remit cells from oxidative

damage caused under high-intensity light. **Autophagy**, v. 19, p. 1611–1613. 2023. <https://doi.org/10.1080/15548627.2023.2175570>.

GUIMARÃES, M.A., DIAS, D.C.F.S. & LOUREIRO, M.E. Hidratação de sementes. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, vol. 2, no. 1, pp. 31-39. 2008.

HE, M., HE, C-Q. AND DING, N-Z. Abiotic Stresses: General Defenses of Land Plants and Chances for Engineering Multistress Tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, n. 1771. 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01771>.

HILDEBRANDT, T. M., NESI, A. N., ARAÚJO W. L., BRAUN, H. Amino Acid Catabolism in Plants. **Molecular Plant**, v. 8, issue 11, p. 1563-1579. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2015.09.005>.

HILKER, M. & SCHMÜLLING T. Stress *priming*, memory, and signalling in plants. **Plant Cell Environment**, v. 42, p. 753–761. 2019. <https://doi.org/10.1111/pce.13526>.

HODGES, D.M.; DELONG, J.M.; FORNEY, C.F.; PRANGE, R.K. Improving the thiobarbituric acid reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. **Planta**, v. 207, n.1, p. 604-611. 1999. <https://doi.org/10.1007/s004250050524>.

IZZO, L. G.; MELE, B. H.; VITALE, L.; VITALE, E.; ARENA, C. The role of monochromatic red and blue light in tomato early photomorphogenesis and photosynthetic traits. **Environmental and Experimental Botany**, v. 179. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104195>.

JENSEN, W. A. Botanical histochemistry: principles and practice. Ed. W.H. Freeman, San Francisco. 408p. 1962.

JOHANSEN DA. Plant microtechnique. McGraw-Hill, New York. 523p. 1940.

JUNIOR, C. F. C., Souza, R. A. de, Santos, A. M., Sampaio, R. A., & Martins, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, v. 56, n. 2. <https://ojs.ceres.ufv.br/ceres/article/view/3433>. 2015.

KHAN, S.; ALVI, A.F.; SAIFY, S.; IQBAL, N.; KHAN, N.A. The Ethylene Biosynthetic Enzymes, 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylate (ACC) Synthase (ACS) and ACC Oxidase (ACO): The Less Explored Players in Abiotic Stress Tolerance. **Biomolecules**, v. 14. 2024. <https://doi.org/10.3390/biom14010090>.

KITAMURA AE, Alves MC, Suzuki LGAS, Paz Gonzalez A (2008) Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** v. 32, p. 405–416. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100038>.

KRESLAVSKI, V. D.; LOS, D. A.; SCHMITT, F. J.; ZHARMUKHAMEDOV, S. K.; KUZNETSOV, V. V.; ALLAKHVERDIEV, S. I. The impact of the phytochromes on

photosynthetic processes. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics**, v. 1859, issue 5, p. 400–408. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.bbabbio.2018.03.003>.

LARCHER, W. Streß bei Pflanzen. **Naturwissenschaften**, v. 74, p. 158–167. 1987. <https://doi.org/10.1007/BF00372919>.

LEAL, M. R.; FLORES-SAHAGUN, T. H. S.; FRANCO, T. S.; MUNIZ, G. I. B. *Ceiba speciosa* St. Hill fruit fiber as a potential source for nanocellulose production and reinforcement of polyvinyl acetate composites. **Polymer Composites**, v. 42, p. 397–411. 2021. <https://doi.org/10.1002/pc.25833>.

LEITE, M.C.M., DE ARAUJO, M.A., DA SILVA DE PAIVA, W. *et al.* Morphological responses and tolerance of a tree native to the Brazilian Cerrado *Astronium fraxinifolium* Schott to boron toxicity. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 6900–6910. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15710-8>. 2022.

LICHTENTHALER, H. K., & BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**, v. 1, n. 2. 2001. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>.

LICHTENTHALER, H. The Stress Concept in Plants: An Introduction. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 851. 1998. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb08993.x>.

LIMA FILHO, P., LELES, P. S. DOS S., ABREU, A. H. M. DE, FONSECA, A. C. DA, & SILVA, E. V. DA. Produção de mudas de *Ceiba speciosa* em diferentes volumes de tubetes utilizando o bio sólido como substrato. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 27–39. 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509819340>.

LINKIES, A., GRAEBER, K., KNIGHT, C. AND LEUBNER-METZGER, G. The evolution of seeds. **New Phytologist**, v. 186, p. 817–831. 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03249.x>.

LOHMANN, L. G., & PIRANI, J. R. Tecomeae (Bignoniaceae) da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais e Bahia, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 10, p. 103–138. 1996. <https://doi.org/10.1590/S0102-33061996000100010>.

LORENZI, H. Árvores brasileiras. **Plantarum**, v. 1, 4 ed. Nova Odessa. 1992.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 4 ed. Nova Odessa: **Instituto Plantarum**, v.1. 2002.

MA, L., WEI, J., HAN, G., SUN, X., YANG, X. Seed *osmopriming* with polyethylene glycol (PEG) enhances seed germination and seedling physiological traits of *Coronilla varia* L. under water stress. **PLoS One**. 2024 May 10;19(5):e0303145. doi: 10.1371/journal.pone.0303145. PMID: 38728268; PMCID: PMC11086902.

- MAGUIRE, J. D. Speed of germination aid selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.
- MANSOOR, S.; ALI WANI, O.; LONE, J.K.; MANHAS, S.; KOUR, N.; ALAM, P.; AHMAD, A.; AHMAD, P. Reactive Oxygen Species in Plants: From Source to Sink. **Antioxidants**, v.11. 2022. <https://doi.org/10.3390/antiox11020225>.
- MARZINEK, J., & MOURÃO, K. S. M. Morphology and anatomy of the fruit and seed in development of *Chorisia speciosa* A. St.-Hil. - Bombacaceae. **Brazilian Journal of Botany**, v. 26, p. 23–34. 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042003000100004>.
- MATILLA, A. J. The Orthodox Dry Seeds Are Alive: A Clear Example of Desiccation Tolerance. **Plants**, vol. 11. 2022. <https://doi.org/10.3390/plants11010020>.
- MIRANDA, L. P. M., TARSITANO, M. A. A., ALVES, M. C., RODRIGUES, R. A. F. Custo para implantação de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada utilizando-se adubos verdes e lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 41, n. 4, p. 475-480. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.10053>. 2011.
- MISHRA, N., JIANG, C., CHEN, L., PAUL, A., CHATTERJEE, A. AND SHEN, G. Achieving abiotic stress tolerance in plants through antioxidative defense mechanisms. **Frontiers in Plant Science**, v. 14. 2023. doi: 10.3389/fpls.2023.1110622.
- MITTLER, R. ROS are good. **Trends in Plant Science**, v. 22, p. 11–19. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.08.002>.
- MORADI, L. & SIOSEMARDEH, A. Combination of seed *priming* and nutrient foliar application improved physiological attributes, grain yield, and biofortification of rainfed wheat. **Frontiers in Plant Science**, v. 14. 2023. doi: 10.3389/fpls.2023.1287677.
- MORAES, NETO S., GONÇALVES, M. L. J., TAKAKI, M., CENCI, S., GONÇALVES, C. J. Crescimento de mudas de algumas espécies arbóreas que ocorrem na Mata Atlântica, em função do nível de luminosidade. *Revista Árvore*. v. 24, p. 35–45. 2000.
- MÜNTZ, K., BELOZERSKY, M.A., DUNAEVSKY, Y.E., A. SCHLERETH, J. TIEDEMANN, Stored proteinases and the initiation of storage protein mobilization in seeds during germination and seedling growth. **Journal of Experimental Botany**. Volume 52, Issue 362, 1 September 2001, p. 1741–1752, <https://doi.org/10.1093/jexbot/52.362.1741>.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A. MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. & KENT, J. Biodiversity *hotspots* for conservation priorities. **Nature**, v.403, p.853- 858, 2000.
- NAKANO, Y. & ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, v. 22, p. 867–880. 1981. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232>.

NONOGAKI, H.; BASSEL, G. W.; BEWLEY, J. D. Germination—still a mystery. **Plant Science**, v. 179, n. 6, p. 574–581. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010>.

O'BRIEN, T. P. & MCCULLY, M. E. The study of plant structure. Principles and selected methods. Termarcaphi Pty Ltd., Melbourne. p. 344. 1981.

OLIVEIRA, A. K. M., & LEME, F. T. F. *Didelphis albiventris* como indutor de germinação de *Rapanea ferruginea* (Myrcinaceae) em área de Cerrado, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 103, p. 361–366. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0073-47212013000400005>.

ORUNSOLU, I. O., PEREIRA, A. A. S., BERNARDES, M. M., NEVES, T. T. DAS, SHAIK, S., & BICALHO, E. M. *Halopriming* as a tool for maintaining the vigor of sunflower seeds post storage. **Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology**, v. 159, issue 2, p. 232–238. 2025. <https://doi.org/10.1080/11263504.2025.2460461>

PAPARELA, S; ARAÚJO, S. S.; ROSSI, G.; WIJAYASINGHE, M.; CARBONERA, D.; BALESTRAZZI, A. Seed *priming*: state of the art and new perspectives. **Plant Cell Reports**, v. 34, p. 1281–1293. 2015. DOI 10.1007/s00299-015-1784-y.

PARADISO, R. & PROIETTI, S. Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 41, p. 742–780. 2022. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10337-y>.

PASCOTTO, M. C. *Rapanea ferruginea* (Ruiz & Pav.) Mez. (Myrsinaceae) como uma importante fonte alimentar para as aves em uma mata de galeria no interior do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira De Zoologia**, v. 24, p. 735–741. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752007000300026>.

PEREIRA, A. A. S.; NERY, F. C. FERREIRA, R. A., SILVA, V. N. DA., BERNARDES, M. M., SANTOS, H. O. DOS., & BICALHO, E. M. Can *priming* with ascorbic acid or nitric oxide improve the germinability of stored sunflower seeds? **Journal of Seed Science**, v. 44, e202244012. 2022. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44256600>.

PETTER, F. A., SILVA, J. A. DA., ZUFFO, A. M., ANDRADE, F. R., PACHECO, L. P., & ALMEIDA, F. A. DE. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, v. 75, p.173–183. 2016. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.447>.

PIMENTEL, R. R., MACHADO, S. R., & ROCHA, J. F. Estruturas secretoras de *Pavonia alnifolia* (Malvaceae), uma espécie ameaçada de extinção. **Rodriguésia**, v. 62 n. 2, p. 253–262. 2011. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201162203>.
POORTER, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**. v. 13, p. 396–410. 1999. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2435.1999.00332.x>.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2021.

RAJJO, L., DUVAL, M., GALLARDO, K., CATUSSE, J., BALLY, J., JOB, C. & JOB, D. Seed germination and vigor. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 507–533. 2012. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105550>.

RASBAND, W. S., IMAGEJ, U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, imagej.nih.gov/ij/, 1997–2012.

REN, Y.; SHEN, F.; LIU, J.; LIANG, W.; ZHANG, C.; LIAN, T.; JIANG, L. Application of Methionine Increases the Germination Rate of Maize Seeds by Triggering Multiple Phenylpropanoid Biosynthetic Genes at Transcript Levels. **Plants**, v. 12, 3802. 2023. <https://doi.org/10.3390/>.

RHAMAN, M.S.; IMRAN, S.; RAUF, F.; KHATUN, M.; BASKIN, C.C.; MURATA, Y.; HASANUZZAMAN, M. Seed *Priming* with Phytohormones: An Effective Approach for the Mitigation of Abiotic Stress. **Plants**, v. 10. 2021. <https://doi.org/10.3390/plants10010037>.

ROBERTS, E. H. Predicting the storage life of seeds. **Seed Science and Technology**. v. 1, p. 499–514.

ROCHA, J. F., PIMENTEL, R. R., & MACHADO, S. R. Estruturas secretoras de mucilagem em *Hibiscus pernambucensis* Arruda (Malvaceae): distribuição, caracterização morfoanatômica e histoquímica. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 4, p. 751–763. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000400003>.

ROSSELLI, S.; TUNDIS, R.; BRUNO, M.; LEPORINI, M.; FALCO, T.; GAGLIANO CANDELA, R.; BADALAMENTI, N.; LOIZZO, M.R. *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Seeds Oil: Fatty Acids Profiling by GC-MS and NMR and Bioactivity. **Molecules**, v. 25. 2020. <https://doi.org/10.3390/molecules25051037>.

RUDENKO, N. N.; VETOSHKINA, D.V.; MARENKOVA, T.V.; BORISOVA-MUBARAKSHINA, M.M. Antioxidants of Non-Enzymatic Nature: Their Function in Higher Plant Cells and the Ways of Boosting Their Biosynthesis. **Antioxidants**, v. 12. 2023. <https://doi.org/10.3390/antiox12112014>.

SALISBURY, E. J. On the causes and ecological significance of stomatal frequency with special references to woodland flora. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 216: 1-65. 1927.

SCHNEIDER, C. R., ANGELO, D. H., ANGELO, A. C., BEHLING, A., RÍOS, R. C., & BLUM, C. T. Espécies, práticas silviculturais e monitoramento: estratégias para restauração ecológica de áreas protegidas da Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 4, e74057. 2023. <https://doi.org/10.5902/1980509874057>.

SEO, M., HANADA, A., KUWAHARA, A., ENDO, A., OKAMOTO, M., YAMAUCHI, Y., NORTH, H., MARION-POLL, A., SUN, T.-P., KOSHIBA, T.,

KAMIYA, Y., YAMAGUCHI, S. AND NAMBARA, E. Regulation of hormone metabolism in Arabidopsis seeds: phytochrome regulation of abscisic acid metabolism and abscisic acid regulation of gibberellin metabolism. **The Plant Journal**, v. 48. p. 354-366. 2006. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2006.02881.x>.

SHARMA, E. & MAJEE, M. Seed germination variability: why do genetically identical seeds not germinate at the same time? **Journal of Experimental Botany**, v. 74, issue 12, v. 27, p. 3462–3475. 2023. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad101>.

SHETEIWY, M. S., FU, Y., HU, Q. ET AL. Seed priming with polyethylene glycol induces antioxidative defense and metabolic regulation of rice under nano-ZnO stress. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 23, p. 19989–20002. 2016. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7170-7>.

SHI, Y.; KE, X.; YANG, X.; LIU, Y.; HOU, X. Plants response to light stress. **Journal of Genetics and Genomics**, v. 49, issue 8, p.735-747. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jgg.2022.04.017>.

SILVA, V.N., BERNARDES, M.M., PEREIRA, A.A.S. FERREIRA, R. A.; PEREIRA, E. G.; BICALHO, E. M. Seed Priming of *Handroanthus heptaphyllus* for the Restoration of the Mining Fields. **Water Air Soil Pollution**, v. 234, n. 31. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11270-022-06032-7>.

SILVEIRA, S.B.; NEVES, E.J.M.; CARPANEZZI, A.A.; BRITZ, R.M. Avaliação silvicultural de *Rapanea ferruginea* e *Citharexylum myrianthum* plantadas em pastagens abandonadas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, p. 99–102. 2013. doi: 10.4336/2013.pfb.33.73.410.

SOARES, C., CARVALHO, M. E.A., AZEVEDO, R. A., FIDALGO, F. Plants facing oxidative challenges—A little help from the antioxidant networks. **Environmental and Experimental Botany**, v. 161, p. 4-25. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.12.009>.

SRIVASTAVA, A.K., SURESH KUMAR, J. AND SUPRASANNA, P. Seed ‘primeomics’: plants memorize their germination under stress. **Biological Reviews**, v. 96, p. 1723-1743. 2021. <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1111/brv.12722>.

STOCKMAN, A. L., BRANCALION, P. H. S., NOVEMBRE, A. D. DA L. C., & CHAMMA, H. M. C. P. Sementes de ipê-branco (*Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) Sand. - Bignoniaceae): temperatura e substrato para o teste de germinação. **Revista Brasileira De Sementes**, v. 29, p. 139–143. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000300016>.

SWAINE, M.D. & WHITMORE, T.C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetatio**, v. 75, p. 81–86. 1988. <https://doi.org/10.1007/BF00044629>.

- SZYMAŃSKA, R., ŚLESIAK I., ORZECZOWSKA A., KRUK J. Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, p. 165-177. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.05.002>.
- VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, v. 151, p. 59–66. 2000. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00197-1](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00197-1).
- VENÂNCIO, R. S. S. & MIURA, R. Y. H. Análise da germinação de quatro espécies nativas: capororoca (*Rapanea ferruginea* (Ruiz&Pav.) Mez.), juçara (*Euterpe edulis* Mart.), leiteiro (*Peschiera fuchsiaefolia* Miers) e tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong). **Scientia vitae**, v. 1, n. 2. 2013. <https://periodicos.srq.ifsp.edu.br/index.php/rsv/article/view/21/16>.
- VIEIRA, B. C.; BICALHO, E. M.; MUNNÉ-BOSCH, S. & GARCIA, Q. S. Absciscic acid regulates seed germination of *Vellozia* species in response to temperature. **Plant Biology**, v. 19, n. 2, p. 211-216, 2017.
- VILLELA, F. A., FILHO, L. D., & SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n.11/12, 1957–1968. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab1991.v26.3549>. 1991.
- VOGT, W. Oxidation of methionyl residues in proteins: tools, targets, and reversal. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 18, n. 1, p. 93-105. 1995.
- WOJTYLA Ł, LECHOWSKA K, KUBALA S, GARNCZARSKA M. Different Modes of Hydrogen Peroxide Action During Seed Germination. **Front Plant Science**. 2016. v. 7. article 66. doi: 10.3389/fpls.2016.00066. PMID: 26870076; PMCID: PMC4740362.
- ZHU J. Abiotic Stress Signaling and Responses in Plants. **Cell**, v. 167, n. 2, p. 313-324. 2016. ISSN 00928674, <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029>.

ANEXO

Tabela A1 - Germinação final (%G), Índice de velocidade de germinação (IVG), Conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), Conteúdo de malondialdeído (MDA), de proteína total, atividade de Superóxido dismutase (SOD), de Catalase (CAT) e de Ascorbato peroxidase (APX) em sementes das espécies *T. roseoalba*, *A. fraxinifolium*, *M. coriacea* e *C. speciosa* referentes aos tratamentos controle (sem priming), controle hidratado (CH), controle não hidratado (CNH) e *priming* com metionina e polietilenoglicol 6000 (PEG) referentes ao experimento I.

Parâmetro	Tratamento	Espécie			
		<i>T. roseoalba</i>	<i>A. fraxinifolium</i>	<i>M. coriacea</i>	<i>C. speciosa</i>
%GF	Controle	87 ± 4,1	97 ± 2	93 ± 2,5	94,8 ± 0,1
	<i>Hidropriming</i>	97±3	97 ± 2	93 ± 2	94,6 ± 2,5
	Metionina	91±1	91 ± 4,3	93 ± 2	87,1 ± 4,2
	PEG	84±4,3	94 ± 1,9	95 ± 2,2	85 ± 4,4
IVG	Controle	7,68±0,21 b	12,38 ± 1,03 b	3,36 ± 0,2	2,88 ± 0,14
	<i>Hidropriming</i>	10,30 ± 0,53 a	17,34 ± 0,47 a	2,83 ± 0,2	3,65 ± 0,15
	Metionina	10,02 ± 0,59 a	16,37 ± 0,77 a	3,95 ± 0,25	3,4 ± 0,25
	PEG	9,43 ± 0,71 ab	16,87 ± 0,24 a	3,31 ± 0,35	3,35 ± 0,34
H ₂ O ₂	CNH	2,2 ± 0,4	0,35 ± 0,07	2,4 ± 0,3	0,05 ± 0,02
	CH	1,35 ± 0,2	0,27 ± 0,14	2,1 ± 0,3 a	0,04 ± 0,04
	<i>Hidropriming</i>	1,4 ± 0,05	0,13 ± 0,04	0 b	0,07 ± 0,03
	Metionina	1,3 ± 0,1	0,13 ± 0,08	0,5 ± 0,15 b	0,02 ± 0,01
	PEG	2 ± 0,27	0,05 ± 0,02	0,05 ± 0,05 b	0,03 ± 0,01
MDA	CNH	77,13 ± 8,5	3,4 ± 0,7	6,8 ± 0,4 A*	15,83 ± 0,9
	CH	60,64 ± 3,4	2,9 ± 0,8	3,7 ± 0,3 B* ab	15,16 ± 1,5
	<i>Hidropriming</i>	68,85 ± 2,3	5,1 ± 1,1	4,6 ± 0,5 a	12,48 ± 0,5
	Metionina	73,84 ± 12,2	2,7 ± 0,9	2,4 ± 0,3 b	12,75 ± 1,4
	PEG	69,24 ± 4	2,9 ± 0,4	3,6 ± 0,6 ab	13,19 ± 1,2
Proteína total	CNH	1,5 ± 0,3	6 ± 0,2 A*	5,5 ± 0,3	8,04 ± 0,2 A*
	CH	2,1 ± 0,1	3,65 ± 0,5 B*	4,1 ± 0,5 b	5,0 ± 0,5 B*
	<i>Hidropriming</i>	2 ± 0,07	3,3 ± 0,4	6,3 ± 0,3 a	4,2 ± 0,4
	Metionina	2 ± 0,17	3,2 ± 0,5	4,2 ± 0,2 b	4,7 ± 0,3
	PEG	2,2 ± 0,3	3,1 ± 0,3	4,5 ± 0,4 b	3,8 ± 0,3
SOD	CNH	93,2 ± 5,07 A*	-	74,69 ± 9,37	122,43 ± 5,8 B*
	CH	76,3 ± 4,08 B*	-	80,83 ± 5,7	141,37 ± 1,6 A*
	<i>Hidropriming</i>	78,01 ± 4,4	-	104,72 ± 11,31	136,65 ± 5,4
	Metionina	71,81 ± 5,8	-	114,22 ± 11,3	140,13 ± 2,7
	PEG	60,91 ± 11,12	-	91,11 ± 16	130,08 ± 5,4
CAT	CNH	1,27 ± 0,2	0,19 ± 0,05	0,31 ± 0,11	0,23 ± 0,03 B*
	CH	1,2 ± 0,2	0,17 ± 0,17	0,36 ± 0,15	0,47 ± 0,08 A* b
	<i>Hidropriming</i>	1,18 ± 0,1	0,52 ± 0,18	0,12 ± 0,08	0,32 ± 0,06 b
	Metionina	1,2 ± 0,2	0,56 ± 0,08	0,37 ± 0,17	0,65 ± 0,18 ab
	PEG	2,2 ± 0,7	0,5 ± 0,11	0,22 ± 0,11	1,0 ± 0,13 a
APX	CNH	18,63 ± 6,14	-	4,14 ± 1,65 B*	-

CH	19,07 ± 2,89	-	12,74 ± 2,23 A*	-
<i>Hidropriming</i>	18,52 ± 6,1	-	7,32 ± 1,19	-
Metionina	23,09 ± 3,04	-	12,54 ± 3,52	-
PEG	24,15 ± 7,1	-	13,18 ± 1,65	-

Os valores representam as médias ± desvio padrão. As letras maiúsculas seguidas por asterisco comparam estatisticamente os tratamentos controles (CNH* e CH*) e as letras minúsculas comparam todos os tratamentos com exceção do controle não hidratado. As letras representam diferença estatística no teste Tukey a 0,5% de probabilidade. Fonte: Do autor (2025).

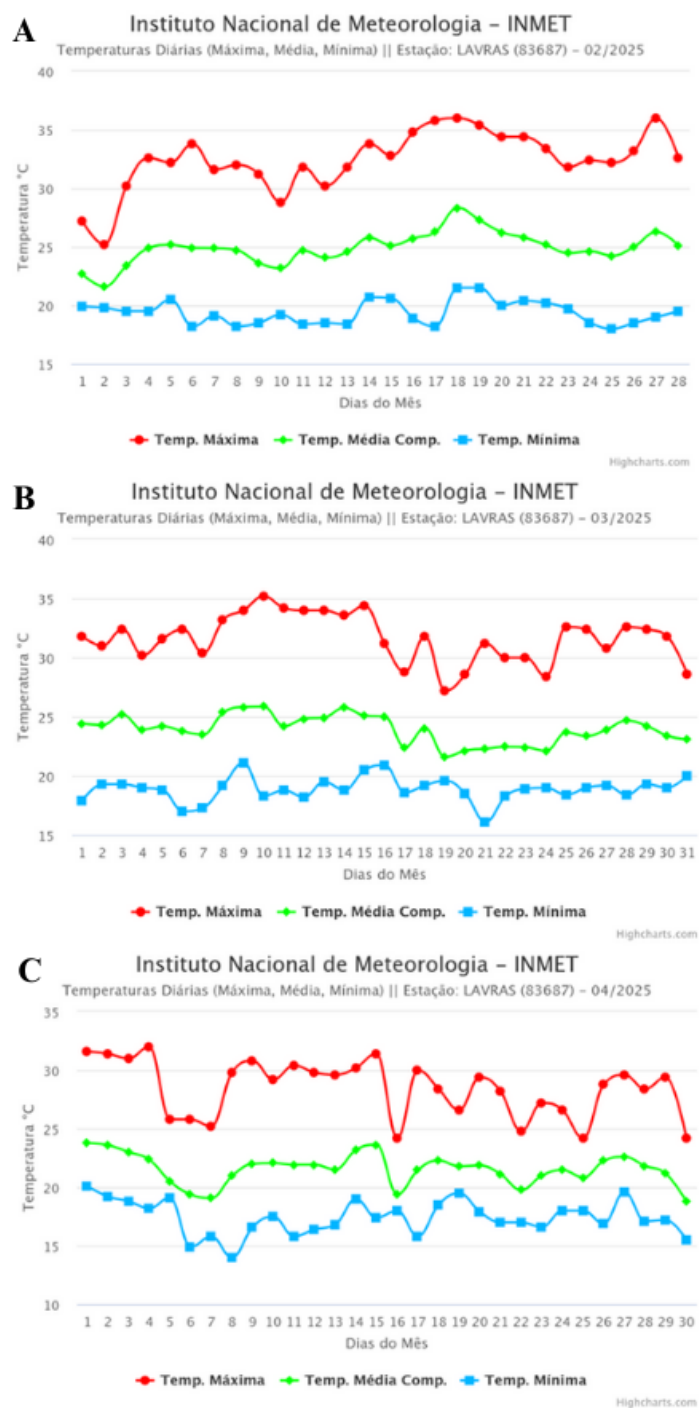
Tabela A2 - Parâmetros Fotossintético, de crescimento, de peso fresco, massa seca, pigmentos fotossintéticos e parâmetros anatômicos de folhas de *C. speciosa* submetidas às condições de sol pleno ou sombrite e aos tratamentos com *priming* ou sem *priming*, referentes ao experimento II.

Parâmetro		Condição/tratamento			
		Sol		Sombrite 50%	
		Sem <i>priming</i>	Com <i>priming</i>	Sem <i>priming</i>	Com <i>priming</i>
Fotossintético	Fotossíntese líquida ($\text{mmol m}^{-1} \text{s}^{-1}$)	2,78 ± 0,40	2,54 ± 0,42	2,74 ± 0,75	2,27 ± 0,51
Crescimento	Comprimento da parte arte aérea (cm)	11,5 ± 0,37	10,78 ± 0,46	13,06 ± 04	12,3 ± 0,72
	Comprimento da raiz (cm)	14,5 ± 1,01	17,5 ± 1,52	16,92 ± 1,06	16,92 ± 1,71
	Comprimento da planta inteira (cm)	26,0 ± 1,07	28,28 ± 1,74	29,98 ± 1,40	29,21 ± 1,82
	Diâmetro da base do caule (mm)	5,9 ± 0,31	5,27 ± 0,25	5,37 ± 0,25	5,60 ± 0,27
	Área foliar (cm^2)	31,1 ± 3,14	35,31 ± 4,12	29,51 ± 4,11	36,74 ± 6,38
Peso fresco	Planta inteira (g)	3,59 ± 0,37	3,38 ± 0,40	3,76 ± 0,40	4,02 ± 0,24
	Folhas (g)	0,74 ± 0,09	0,82 ± 0,09	0,69 ± 0,09	0,84 ± 0,13
	Caule (g)	1,07 ± 0,10	1,16 ± 0,10	1,19 ± 0,11	1,28 ± 0,14
	Raiz (g)	1,85 ± 0,26	1,57 ± 0,22	1,81 ± 0,20	1,87 ± 0,15
Massa seca	Folhas (g)	0,17 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,17 ± 0,03
	Caule (g)	0,21 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,20 ± 0,02	0,22 ± 0,02
	Raiz (g)	0,25 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,22 ± 0,03	0,23 ± 0,02
	Área foliar específica (cm^2/g)	190,7±20,8	201,2 ± 11,8	190,3 ± 9,1	222,92 ± 24
Bioquímica	H ₂ O ₂ ($\mu\text{g.g MF}$)	0,71 ± 0,07 A	0,7 ± 0,2 A	0,37 ± 0,1 B	0,1 ± 0,15 B
	MDA ($\eta\text{mol g}^{-1} \text{MF}$)	6,02 ± 0,51	5,86 ± 1,01	5,06 ± 0,6	5,06 ± 0,8
	Proteínas ($\text{mg.mg}^{-1} \text{MF}$)	2,57 ± 1,17	3,08 ± 0,5	3,4 ± 1,0	4,0±0,6
	SOD ($\text{U min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$)	124,4 ± 4,2 Aa	93,6 ± 10,83 Ab	93,5 ± 7,66 Ba	106,0±14 Aa
	CAT ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{proteína}$)	0,19 ± 0,20	0,32 ± 0,22	0,26 ± 0,17	0,27 ± 0,14
Pigmentos	Clorofila <i>a</i>	367,1 ± 44,5	776,7 ± 161,75	755,6±142,76	916,6±193,9
	Clorofila <i>b</i>	221,4±24 Bb	784,6±179,76 Ba	794,6±158,8 Ab	898,1±163 Aa
	Carotenoides	163,86 ± 40,0	138,15±24,08	140,61 ± 30,13	189,3± 46,06
	Clorofila total	588,5 ± 61 Bb	1561,3±338,2 Ba	1550 ±294,2 Ab	1814±348 Aa
Anatômico	Índice estomático (%)	17,88 ± 1,6	14,8 ± 1,21	13,91 ± 1,81	16,57 ± 0,9
	Espessura da epiderme adaxial (μm)	40,8 ± 5,15	45,97 ± 7,37	41,27 ± 5,3	42,32 ± 5,95
	Espessura da epiderme abaxial (μm)	20,9 ± 2,3	19,03 ± 1,1	15,88 ± 1,6	15,58 ± 3,5
	Espessura do parênquima paliçádico (μm)	44,27 ± 7,13	36,5 ± 5,13	35,47 ± 5,0	31,86 ± 1,3

Espeçura do parênquima esponjoso (µm)	50,56 ± 7,7	43,3 ± 6,3	37,33 ± 0,8	36,04 ± 4,36
Espeçura do mesofilo (µm)	156,5 ± 21,37	144,8 ± 15,75	129,97 ± 4,4	126,8 ± 13,38

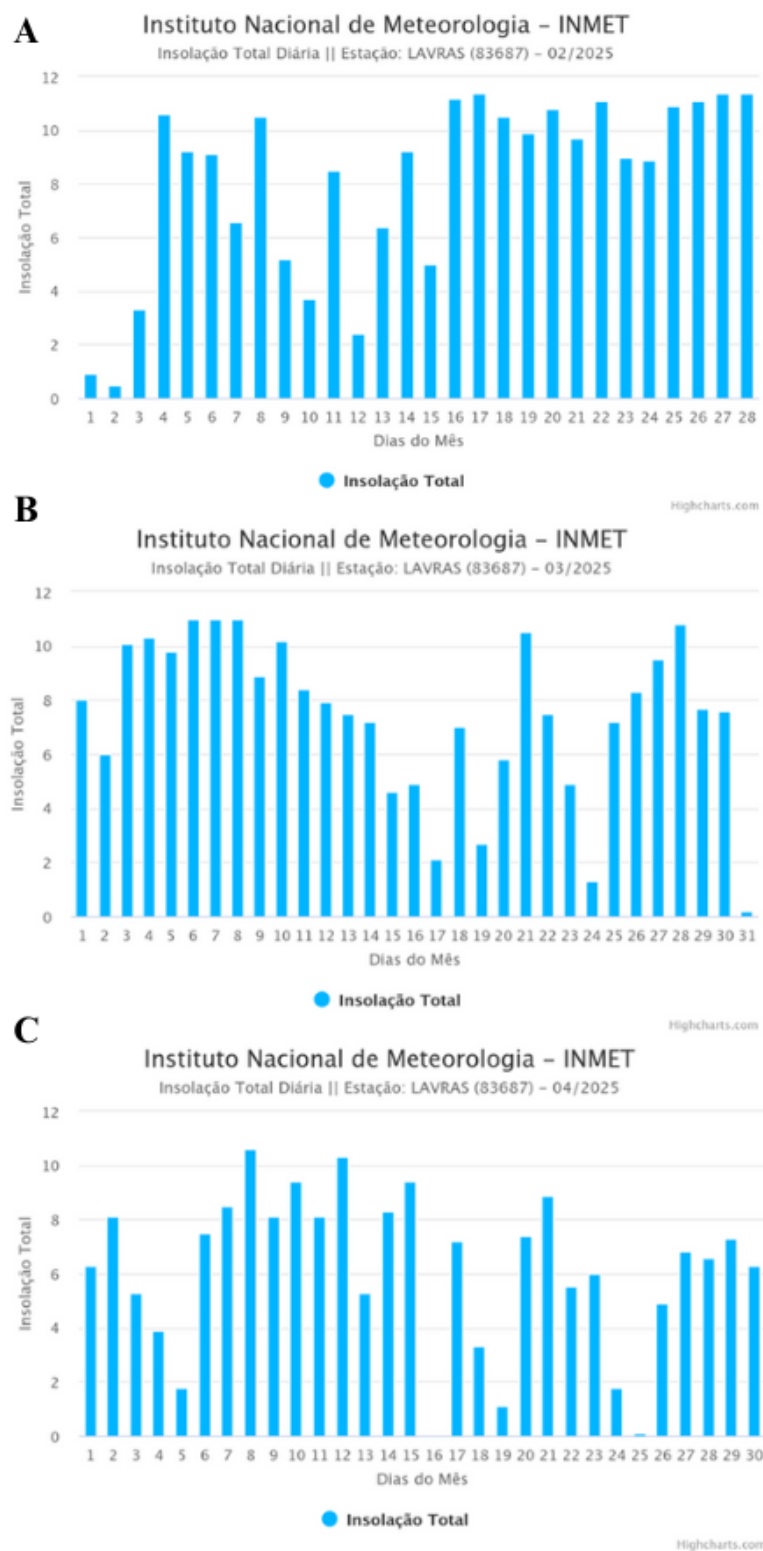
Letras maiúsculas comparam a condição nos diferentes tratamentos. Letras minúsculas comparam os tratamentos dentro das condições. As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Do autor (2025).

Figura A3 - Dados referentes às condições meteorológicas de Lavras-MG durante a condução do experimento II. Médias diárias de temperaturas máximas (linhas vermelhas), médias (linhas verdes) e mínimas (linhas azuis) durante os meses de (A) fevereiro, (B) março e (C) abril do ano de 2025.



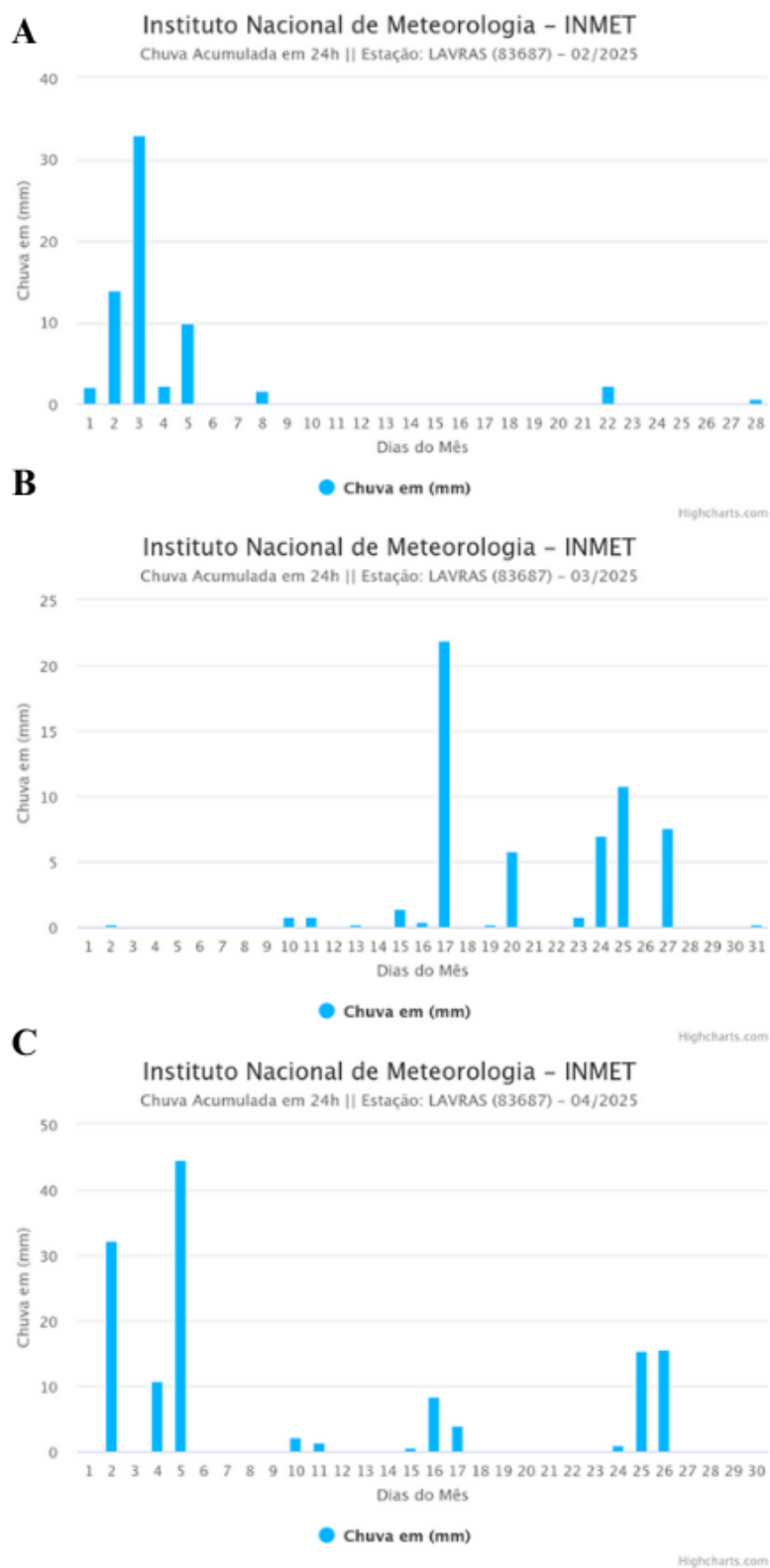
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2025.

Figura A4 - Dados referentes às condições meteorológicas de Lavras-MG durante a condução do experimento II. Média de insolação diária durante os meses de (A) fevereiro, (B) março e (C) abril do ano de 2025.



Fonte: INMET, 2025.

Figura A5 - Dados referentes às condições meteorológicas de Lavras-MG durante a condução do experimento II. Média pluviométrica (mm) diária durante os meses de (A) fevereiro, (B) março e (C) abril do ano de 2025.



Fonte: INMET, 2025.